

Universität  
Rostock



Traditio et Innovatio

## **Permanente Graffitisysteme auf Betonoberflächen im Außenbereich**

*Einfluss der Betongüte sowie der Betonoberfläche auf die Funktionalität und Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen*

### **Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

### **vorgelegt von**

M. Eng. Sandra Jäntsch

aus Wismar

Rostock, Mai 2023

## **Gutachter\*innen:**

1. Gutachter: Prof. Dr. Henning Bombeck  
Professur für Siedlungsgestaltung und ländliche Bauwerke  
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg 2  
18059 Rostock
  
2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar  
Professur für Bauchemie und Baustoffkunde  
Fakultät für Ingenieurwissenschaften  
Hochschule Wismar  
Philipp-Müller-Straße 14  
23966 Wismar
  
3. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Aloys Stephan  
Professur für Bauchemie und Baustoffkunde  
Fakultät VI - Planen Bauen Umwelt  
Technische Universität Berlin  
Straße des 17. Juni 152  
10623 Berlin

**Jahr der Einreichung:** 2023

**Jahr der Verteidigung:** 2024

*Für Sven*



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen und Institutionen danken, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Professor Henning Bombeck für die ausgezeichnete Betreuung und die mentale Unterstützung bei der Umsetzung dieser Arbeit.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei meiner Zweitgutachterin Frau Professorin Claudia von Laar bedanken, die mich im Rahmen dieser Arbeit intensiv mit Rat, Anregungen und produktiven Gesprächen begleitet hat.

Zudem danke ich Herrn Professor Ulrich Diederichs, der vergangenes Jahr leider viel zu früh verstorben ist, für seine fachkundige Unterstützung.

Die vorliegende Arbeit entstand von Oktober 2019 bis Mai 2023 und wurde bis Juni 2022 durch ein Stipendium aus Fakultätsmitteln der Hochschule Wismar unterstützt. Aus verschiedenen Institutionen konnten ebenfalls finanzielle und materielle Hilfen zur Verfügung gestellt werden. Dafür bedanke ich mich bei Frau Jessica Bernert, Frau Prof. Marion Wienecke, Frau Prof. Daniela Schwerdt, Frau Dr. Gesa Haroske, Herrn Stefan Heeß, Herrn Harry Schwab, Herrn Georg Scheidel, Herrn Volker Fröschke, Herrn Dr. Jürgen Stropp-Kilian, Herrn Udo Ernst, Herrn Helmut Fili, Herrn Jürgen Geiger, Herrn Prof. Roland Larek sowie Herrn Jan Oestreich.

Frau Sandra Masemann danke ich für ihre konstruktives Motivationstalent.

Weitere dankenswerte Unterstützung erfuhr ich von der studentischen Hilfskraft Frau Jule Rohlf. Auch den Mitarbeiterinnen der Hochschule Wismar Frau Melanie Schomann und Frau Kerstin Dankwardt danke ich von Herzen. Ohne eure ausdauernde Mithilfe bei den Laborarbeiten, eurem anhaltenden Zuspruch und eure Freundschaft wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Meiner Familie, meinen Schwiegereltern, meinen Kindern Luuk, Lasse und Ida, danke ich für den geistigen Ausgleich und ihre immerwährende Ausdauer. Der größte Dank gilt meinem Mann Sven, du hast mich aufgebaut und mir immer geholfen, auch wenn es mal eine schwerere Phase gegeben hat. Das habe ich nie als selbstverständlich angesehen.



## Inhaltsverzeichnis

<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 <b>Stand der Forschung</b> .....	<b>4</b>
1.2 <b>Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsansatz</b> .....	<b>8</b>
1.3 <b>Abgrenzung der Arbeit</b> .....	<b>10</b>
<b>2 GRUNDLAGEN – STAND DES WISSENS</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1 Betone</b> .....	<b>11</b>
2.1.1 Betonkomponenten .....	11
2.1.2 Klassifizierung der Betonart und Betongüte .....	14
2.1.3 Festlegung des Betons .....	17
2.1.4 Betonoberfläche .....	17
2.1.4.1 Oberflächenbearbeitung .....	18
2.1.4.2 Oberflächenschutz .....	19
<b>2.2 Anti-Graffiti-Systeme</b> .....	<b>24</b>
2.2.1 Einfluss und Vorbereitung der Oberfläche .....	24
2.2.2 Klassifikation der Anti-Graffiti-Systeme .....	26
2.2.3 Anwendung der Anti-Graffiti-Systeme .....	28
2.2.4 Reinigung .....	29
2.2.5 Auswahlkriterien .....	30
2.2.6 Aktuelle Merkblätter .....	31
<b>2.3 Einfluss der Farbmittel</b> .....	<b>32</b>
<b>2.4 Produktanforderungen an Betone und Anti-Graffiti-Systeme</b> .....	<b>34</b>
2.4.1 Funktionalität und Polyfunktionalität .....	34
2.4.2 Dauerhaftigkeit .....	35
<b>3 ENTWICKLUNG DER UNTERSUCHUNGSMETHODIK</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1 Material und Arbeitsweise</b> .....	<b>38</b>
3.1.1 Betonuntergründe .....	38
3.1.2 Anti-Graffiti-Systeme .....	42
3.1.3 Farbaufträge .....	47
3.1.4 Reinigungsmethoden .....	47
<b>3.2 Auswahl der Prüfparameter und -verfahren</b> .....	<b>52</b>
3.2.1 Optische Eigenschaften .....	53
3.2.2 Bauphysikalische Parameter .....	57

3.2.3 Rauheit.....	67
<b>3.3 Bewitterungs- und Reinigungszyklen .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4 Darstellung der Prüfmethodik in 8 Stufen.....</b>	<b>71</b>
<b>4 EINSATZ DER ENTWICKELTEN METHODIK.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 Durchführung am Beispiel von Untergrund U1 .....</b>	<b>73</b>
4.1.1 Stufe I: Prüfkörper im Originalzustand.....	74
4.1.2 Stufe II: Herstellung der Prüfflächen .....	79
4.1.3 Stufe III: Nach Auftrag AGS – Vor Bewitterung.....	87
4.1.4 Stufe IV: Bewitterung.....	91
4.1.5 Stufe V: Farbauftrag .....	94
4.1.6 Stufe VI: Reinigung.....	96
4.1.7 Stufe VII: Prüfungen nach Bewitterung und Reinigung .....	98
4.1.8 Stufe VIII: Nach 8 Bewitterungs- und Reinigungszyklen .....	99
<b>5 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.....</b>	<b>101</b>
<b>5.1 Kubatur und Rohdichte .....</b>	<b>101</b>
5.1.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	101
<b>5.2 Druckfestigkeit.....</b>	<b>102</b>
5.2.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	102
<b>5.3 Visuelle Begutachtung .....</b>	<b>103</b>
5.3.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	103
5.3.2 Prüfkörper mit AGS .....	109
<b>5.4 Glanz.....</b>	<b>115</b>
5.4.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	115
5.4.2 Prüfkörper mit AGS .....	117
<b>5.5 Helligkeit.....</b>	<b>122</b>
5.5.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	122
5.5.2 Prüfkörper mit AGS .....	124
<b>5.6 Benetzungswinkel.....</b>	<b>128</b>
5.6.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	128
5.6.2 Prüfkörper mit AGS .....	130
<b>5.7 Rauheit .....</b>	<b>135</b>
5.7.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	135
5.7.2 Prüfkörper mit AGS .....	137
<b>5.8 Wasseraufnahmekoeffizient.....</b>	<b>141</b>
5.8.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	141
5.8.2 Prüfkörper mit AGS .....	143
<b>5.9 Schichtdicke.....</b>	<b>148</b>

5.9.1 Prüfkörper mit AGS .....	148
<b>5.10 Abreißfestigkeit.....</b>	<b>152</b>
5.10.1 Prüfkörper mit AGS .....	152
<b>6 PRÄZISION DER ERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>157</b>
<b>6.1 Unbeschichtete Prüfkörper .....</b>	<b>157</b>
6.1.1 Prüfkörper im Originalzustand .....	157
6.1.2 Einfluss der Bewitterung .....	159
6.1.3 Einfluss der Reinigung.....	161
6.1.4 Einfluss der Farbmittel.....	163
<b>6.2 Beschichtete Prüfkörper .....</b>	<b>164</b>
6.2.1 Einfluss durch die Applikation der Anti-Graffiti-Systeme .....	164
6.2.2 Einfluss der Bewitterung .....	168
6.2.3 Einfluss der Reinigung.....	170
6.2.4 Einfluss der Farbmittel.....	173
<b>6.3 Nachweis der Eignung.....</b>	<b>174</b>
<b>7 REFLEXION DER ARBEIT UND AUSBLICK.....</b>	<b>179</b>
<b>8 VERZEICHNISSE .....</b>	<b>183</b>
8.1 Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole .....	183
8.2 Verzeichnis der Abbildungen.....	185
8.3 Verzeichnis der Tabellen .....	188
8.4 Literatur- und Quellenverzeichnis .....	190
<b>9 ANHANG.....</b>	<b>202</b>
<b>PUBLIKATIONS- UND VORTRAGSLISTE .....</b>	<b>252</b>
<b>CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>254</b>



## Kurzfassung

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde gezielt der Einfluss der Betongüte sowie der Betonoberfläche auf die Funktionalität und die Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen untersucht. In Langzeittests über einen Zeitraum von 2,5 Jahren wurden an Betonprüfkörpern visuelle und physikalische Kenngrößen sowie deren Eigenschaften in acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen bestimmt und ausgewertet. Die Versuchsreihe umfasste 180 Betonproben. Hierbei kamen 6 verschiedene Betonuntergründe zum Einsatz (U1 - U6), die sich in ihrer Betonart und -güte sowie Oberflächenbehandlung unterschieden. U. a. konnte die Oberflächenqualität von Betongehwegplatten, hochfesten Fassadenplatten oder faserverstärkten Betonprüfkörpern beurteilt werden. Untersuchungen wurden an Originalprüfkörpern sowie an AGS-geschützten und ungeschützten Proben durchgeführt. Als Graffitiprophylaxe kamen vier verschiedene permanente Systeme zum Einsatz (AGS1 - AGS4). Zwei Systeme waren den hydrophobierenden Imprägnierungen und zwei den Beschichtungen zuzuordnen.

Für die Beurteilung der Funktionalität und der Dauerhaftigkeit wurden die Einflüsse aus der Freibewitterung, dem Farbauftrag und der Reinigung ermittelt und ausgewertet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Funktionalität (Reinigungsleistung) stark von der Oberflächencharakteristik aber auch der Art des AGS abhängt. Dabei spielten die Oberflächenstruktur (Rauheit) sowie -farbe (Glanz und Helligkeit) eine wichtige Rolle. Die rauen Untergründe ließen sich deutlich schlechter reinigen, als die glatten Untergründe.

Eine plötzlich verminderte Reinigungsleistung trat im 4. Zyklus für zwei raue Untergründe mit dem Schutz der beiden hydrophobierenden Imprägnierungen auf. Über den gesamten Prüfzeitraum gelang hingegen eine gute Graffitientfernung auf den glatten Betonoberflächen.

Die erste Beschichtung erreichte auf allen sechs Untergründen die besten Reinigungsergebnisse. Nach acht Zyklen waren keine Farbschatten und/oder -reste feststellbar, unabhängig von der Betongüte bzw. -textur. Die zweite Beschichtung erfüllte über sechs Zyklen die Funktionalität auf allen Untergründen. Im 7. Zyklus erreichte dieses AGS auf zwei rauen Untergründen nicht mehr die geforderte Reinigungsleistung. Hier konnten durch die Ermittlung der Abreißfestigkeit und der Wasseraufnahme Schäden im System bestätigt werden.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass es notwendig ist, auf jede Oberfläche das passende Anti-Graffiti-System zu applizieren. Es ist erforderlich, dass die Parameter der zu schützenden Betonoberfläche einfließen und oberflächenspezifisch das AGS definiert wird. Grundsätzlich konnte nur unter dem Bewitterungseinfluss eine stabile Dauer-

haftigkeit für alle vier AGS nachgewiesen werden. Die zusätzliche und wiederholende Reinigungsbelastung beeinflusste die Dauerhaftigkeit von drei Systemen.

## Abstract

In this study, the influence of the concrete quality and the concrete surface on the functionality and durability of permanent anti-graffiti systems was specifically investigated. In long-term tests over a period of 2.5 years, visual and physical characteristics and properties of concrete test pieces were determined and evaluated in eight weathering and cleaning cycles. The test series consisted of 180 concrete samples. Six different concrete substrates were used (U1 to U6), which differed in their concrete type and quality as well as their surface treatment. Among other things, the surface quality of concrete paving slabs, high-strength floor facade panels or fiber concrete panels was investigated. Tests were carried out on the original specimens as well as on specimens protected by AGS and non-protected specimens.

Four different permanent anti-graffiti systems were used (AGS1 to AGS4). Two systems were assigned to hydrophobic impregnations and two to coatings.

For the assessment of functionality and durability, the influences from outdoor weathering, paint application and cleaning were determined and evaluated. The results showed that the functionality (cleaning performance) strongly depends on the surface characteristics but also on the type of the AGS. The surface texture (roughness) as well as the color (gloss and brightness) played an important role. The rough surfaces were much worse to clean than the smooth surfaces.

A sudden decrease in cleaning performance occurred in the 4th cycle for two rough substrates with the protection of the two hydrophobic impregnations. On the other hand, good graffiti removal was achieved on the smooth concrete surfaces over the entire test period. The first coating achieved the best cleaning results on all six substrates. After eight cycles, no colour shadows and/or colour residues were detectable, regardless of the concrete quality or texture. The second coating fulfilled the functionality on all substrates over six cycles. In the 7th cycle this AGS no longer achieved the required cleaning performance on two rough surfaces. Damage in the system could be confirmed by the determination of tear resistance and water absorption.

The investigations have shown that it is essential to apply the appropriate anti-graffiti system to every surface. It is necessary that the parameters of the concrete surface to be protected flow in and that the AGS is defined specifically for the surface.

In principle, only under the influence of weathering could a stable durability be demonstrated for all four AGS. The additional and repetitive cleaning load affected the durability of three systems.

## 1 Einleitung

„Graffiti ist ein Oberbegriff für viele thematisch und gestalterisch unterschiedliche Erscheinungsformen.“<sup>1</sup> Sie werden meist illegal und anonym, von Einzelpersonen oder Gruppen angebracht.<sup>1</sup> Bauwerke und Bauteile aller Art sind von Graffiti betroffen: einzelne Häuserwände (Abb. 1), Fassaden, historische Gebäude oder Denkmäler, Brücken (Abb. 2), Unterführungen (Abb. 3), Schallschutzwände, Einfriedungen und auch Verkehrsmittel (Deutsche Bahn, Lastkraftwagen, Kraftfahrzeuge).<sup>2</sup>

Es kann inzwischen an allen Standorten mit illegalen Graffiti gerechnet werden. Sie werden dabei überwiegend als lästig wahrgenommen, wie eine Umfrage mit 18.338 Teilnehmer\*innen (Mitteldeutschland) aus dem Jahre 2020 zeigte. Dabei gaben 86 Prozent der Befragten an, dass sie Graffiti und Schmierereien als optisch störend empfinden.<sup>3</sup>



*Abbildung 1: Graffiti-Schmiererei an einer Hauswand (Putzfassade) in Brno, Tschechien*



*Abbildung 2: Illegale Graffiti an einem Beton-Brückenaufleger an der A1 (Höhe Bad Oldesloe)*



*Abbildung 3: Illegale Graffiti in einer Unterführung aus Beton in Berlin (Stadtteil Tiergarten)*

Illegale Graffiti sind weltweit zu finden, wenn auch unterschiedlich stark ausgeprägt. Anhand des finanziellen Aufwandes für die Graffitireinigung lassen sich Rückschlüsse auf die Extensität illegaler Graffiti ziehen. Nach aktuellen Statistiken liegen die Kosten für die Entfernung von Graffiti in Deutschland im Mittel bei 200 Millionen Euro pro Jahr.<sup>4</sup> Den Berliner Wohnungsbaugesellschaften entstanden 2021 Vandalismusschäden von knapp 2,5 Mio. Euro.<sup>5</sup> In den USA belaufen sich die Kosten für die Graffitireinigungen inzwischen auf etwa 15 Milliarden Dollar jährlich ( $\approx 14$  Mrd. €).<sup>6</sup> Allein Los Angeles gibt 28

<sup>1</sup> <http://www.graffitieuropa.org/definition1.htm>

<sup>2</sup> <https://www.gss-dienstleistung.de/index.php?id=14>

<sup>3</sup> <https://www.mdr.de/nachrichten/mitmachen/mdrfragt/ergebnisse-graffiti-download-100.html>

<sup>4</sup> <https://www.polizei-beratung.de/themen-und-tipps/jugendkriminalitaet/illegale-graffiti/>

<sup>5</sup> [https://www.t-online.de/region/berlin/news/id\\_91789672/wohnungsbaugesellschaften-in-berlin-vandalismus-verursacht-schaeden-in-millionenhoeh.html](https://www.t-online.de/region/berlin/news/id_91789672/wohnungsbaugesellschaften-in-berlin-vandalismus-verursacht-schaeden-in-millionenhoeh.html)

<sup>6</sup> <https://www.rynekfarb.pl/koszty-usuwania-graffiti-na-swiecie/>

Mio. Dollar ( $\approx$  14 Mio. Euro) für die Entfernung von Graffiti aus.<sup>6</sup> Schäden durch illegale Graffiti in italienischen Städten belaufen sich jährlich auf 305 Mio. Euro<sup>7</sup>, in Barcelona auf 4 Mio. Euro<sup>6</sup>, in London auf 100 Mio. Pfund ( $\approx$  117 Mio. €)<sup>6</sup> und in Madrid auf 3,4 Mio. Euro<sup>8</sup>.

In Deutschland ist strafrechtlich jedes illegale Graffiti nach § 303 II StGB zumindest eine Sachbeschädigung.<sup>9</sup> Für jugendliche Täter ab 14 Jahren kann das Erziehungsmaßregeln, Zuchtmittel oder Jugendstrafe in deiner Jugendstrafanstalt (6 bis 60 Monate) bedeuten. Des Weiteren können gegenüber den Sprayern ab 16 Jahren zivilrechtliche Ansprüche des Geschädigten 30 Jahre lang geltend gemacht werden.<sup>4</sup>

Auch international wird das Aufbringen illegaler Graffiti geahndet: In Los Angeles muss mit etwa 9500 € Geldstrafe, bis zu einem Jahr Gefängnis oder beidem gerechnet werden. London hat eine Strafe von 90 € festgesetzt, für schwere Sachschäden oder rassistische Graffiti, können indes 5800 € oder 6 Monate Gefängnis drohen. Geldstrafen und/oder Gefängnis werden auch in Indien, Italien oder Spanien verhängt. Wobei in Spanien Schädigungen auf Denkmälern schärfer bestraft werden. In Singapur droht zusätzlich auch körperliche Züchtigung u.a. durch Stockschläge.<sup>10</sup>

Graffiti können auch die betroffenen Oberflächen schädigen. In ungeschützte, poröse Untergründe dringen Graffiti tief ein und sind nur schwer oder gar nicht entfernbar (Heilmann 2007). Ferner werden u.a. durch das Beifügen von Batteriesäure, Flusssäure oder Schwefelsäure in Graffitifarbmitteln Oberflächen durch das Anätzen (Etching) geschädigt bzw. zerstört.<sup>11</sup>

Durch die Reinigung verbleiben auf der Oberfläche häufig Farbrückstände, welche zu ästhetischen Einschränkungen führen (Kupfer 2008). Als einfachste und schnellste Methode erscheint es, ein Graffiti zu überstreichen, dabei können die verbleibenden Farbmittel Schäden auf den betroffenen Oberflächen hinterlassen und die Baustoffeigenschaften (Wasseraufnahmekoeffizient, Wasserdampfdurchlässigkeit) verändern.<sup>12</sup> Graffiti führen außerdem zu einer starken Mikroplastik-Belastung von Böden in direkter Nähe besprühter Oberflächen. Dabei gelangen mikroskopisch kleine Kunststoffteilchen aus der Sprühfarbe in Böden und Gewässer, die nicht biologisch abbaubar sind.<sup>13</sup>

---

<sup>7</sup> <https://www.blogio.it/post/4307/milano-100-milioni-per-cancellare-i-graffiti>

<sup>8</sup> <https://www.elmundo.es/madrid/2019/09/01/5d6a92f4fc6c83ee4c8b4571.html>

<sup>9</sup> <https://www.rechtsanwalt-graffiti.nrw/startseite/>

<sup>10</sup> [http://www.hopesandfears.com/hopes/city/city\\_index/168925-penalties-for-graffiti](http://www.hopesandfears.com/hopes/city/city_index/168925-penalties-for-graffiti)

<sup>11</sup> <https://www.newpro.de/graffitivortrag.html>

<sup>12</sup> <https://wohnglueck.de/artikel/graffiti-entfernung-44018>

<sup>13</sup> <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2022/10/graffiti-mikroplastik-belastung-boden-fu-berlin-studie.html>

Um gefährdete Oberflächen vor Graffiti-Vandalismus zu schützen sind Anti-Graffiti-Systeme (AGS) entwickelt worden. Seit etwa 30 Jahren werden verschiedene dauerhafte oder nicht dauerhafte Systeme auf dem Markt angeboten (Kupfer 2008).

Ziel dieser Systeme ist der vorbeugende Schutz vor einem dauerhaften Anhaften von Farbstoffen bzw. das Eindringen von Farbstoffen in den Untergrund (Kupfer 2022). Dadurch soll eine Entfernung der Graffiti mit Hilfe geeigneter Reinigungsverfahren erleichtert werden (Weeber+Partner 2007). AGS haben somit primär eine protektive Wirkung (Kupfer 2008). Durch den Einsatz eines AGS kann sich der Bedarf an chemischen Reinigungsmitteln um das Zehnfache gegenüber den ungeschützten Oberflächen reduzieren (Goretzki 1998).

Für einen nachhaltigen Bautenschutz wird der prophylaktische Graffitischutz aufgrund einer möglichen Schattenbildung und eines Substanzverlustes einer Graffitientfernung von ungeschützten Oberflächen empfohlen (PSS Interservice 2017).

Beton ist weltweit der am häufigsten verwendete Baustoff im Hoch- und Verkehrswegebau. Unzählige Bauteile wie Gebäude bzw. Gebäudeteile, Brückenbauwerke, Sichtschutz- und Lärmschutzwände werden aus Beton hergestellt (Breitenbücher 2019). Im Jahr 2019 wurden im deutschen Wohnungsbau rund 14 Mio. m<sup>3</sup> umbauter Raum fertiggestellt, im Nichtwohnbau etwa 190 Mio. m<sup>3</sup> (Pott 2020). Als Fassadenmaterial nimmt der Beton hierbei insgesamt einen Marktanteil von etwa 10 % ein (Kahnt 2020).

Bei Nichtwohngebäuden wie Büro- und Verwaltungsgebäuden, Hotels, landwirtschaftlichen Betriebs-, Fabrik- oder Handelsgebäuden dominierte die Stahlbetonbauweise im Jahre 2020 mit 29,3 % vor Stahl (24,7 %), Holz (21,0 %) oder Ziegel (11,2 %).<sup>14</sup>

Die Fläche im Brückenbau der Bundesfernstraßen betrug 2021 etwa 32 Mio. m<sup>3</sup>. Dabei umfassten der Spannbeton 68,9 % und der Stahlbeton 17,1 % der Flächen, weit vor Stein (0,5 %) oder Holz (0,04 %).<sup>15</sup>

Auch für Schallschutzwände wird bevorzugt Beton als Baustoff eingesetzt, da er gegenüber Holz, Stahl und Glas den besten Schallschutz aufweist.<sup>16</sup> Als Abfangung von Böschungen oder der Einfriedung dienen Mauerscheiben (Winkelstützen) in verschiedenen Betonqualitäten und Größen.

Die Bearbeitung des Betonwerksteins in frischem oder erhärtetem Zustand, der Einsatz von Schalung oder die Nutzung von Farbpigmenten tragen zu vielfältigen Gestaltung der Bauwerke und Bauteil-Oberflächen bei. Von schalungsglatter Sichtbetonoberfläche bis zur rauen, sandgestrahlten Oberfläche ergeben sich unzählige Gestaltungsmöglich-

---

<sup>14</sup> [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21\\_N044\\_61.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21_N044_61.html)

<sup>15</sup> [https://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf%3F\\_\\_blob%3Dpublication-File%26v%3D7](https://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf%3F__blob%3Dpublication-File%26v%3D7)

<sup>16</sup> <https://www.beton.org/service/bauherren-informationen/eigenschaften/schallschutz/>

keiten (Kind-Barkauskas et al. 2013; Steinle et al. 2018; Möllmann, Nicolay 2008). Für den Betrachter zeigen sich Sichtflächen, die individuell und vielseitig in Erscheinung treten (DIN 18500-1)<sup>17</sup>.

Obwohl Beton ein breites Anwendungspotenzial für die Oberflächengestaltung bietet, werden speziell für den Schutz von Betonoberflächen Anti-Graffiti-Systeme nicht oder zu wenig eingesetzt. Einer der Gründe liegt darin, dass die technischen Merkblätter für viele auf dem Markt befindlichen Systeme die Anwendung oft unspezifisch aufgelistet und gleichermaßen für Kunststoff, Metall, Holz, Ziegel bis Beton und Naturstein empfehlen.

Bisher fehlt ein konkreter Bezug auf die Oberflächenqualität. Doch aufgrund der Vielfalt der Untergrundmaterialien und deren unterschiedlichen Eigenschaften ist eine individuelle Betrachtung zwingend notwendig.

In dieser Arbeit wird untersucht, inwieweit zu schützende Betonoberflächen aufgrund ihrer Oberflächeneigenschaften die Funktionalität und Dauerhaftigkeit eines AGS beeinflussen.

## **1.1 Stand der Forschung**

Nach ihren Eigenschaften lassen sich die Betone umfangreich u.a. in Leichtbeton, Waschbeton, Faser- und Textilbeton, hochfesten Beton, Sichtbeton oder auch Stahlbeton einteilen (Holcim 2022).

Nach Schnell et al. (2009) wird Beton als Baumaterial und Gestaltungselement in der Moderne durch die vielfältigen Möglichkeiten des Materials immer wieder repräsentativ in Szene gesetzt und der Ausdruck durch Farbgebung, Struktur, Teilung und Fugenbild bestimmt. In ihrer Studie nutzten sie die technischen Vorteile einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade mit den gestalterischen Möglichkeiten, die dem Material Beton inneohnt und entwickelten eine filigrane Fassadenplatte aus Hochleistungsbeton. Die Flexibilität der Gestaltungsmöglichkeiten durch verschiedene Schalungssysteme im Betonbau untersuchten Li, Lin et al. (2022) und zeigten Grenzen in ihrer Anwendung auf.

Aktuelle Studien setzen sich mit Nachhaltigkeitsanalysen von Gebäudefassaden aus Beton oder dem Entwurf eines Modells zur Analyse der Dauerhaftigkeit von architektonischen Betonoberflächen auseinander (Gilani et al. 2022). Dadurch sollen der Zeitpunkt der Wartung oder Instandsetzung bestimmt werden (Pereira et al. 2019). Ein ähnliches Modell konnte bereits 2016 entwickelt werden, dieses leistete einen Beitrag zur Prognose der Dauerhaftigkeit explizit für Sichtbetonfassaden (Serralheiro et al. 2016).

---

<sup>17</sup> DIN 18500-1:2021-01, Betonwerkstein - Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Prüfung

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts ist eine anhaltende Nachfrage der Sichtbetonoptik zu beobachten (Lohaus et al. 2017). Für Linnebacher (2019) ist diese ein wichtiges Gestaltungsmerkmal von Bauwerken bzw. Bauteilen, sie zeigte auf, dass verschiedene Phänomene in der Sichtbetontechnologie bislang ungeklärt und das vorhandene Wissen unstrukturiert in verschiedenen Veröffentlichungen vorlagen. Trotz neuer Forschungsergebnisse blieben dennoch viele Fragen ungeklärt (Linnebacher 2019).

Speziell für den Einsatz des Betons als Fassadenelement gibt es zahlreiche Forschungsansätze. Diese reichen von Textilbetonelementen (Miterrutzner 2017), vorgefertigten Betonfassaden mit integrierten Photovoltaikmodulen (Li et al. 2019), Betonfassaden mit integrierten Kühlkörpern (Delgado et al. 2020), Fassadenplatten aus Ultrahochleistungsbeton (Schultz-Cornelius 2020), Glasfaser-Sandwich-Wandpaneelen aus vorgefertigtem Leichtbeton (Ma et al. 2022) bis zu begrünten Betonfassaden (May Tzuc et al. 2021). Neue und bereits zum Patent angemeldete Fassadenkonstruktionen aus Beton, die einen Hohlkörper aus recyceltem Kunststoff enthalten, wurden entwickelt, um das thermische Verhalten von Betonfassaden zu bestimmen (Loh et al. 2022).

Nach Pan et al. (2016) hat ebenfalls die Oberflächenbehandlungstechnologie an Bedeutung gewonnen, insbesondere um eine Verschlechterung und Beschädigung der Oberfläche zu verhindern und die Dauerhaftigkeit zu verlängern. Verschiedene Möglichkeiten und Technologien konnten an Betonkonstruktionen untersucht und ausgewertet werden. Es wurde hierbei auf ein tieferes Verständnis der chemischen und physikalischen Reaktionsmechanismen, insbesondere auf Mikroebene gesetzt (Pan et al. 2016). Ähnlich argumentierten Elnaggar et al. (2019), ein aufgetragener Oberflächenschutz wirkt sich demnach positiv auf die mechanischen Eigenschaften des Betons aus. Die Entwicklung und Anwendung einer neuen Asphalt-Polyurethan-Schutzbeschichtung auf Beton zeigte eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber äußeren Einflüssen (Elnaggar et al. 2019).

Seit den 90er Jahren wird eine Vielzahl von Anti-Graffiti-Systemen (AGS) unterschiedlicher Wirkungsweise und Zusammensetzung entwickelt (Kupfer 2022). Auch hier beschäftigt sich seither national und international die Forschung mit der Weiterentwicklung und Neuorientierung von AGS.

Goretzki brachte 1998 erstmals einen umfassenden Themenband zu Graffiti-Schutzsystemen heraus. Speziell zugeschnitten auf Fassadenbaustoffe beschreibt Goretzki (1998) die Anti-Graffiti-Systeme, deren Anwendung sowie Planung. Auch die Graffitientfernung wird mit einbezogen. Seither ist in der Fachliteratur kein vergleichbares Werk erschienen.

In diversen Publikationen stellte sich die Frage nach dem Einfluss der Bestandteile von AGS auf deren Wirksamkeit. Zheng et al. (2020) testeten ein neues Anti-Graffiti-Polyacrylat auf Wasserbasis und zeigten auf, dass der Silikongehalt die Wirksamkeit eines AGS beeinflusst. Ähnlich argumentierten Manvi et al. (2012). Sie wiesen nach, dass die Wirksamkeit vom Fluorgehalt abhängen kann, die beste Beständigkeit konnte bei 6 Gew.-% erzielt werden. Die Untersuchungen von Mohammad Rabea et al. (2012) bewiesen, dass die Silicia-Nanopartikel die Alterung der AGS positiv beeinflussten, jedoch nicht deren Wirksamkeit.

Carmona-Quiroga et al. (2016) erläuterten ebenso wie von Laar, Lesnych, Schomann (2015) und auch Licchelli et al. (2011) die Notwendigkeit einer verlässlichen Dauerhaftigkeit von AGS. Der starke Einfluss durch die natürliche und künstliche Bewitterung über einen Zeitraum von 12 Monaten wurde aufgezeigt und zu weiteren Untersuchungen aufgerufen (Carmona-Quiroga et al. 2016). Spätere Ergebnisse zeigten Veränderungen der Oberflächeneigenschaften wie Glanz, Wasserabweisung (Hydrophobie) und Rauheit auf (Carmona-Quiroga et al. 2017).

In Deutschland konnte aufgrund unzureichender Ergebnisse zur Dauerhaftigkeit von AGS (Weschpfennig, Kropf, von Witzhausen 2010) die Verjährungsfrist für AGS bis heute nicht von 2 auf 5 Jahre verlängert werden. Die Erkenntnisse stehen im Einklang mit den Forschungsergebnissen von Licchelli et al. (2011), auch hier konnte ein permanentes AGS auf Polymerbasis die Anforderungen der Dauerhaftigkeit nicht bestehen. Sie belegten außerdem, dass neben der Dauerhaftigkeit auch die Funktionalität (Reinigungsleistung) eines AGS einfließen muss. Nach Augenschein konnten in ihren Untersuchungen für ein permanentes AGS bereits nach 3 bis 4 Farb- und Reinigungszyklen Farbmittelrückstände wahrgenommen werden (Licchelli et al. 2011). Zum selben Ergebnis führten die Untersuchungen von Kronlund, Lindén, Smått (2016), ihre sprühbare Beschichtung konnte ebenfalls maximal 3 bis 4 Reinigungszyklen standhalten.

Den Einfluss der Oberflächenspannung in Bezug auf die Reinigung untersuchten Zubielewicz et al. (2021), erkannten jedoch, dass lediglich die Struktur der Beschichtung die Graffiti-Entfernung beeinflusst.

Müller (2010) und Lee et al. (2021) vertreten in Bezug auf die Funktionalität eine ähnliche Einschätzung. Allerdings weist nur Müller (2010) darauf hin, dass die Funktionalität dauerhafter sowie nicht dauerhafter Systeme von der Art des Substrates abhängig ist.

In der bisherigen Forschung lag der Schwerpunkt vor allem auf den AGS selbst und nicht auf dem Untergrund. Wo italienische Untersuchungen teils explizit auf Naturstein wie Granit, Gneis, Travertin (Gambino et al. 2020) oder auf poröse Natursteinmaterialien

(Roviello et al. 2022) bzw. Untergrundmaterialien des Denkmalbereichs (Lettieri et al. 2019) setzten, werden international oftmals Untersuchungen unspezifisch auf Beton-  
gehwegplatten (Malaga, Müller 2009; Müller, Malaga 2011), Betonpflastersteinen (Car-  
mona-Quiroga et al. 2016) oder nicht näher beschriebenen Betonplatten (Weschpfennig  
et al. 2010) bzw. Betonuntergründen (Sanmartín et al. 2021; Müller 2010) durchgeführt.

Die Beschaffenheit des Untergrundes spielt für die Funktionalität eines AGS eine we-  
sentliche Rolle. Aus diesem Grund kann die tatsächliche Leistung eines AGS nicht aus  
den Eigenschaften der Beschichtung selbst abgeleitet werden (Lettieri et al. 2019).

Nach Müller (2010) kann die Prüfung der Funktionalität auf einem Betonprüfkörper als  
durchaus „schlechtester Fall“ angenommen werden.

Durch den Auftrag von nicht geeigneten Anti-Graffiti-Systemen konnte Kupfer (2022)  
aufgrund von Feuchteansammlung Schäden in einer Fassade bzw. zwischen Unter-  
grund und AGS nachweisen. Er setzt auf die Notwendigkeit eines Zusammenspiels von  
Untergrund und AGS (Kupfer 2022).

Neue Entwicklungen lassen sich seit einigen Jahren zur Polyfunktionalität von AGS be-  
obachten. Dabei übernehmen die AGS neben den Anti-Graffiti-Eigenschaften weitere  
Funktionen im Oberflächenschutz. So können sie hydrophobe und oleophobe Eigen-  
schaften aufweisen und nach Malaga, Müller (2013) dadurch die Reinigungsleistung  
dichter Substrate verbessern, jedoch haben sie nur einen geringen Einfluss auf die Rei-  
nigung poröser Untergründe.

Ein neues Prüfverfahren für die Bewertung der Polyfunktionalität von AGS und weiteren  
Bautenschutzprodukten wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelt (von  
Laar, Lesnych, Schomann 2015). Dieses soll den Industrie- und Forschungseinrichtun-  
gen für eine praxisrelevante Einschätzung dienen (von Laar, Lesnych, Schomann 2015).  
Eine neu entwickelte polyfunktionale Acryl-Urethan-Beschichtung, welche u.a. zusätzlich  
mit Anti-Graffiti-eigenschaften ausgestattet war, zeigte Langzeitstabilität bei einem be-  
schleunigten Bewitterungstest von 120 Stunden. Studien unter natürlicher Witterung ste-  
hen noch aus (Kim et al. 2020).

Untersuchungen zu Wechselwirkungen zwischen Farbmitteln und Entferner gewinnen  
ebenfalls an Bedeutung. Rossi et al. (2016) untersuchten zwei Lösungsmittelgemische  
(Reiniger) und zeigten deren Auswirkungen auf das AGS. Einen ähnlichen Ansatz ver-  
folgte Sanmartín, Bosch-Roig (2019), allerdings setzte er kommerzielle sowie biologische  
Reiniger ein. Bezüglich der Reinigungsergebnisse durch die biologischen Reiniger  
konnten kleine Fortschritte erzielt werden. Auch neueste Untersuchungen setzten auf  
nachhaltige, biologische Graffitientferner unter Einsatz von Bakterien (Sanmartín et al.  
2021). Neu war dabei die Beurteilung der Oberflächenmikrotopographie, diese zeigte

eine ausgeprägte Beeinflussung der eingesetzten Bakterien auf die Farbgebung der Oberfläche.

## 1.2 Wissenschaftliche Zielsetzung und Forschungsansatz

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Grundlagen aufgezeigt werden, inwieweit die Funktionalität und die Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen durch die Betongüte und der Betonoberfläche an Außenbauteilen beeinflusst werden. Aufgrund seiner multilateralen Einsatz- und Gestaltungsmöglichkeiten und seine weltweit führende Verwendung, wurde der Beton für diese Arbeit als zu schützender Untergrund ausgewählt.

Für den Graffitienschutz sind speziell die Oberflächeneigenschaften des Betons von Bedeutung. Sie beeinflussen einerseits die Haftung der Graffiti-Schutzsysteme und andererseits die Entfernbareit von Graffiti (Maier 2010). Bisherige Erkenntnisse bezüglich der Funktionalität von AGS auf allen Untergründen beruhen weniger auf wissenschaftlichen Studien, sondern viel mehr auf experimentellen Praxiserfahrungen (Kupfer 2022). Prüfmethode zur Bestimmung der Funktionalität für oberflächenschützende AGS beziehen sich oft nur auf ausgewählte Substrate bzw. nur ein Standardsubstrat, wie Gehwegplatten, Pflastersteine aus Beton oder Waschbetonplatten (Tab. 1).

*Tabelle 1: Standardsubstrate zur Bewertung der Wirksamkeit/Funktionalität von AGS verschiedener Richtlinien*

Richtlinie	Vorgaben zum Untergrundsubstrat zur Bewertung der Wirksamkeit von AGS
WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03 <sup>18</sup>	auf mind. 4 mineralischen Untergründen; als Betonuntergrund: Sichtbeton C20/25 mit CEM I 32,5 (Nachbehandlung gem. DIN 1045-3 <sup>19</sup> ) oder Gehwegplatte Beton gem. DIN EN 1339 <sup>20</sup>
WTA Merkblatt 2-5-97/D:1998-02 <sup>21</sup>	Betonprüfkörper: Sichtbeton oder Waschbeton
TL/TP-ING <sup>22</sup>	Gehwegplatten Beton (DIN EN 1339 <sup>20</sup> ), oder Pflastersteine aus Beton (DIN EN 1338 <sup>23</sup> )
ReGG <sup>24</sup>	Gehwegplatten Beton (DIN EN 1339 <sup>20</sup> ), Abmaße: 30x30x4cm oder Pflastersteine aus Beton (DIN EN 1338 <sup>23</sup> )

<sup>18</sup> WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03, Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)

<sup>19</sup> DIN 1045-3:2012-03: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 3: Bauausführung - Anwendungsregeln zu DIN EN 13670

<sup>20</sup> DIN EN 1339:2003-08: Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>21</sup> WTA Merkblatt 2-5-97/D:1998-02, Anti-Graffiti-Systeme

<sup>22</sup> TL/TP-ING, TP AGS-Beton 2009/04: Teil 3 Abschnitt 2 Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme auf Beton

<sup>23</sup> DIN EN 1338:2003-08: Pflastersteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>24</sup> ReGG III:2007, Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffitiprophylaxe

Die Funktionalitätsprüfungen aktueller Regelwerke verweisen überwiegend auf Betonplatten- und Betonpflastersteine, welche für den Straßen- und Wegebau verwendet werden. Die Betongüten und die -oberflächen entsprechen jedoch nicht den typischen Gebäude-, Brücken- oder auch Stützelementen. Dies bedeutet, dass die Prüfergebnisse sich nicht einfach übertragen lassen und die Falschanwendung von Produkten häufiger sind als allgemein bekannt. Die Aussage der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.: „Es gibt bisher kein AGS, das für alle in Betracht kommenden Untergründe geeignet ist.“, stützt diese Erkenntnis (Kupfer 2008).

Lediglich die WTA-Merkblätter empfehlen die Funktionalitätsprüfung auf möglichst vier mineralischen Untergründen. Diese können aus Naturstein, Mauerwerk, Feinsteinzeugfliese, Beton (C20/25), Kalkstein oder Putz gewählt werden, somit existiert keine zwingende Vorgabe zur Prüfung auf Beton.

Es besteht dringend Bedarf für zielgerechte Untersuchungen bezüglich der Funktionalität und Dauerhaftigkeit von AGS in Abhängigkeit von der Art des zu schützenden Untergrundes sowie deren Oberflächenbeschaffenheit. Dafür muss die Oberflächenqualität der eingesetzten Prüfkörper genauer charakterisiert werden.

In dieser Forschungsarbeit wird der potentielle Einfluss von Materialkennwerten, Oberflächenbearbeitung und -behandlung auf die Haftung und Beständigkeit permanenter AGS untersucht. Dafür werden AGS-beschichtete Betonprüfkörper unter dem Einfluss natürlicher Bewitterung und in regelmäßigen Reinigungszyklen auf ihre Funktionalität und Dauerhaftigkeit geprüft.

Die Untersuchungen sollen aufzeigen, ob es notwendig ist, jeder Oberfläche ein konkretes AGS zuzuordnen und ob auch „Einheitsprodukte“ verwendet werden können. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse zwischen dem Zusammenspiel der permanenten AGS auf verschiedenen Betonuntergründen sollen für die Entwicklung eines Bewertungssystems und somit dem wirtschaftlichen und effizienten Einsatz von AGS für Betonoberflächen im Außenbereich beitragen.

Folgende Fragen, die sich speziell auf Prüfkörper aus Beton beziehen, sollen in dieser Arbeit geklärt werden:

- Besteht ein Zusammenhang zwischen der Oberflächenbeschaffenheit und der Funktionalität eines AGS?
- Beeinflusst die Oberflächenrauheit der Prüfkörper die Funktionalität und die Dauerhaftigkeit eines AGS?
- Welche Prüfparameter sollten für die Beurteilung der Funktionalität eines AGS und dem Zusammenspiel von Untergrund und AGS einbezogen werden?

### **1.3 Abgrenzung der Arbeit**

Bisherige Studien sind überwiegend auf das jeweilige AGS fokussiert. Der Betonuntergrund nimmt oftmals eine untergeordnete Rolle ein. Auffällig sind die Prüfungen auf Betongehwegplatten, welche zwar dem aktuellen Stand der Normen und Vorschriften entsprechen, aber der Vielfalt und dem Einsatz von Beton z.B. als Fassadenelement nicht gerecht werden.

Der methodische Ansatz für die Untersuchungen dieser Arbeit bestand darin, explizit Betonoberflächen in unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit auf die Funktionalität der AGS in Anlehnung an aktuelle Normen zu prüfen. Als neuer Ansatzpunkt wurde auf Untergründe zurückgegriffen, die sich in Farbe, Betonart und der Oberflächengestaltung unterscheiden. Ein Prüfkörper nach aktuellen Richtlinien, die Betongehwegplatte, wurde ebenfalls in die Untersuchungen mit einbezogen.

Ein vergleichbarer Forschungsansatz unter Einsatz bzw. Berücksichtigung von sechs verschiedenen Betonuntergründen und vier unterschiedlichen permanenten Anti-Graffiti-Systemen über einen Freibewitterungszeitraum von 2,5 Jahren ist bis jetzt nicht bekannt.

## 2 Grundlagen – Stand des Wissens

### 2.1 Betone

Beton ist ein künstlicher Stein, der aus einem Gemisch von Zement, Gesteinskörnungen und Wasser durch Erhärten des Zementleims entsteht (Backe et al. 2013) und gleichzeitig der am häufigsten verwendete Baustoff weltweit. Allein in Deutschland wurden im Jahr 2018 mit vorgefertigten Betonbauteilen ein Umsatz von 6 Mrd. Euro und mit Transportbeton ein Umsatz von 3,5 Mrd. Euro erzielt (Breitenbücher 2019).

Die Eigenschaften des Betons werden nach dem Erhärtungszustand unterteilt: den Eigenschaften des Frischbetons sowie des Festbetons. Zur Charakterisierung des Frischbetons werden die Konsistenz, die Frischbetonrohichte, die Temperatur und der Luftgehalt als zentrale Größen einbezogen. Die Druckfestigkeit, der Korrosionsschutz der Bewehrung, die Wasserdurchlässigkeit, der Frostwiderstand, der Widerstand gegen chemische Angriffe sowie der Verschleißwiderstand zählen zu den wichtigen Eigenschaften des Festbetons (Weber 2019).

Die DIN EN 206<sup>25</sup> regelt die Festlegung, die Eigenschaften, die Herstellung und die Konformität der Betone. Sie beinhaltet u.a. Regeln für die Verwendung von Ausgangsstoffen und definiert die Aufgaben des Verfassers der Festlegungen, des Herstellers und des Verwenders (DIN EN 206<sup>25</sup>).

#### 2.1.1 Betonkomponenten

Beton ist ein Gemisch aus mindestens drei Komponenten: Zement, Gesteinskörnung und Wasser. Gegebenenfalls können Betonzusatzstoffe und/oder -mittel enthalten sein. Aus dem Gemisch kann steifer oder weicher Beton hergestellt werden, der in Abhängigkeit von dem Mischungsverhältnis der einzelnen Ausgangsstoffe ganz unterschiedliche Festbetoneigenschaften erzielen kann (Neroth, Vollenschaar 2011).

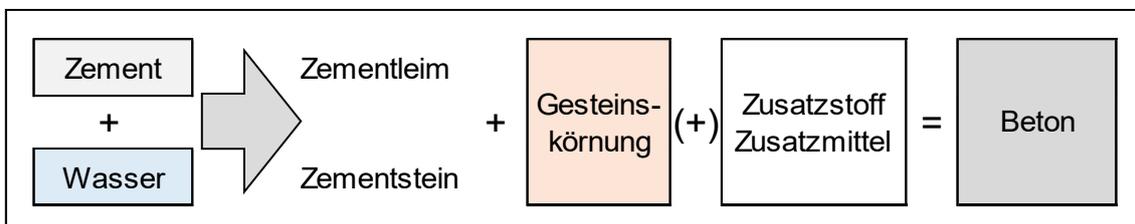


Abbildung 4: Komponenten des Betons

Beton als ein Zweistoffsystem (Abb. 4) betrachtet, besteht aus der Matrix (Gemisch aus Zement und Wasser) und dem Korngerüst (Gesteinskörnung). Die Zementleimmenge und -zusammensetzung beeinflussen die Verarbeitbarkeit des Frischbetons sowie die

<sup>25</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

Dichtigkeit des Zementsteins (Festbeton) und damit die Qualität des Betons (Neroth, Vollenschaar 2011).

### **Zement**

Für unbewehrte und bewehrte Betone ist ausschließlich Zement nach DIN EN 197-1<sup>26</sup> bzw. bauaufsichtlich zugelassener Zement geeignet. Diese Norm umfasst 27 in Europa gebräuchliche Zemente, welche in 5 Hauptarten unterschieden werden (u.a. Portland-, Hochofen-, Puzzolanzement). Zemente mit besonderen Eigenschaften werden durch DIN 1164-10<sup>27</sup> und DIN EN 14216<sup>28</sup> genormt. Der Anteil an Zement muss so hoch sein, dass der Beton die geforderte Druckfestigkeit erreicht. Die Mindestzementgehalte nach DIN EN 197-1<sup>26</sup> sind einzuhalten (Weber 2019).

### **Wasser**

Der Bestandteil Wasser wird in Zugabewasser und Eigenfeuchtigkeit der Gesteinskörnung unterschieden. Zusammen ergeben sie den Wassergehalt der Betonmischung.

Als Zugabewasser ist das natürliche, in der Natur vorkommende Wasser geeignet (nach DIN EN 1008<sup>29</sup>), es sei denn, es enthält Bestandteile, die das Erhärten oder andere Eigenschaften des Betons beeinflussen (Neumann et al. 2008).

Die Eigenfeuchte der Gesteinskörnung, auch Oberflächenfeuchte genannt, ist das außen an den Körnern haftende Wasser (Weber, 2019). Maßgebend für die Menge des erforderlichen Wassergehalts ist die gewünschte Konsistenz des Betons (Scholz et al. 2016).

Das Masseverhältnis von Wasser- und Zementgehalt gibt der Wasserzementwert (W/Z-Wert) wieder. Die DIN 1045-2<sup>30</sup> setzt obere Grenzwerte für den W/Z-Wert des Frischbetons fest. Zum Erhärten (vollständigen Hydratation) ist ein W/Z-Wert von ca. 0,40 notwendig, also 40 Prozent der Masse des Zements an wirksamen Wasser (Weber 2019).

---

<sup>26</sup> DIN EN 197-1:2011-11, Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

<sup>27</sup> DIN 1164-10:2013-03, Zement mit besonderen Eigenschaften - Teil 10: Zusammensetzung, Anforderungen und Übereinstimmungsnachweis von Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt

<sup>28</sup> DIN EN 14216:2015-09, Zement - Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme

<sup>29</sup> DIN EN 1008:2002-10, Zugabewasser für Beton - Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendem Wasser, als Zugabewasser für Beton

<sup>30</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

## Gesteinskörnung

Allgemein müssen die Gesteinskörnungen für Normalbeton die Regelanforderungen nach DIN EN 12620<sup>31</sup> erfüllen. Zur Herstellung von Beton soll das Korngemisch möglichst grobkörnig und hohlraumarm sein (gemischtkörnig) (Neumann et al. 2008).

Das Größtkorn ist so zu wählen, wie Mischen, Fördern, Einbringen und Verarbeiten des Betons dies zulassen (Neroth, Vollenschaar 2011).

## Zusatzstoffe/Zusatzmittel

Um bestimmte Frisch- und Festbetoneigenschaften zu beeinflussen, werden dem Beton Zusatzstoffe beigegeben. Das können anorganische, organische Betonzusatzstoffe, Pigmente oder Fasern nach DIN 1045-2<sup>30</sup> sein (CEMEX 2018).

Betonzusatzmittel werden während des Mischvorgangs in flüssiger oder pulverförmiger Form dem Beton zugesetzt, um durch chemische und/oder physikalische Wirkung die Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons zu ändern. Dazu gehören die Verarbeitbarkeit, das Erstarren oder der Luftgehalt (CEMEX 2018). Die Zusatzmittel werden in verschiedene Wirkungsgruppen, z.B.: Betonverflüssiger, Fließmittel, Verzögerer oder Beschleuniger eingeteilt. Für Beton nach DIN 1045-2<sup>32</sup> dürfen ausschließlich Zusatzmittel nach DIN EN 934-1<sup>33</sup> verwendet werden (Weber 2010).

Beispiele für Betonzusatzstoffe und deren Funktion enthält Tabelle 2.

Tabelle 2: Beispiele für Betonzusatzstoffe und ihre Funktion (CEMEX 2018)

Zusatzstoffe	Beispiele	Funktion
anorganische Betonzusatzstoffe	inerte (unbeteiligte) Gesteinsmehle (z.B. Kalkstein)	Verbesserung der Verarbeitbarkeit
	puzzolanische/latent hydraulische Stoffe (z.B. Trass, Flugasche)	höhere Dichtigkeit
organische Betonzusatzstoffe	Kunststoffpartikel PCC (Polymer-Cement-Concrete)	höhere Zug- und Haftfestigkeit, bessere Chemikalienbeständigkeit, Verbesserung des Widerstandes gegen Frost- und Frosttausalzangriff, günstigeres Verschleißverhalten (Thienel, Beuntner 2018)
	Kunststoffpartikel ECC (Epoxy-Cement-Concrete)	
Pigmente Fasern	mehlfeine anorganische Zusätze (z.B. Metalloxide)	dauerhafte Farbgebung des Betons
	mehlfeine organische Zusätze (z.B. Ruß)	
Fasern	Stahl-, Glas, Kunststoff-, Kohlenstofffasern	Verankerung, Übernahme von Kräften

<sup>31</sup> DIN EN 12620:2008-07, Gesteinskörnungen für Beton

<sup>32</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

<sup>33</sup> DIN EN 934-1:2008-04, Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Teil 1: Gemeinsame Anforderungen

## 2.1.2 Klassifizierung der Betonart und Betongüte

Aufgrund der vielen Möglichkeiten der Zusammensetzung und Anwendung des Baustoffes Beton ergeben sich mehrere Unterscheidungen für die Bestimmung der Betongüte sowie der Betonart (Weber 2019). Die Güte und Dauerhaftigkeit des Betons hängen von der zweckmäßigen Zusammensetzung, der einwandfreien Verarbeitung und Verdichtung und einer sorgfältigen Nachbehandlung ab. Im verdichteten und erhärteten Zustand muss der Beton über den gesamten Querschnitt ein gleichmäßiges, dichtes und festes Gefüge besitzen. Sollte eine Stahlbewehrung vorhanden sein, muss diese vollständig umhüllt und ausreichend überdeckt sein (Scholz et al. 2016).

### Betonart

Die Einteilung der Betonart kann anhand der Trockenrohddichte (Tab. 3), nach dem Ort des Einbringens oder nach dem Erhärtungszustand erfolgen (Pickhardt et al. 2016).

Tabelle 3: Einteilung der Betonart anhand der Trockenrohddichte nach DIN EN 206<sup>34</sup>

Einteilungsmerkmal	Betonart	Rohddichte	Gesteinskörnungen z.B.
Trockenrohddichte (Rohddichte ofentrocken)	Leichtbeton LC	$\leq 2,0 \text{ Mg/m}^3$	Blähschiefer, Blähton, Hütten-, Naturbims
	Normalbeton C	$2,0 \dots 2,6 \text{ Mg/m}^3$	Sand, Kies, Splitt, Hochofenschlacke
	Schwerbeton HC	$\geq 2,6 \text{ Mg/m}^3$	Eisenerz, Eisengranulat, Schwerspat

Eine Einteilung nach Art der Bewehrung in: unbewehrter Beton, Stahlbeton, Spannbeton oder Faserbeton ist ebenso möglich (Weber 2019).

Auch die Art der Verwendung (z.B. Sicht-, Estrich-, Fließbeton) kann in die Definition der Betonart einfließen (Pickhardt et al. 2016).

### Betongüte

Beton wird nach vielen unterschiedlichen Merkmalen in bestimmte Klassensysteme (z.B. Expositions-, Feuchtigkeits-, Konsistenz-, Rohddichte-, Druckfestigkeitsklasse) eingeteilt. Durch diese Einteilungen soll die Betongüte umfassend beschrieben werden. Dabei ist nicht jede Klasse für alle Einsatzzwecke des Betons ausschlaggebend (DIN EN 206<sup>35</sup>). In den meisten Fällen richtet sich das Augenmerk vor allem auf die Druckfestigkeitsklasse des Betons. Sie gibt an, welchen Druckbelastungen der Beton im ausgehärteten Zustand widerstehen kann (CEMEX 2018; Holcim 2022).

Die Druckfestigkeitsklasse ist – wegen der statischen Anforderungen – das wichtigste Maß für den Festbeton.<sup>36</sup>

<sup>34</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>35</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>36</sup> <https://www.hausjournal.net/betonguete>

## Druckfestigkeitsklassen

Die Druckfestigkeitsklassen werden getrennt in Klassen für Normal- und Schwerbeton und Klassen für Leichtbeton unterteilt (Tab. 4). Eine bestimmte Druckfestigkeit von einem Zylinder und einem Würfel mit festgelegter Kantenlänge beziehungsweise festgelegtem Durchmesser werden als charakteristische Mindestdruckfestigkeit vorgegeben. Der Druck wird in N/mm<sup>2</sup> angegeben. Druckfestigkeitsklassen für Normal- und Schwerbeton werden mit „C“, für Leichtbeton mit „LC“ bezeichnet (Hestermann, Rongen 2015).

Tabelle 4: Druckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206:2021-06<sup>37</sup> (CEMEX 2018)

Normal- und Schwerbeton			Leichtbeton		
Druckfestigkeitsklasse	Zylinder <sup>1)2)</sup> f <sub>ck,cyl</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Würfel <sup>1)3)</sup> f <sub>ck,cube</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Druckfestigkeitsklasse	Zylinder <sup>1)2)</sup> f <sub>ck,cyl</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Würfel <sup>1)3)</sup> f <sub>ck,cube</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
C8/11	8	10	LC8/9	8	9
C12/15	12	15	LC12/13	12	13
C16/20	16	20	LC16/18	16	18
C20/25	20	25	LC20/22	20	22
C25/30	25	30	LC25/28	25	28
C30/37	30	37	LC30/33	30	33
C35/45	35	45	LC35/38	35	38
C40/50	40	50	LC40/44	40	44
C45/55	45	55	LC45/50	45	50
C50/60	50	60	LC50/55	50	55
<b>Hochfester Beton</b>					
C55/67	55	67	LC55/60	55	60
C60/75	60	75	LC60/66	60	66
C70/85	70	85	LC70/77 <sup>4)</sup>	70	77
C80/95	80	95	LC80/88 <sup>4)</sup>	80	88
C90/105 <sup>4)</sup>	90	105			
C100/115 <sup>4)</sup>	100	115			

<sup>1)</sup> Lagerung der Probe unter Wasser, Prüfdauer 28 Tage

<sup>2)</sup> Zylinder: Ø 150 mm, h = 300 mm

<sup>3)</sup> Würfel: Kantenlänge 150 mm

<sup>4)</sup> Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder Zustimmung im Einzelfall erforderlich

## Sonderbetone

Zudem gibt es Betone für spezielle Anwendungen und/oder besonderen Eigenschaften, die sich nicht explizit einer Klasse oder Einteilung zuordnen lassen. Für diese Betone gelten i.d.R. ebenfalls die DIN EN 206<sup>37</sup> und DIN EN 1045-2<sup>38</sup>, jedoch bestehen für sie zusätzliche Vorschriften wie die DAfStb-Richtlinien<sup>39</sup> (Holcim 2022).

Zu diesen Betonarten gehören u.a. wasserundurchlässige Betone, flüssigkeitsdichte Betone, hochfeste Betone, Vakuumbetone, selbstverdichtende Betone, Faserbetone oder Sichtbetone. Diese zeichnen sich durch eine hohe Dichte und Dauerhaftigkeit aus (Kaczmarczyk et al. 2009).

<sup>37</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>38</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

<sup>39</sup> DAfStb-Richtlinien, Schriftenreihe: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V.

### Hochfester Beton

Betone ab einer Festigkeitsklasse von C55/67 für Normal- und Schwebeton bzw. C55/60 für Leichtbeton werden als hochfester Beton bezeichnet. Durch die Zugabe von Silikatstaub und Fließmittel ergibt sich ein dichtes und kapillarporenarmes Gefüge. Außerdem ist der Wasserzementwert niedriger als bei Normalbeton, deutlich unter 0,4. Diese Betone werden vorrangig im Hochhausbau verwendet (Neroth, Vollenschaar 2011).

Hochfester Beton wird auch als Hochleistungsbeton bezeichnet, da er neben der hohen Festigkeit u.a. noch folgende positive Eigenschaften aufweist: geringeres Kriechen und Schwinden, größere Dichtigkeit, dadurch bessere Dauerhaftigkeit sowie größerer Widerstand gegen äußere Angriffe, wie Karbonatisierung, chemische Angriffe oder die Einwirkungen von Frost und Tausalzen (Thienel 2017).

### Wasserundurchlässiger Beton (WU-Beton)

Diese Betone besitzen einen hohen Wassereindringwiderstand nach DIN 1045<sup>40</sup> und DIN EN 206<sup>41</sup>. WU-Betone weisen einen niedrigen Wasserzementwert auf (W/Z-Wert  $\leq$  0,60). Ihr Zementanteil ist relativ hoch und das Betongefüge deshalb vergleichsweise dicht, die Mindestdruckfestigkeitsklasse beträgt C25/30 (Holcim 2022).

### Faserbetone

Im Gegensatz zum Stahlbeton wird Faserbeton in einem Arbeitsgang hergestellt, was zu wesentlich weniger Arbeitszeitaufwand bei der Verarbeitung führt. Dem Faserbeton werden neben den üblichen Betonkomponenten zusätzlich Fasern aus Stahl, Glas, Kunststoff oder Kohlenstoff (Carbonfasern) beigemischt (Neroth, Vollenschaar 2011). Die Fasern sind im Zementstein bzw. im Mörtel, der Matrix, eingebettet und wirken dort als Bewehrung, das führt zu einem höheren Verschleißwiderstand und zur Steigerung der Dauerhaftigkeit (Thienel 2018; Holcim 2022).

### Sichtbeton

Besondere Anforderungen hinsichtlich Farbe, Gestaltung, Ebenheit und Maßgenauigkeit und Aussehen werden an Sichtbetonoberflächen gestellt. Es bestehen jedoch keine verbindlichen Vorschriften zur Planung, zur Betonzusammensetzung, zur Bauausführung oder zur Beurteilung. Stattdessen kann auf das „Merkblatt Sichtbeton“<sup>42</sup> des Deutschen Beton- und Bautechnikvereines e. V. zurückgegriffen werden, es unterteilt den Sichtbeton in vier Klassen SB 1 bis SB 4 (Schulz 2010; Holcim 2022).

---

<sup>40</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

<sup>41</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>42</sup> DBV-Merkblatt Sichtbeton:2015-06, DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton:2015-06

### **2.1.3 Festlegung des Betons**

Bevor ein Beton hergestellt und verarbeitet wird, ist eine Festlegung des Betons zu treffen. Das beinhaltet die endgültige Zusammenstellung dokumentierter technischer Anforderungen, die dem Hersteller als Eigenschaften oder Zusammensetzung des Frisch- und Festbetons vorgegeben werden (Backe et al. 2013).

Nach DIN EN 206<sup>43</sup> muss der Verfasser der Festlegung des Betons sicherstellen, dass alle relevanten Anforderungen für die Betoneigenschaften in der dem Hersteller zu übergebender Festlegung enthalten sind. Das beinhaltet auch die Anforderungen an Betoneigenschaften, die u.a. für das Einbringen, die Verdichtung, die Nachbehandlung oder weitere Behandlungen erforderlich sind (DIN EN 206<sup>43</sup>).

Entsprechend der Art der Feststellung wird unterschieden in „Beton nach Eigenschaften“, „Beton nach Zusammensetzung“ und „Standardbeton“ (Backe et al. 2013).

#### **Standardbeton**

Für Standardbeton sind nach DIN EN 206<sup>43</sup> und DIN 1045-2<sup>44</sup> exakte Vorgaben für den Anwendungsbereich, die Betonzusammensetzung und die Festlegung vorzugeben und zwingend einzuhalten (Pickhardt et al. 2016). Außerdem darf er nur für unbewehrte und bewehrte Bauwerke aus Normalbeton der Druckfestigkeitsklassen  $\leq C16/20$  und für die Expositionsklassen X0, X1 und X2 verwendet werden. Die Zusammensetzung ist in einer am Ort der Verwendung gültigen Norm vorgegeben (Küchlin, Hersel 2017).

Zusatzmittel und -stoffe sind hierbei gemäß DIN EN 206<sup>43</sup> nicht zugelassen und die Zementgehalte nach DIN EN 197-1<sup>45</sup> einzuhalten.

### **2.1.4 Betonoberfläche**

Die Flexibilität des Betons ermöglicht Architekten größte gestalterische Freiheiten (Latzke 2017). Dabei ist die Oberfläche des Betons in ihrem Erscheinungsbild äußerst sensibel. Jede Veränderung des Betons in Farbe, Textur, Ebenheit und Rauheit, Glanz, Form, Optik oder Haptik ist dauerhaft in seine Oberfläche eingeprägt und nicht mehr ohne weiteres veränderbar. Dadurch kann jedoch die Betonoberfläche ein Unikat darstellen und zu einem individuellen Erscheinungsbild beitragen (Lohaus 2017).

Die Bearbeitung von Betonoberflächen ist aus verschiedenen Gründen von Bedeutung: Zum einen werden Verfahren zur Oberflächenbearbeitung gezielt zur Gestaltung von Betonoberflächen eingesetzt. Auch müssen im Rahmen von Instandsetzungs-

---

<sup>43</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>44</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

<sup>45</sup> DIN EN 197-1:2011-11, Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

maßnahmen im Verkehrsbau Betonoberflächen profiliert werden. Zudem müssen Betonuntergründe vor dem Aufbringen von Betonersatz- oder Oberflächenschutzsystemen zielführend vorbereitet werden (Momber, Schulz 2006).

### 2.1.4.1 Oberflächenbearbeitung

Oberflächenteile von Bauteilen oder Elementen, die vom Betrachter aus unterschiedlicher Lage besichtigt werden können, werden gemäß DIN 18500-1<sup>46</sup> als Sichtflächen bezeichnet. Bei einer unbearbeiteten Betonoberfläche kann die Farbe des Zementleims (z.B. Weißzement) dominierend und bestimmend sein (Möllmann, Nicolay 2008).

Für die Bearbeitung von Beton können traditionelle Steinmetzwerkzeuge, wie z. B. Bosierhammer, Scharriereisen, Spitzeisen oder Stockhammer verwendet werden. Heute finden solche Bearbeitungen in Handarbeit nur noch für kleine Flächen Einsatz. Inzwischen haben Bearbeitungsverfahren über pneumatisch oder elektrisch angetriebene Werkzeuge eine größere Bedeutung erlangt.

Die heutigen Aufgaben der Betonoberflächenbearbeitung dienen u.a. der Beseitigung von Unebenheiten, der Wiederherstellung der Griffigkeit oder dem Entfernen schadstoffbelasteter arteigener Schichten (Momber, Schulz 2006).

Die Tabelle 5 fasst die Anwendungsgebiete und Aufgaben der Oberflächenbearbeitung zusammen (Momber, Schulz 2006).

*Tabelle 5: Anwendungsgebiete und Aufgaben der Betonoberflächenbearbeitung (Momber, Schulz 2006)*

Anwendungsgebiet		Aufgabe
1	Bearbeitung von Fahrbahndecken sowie Start- und Landebahnen aus Beton	Beseitigung von Unebenheiten in Längs- und Querrichtung
		Wiederherstellung der Griffigkeit
2	Bearbeitung von Gehwegen, Fußböden und Industrieböden	Rutschsicherheit
		Beseitigung von Unebenheiten und Erhöhung des Verschleißwiderstandes
3	Bearbeitung von Betonwerkstein (Beton-sichtflächen)	Architektonische Gestaltung von Betonwerkstein
		Egalisierung von Farb- oder Strukturunterschieden
4	Untergrundvorbereitung für die Betoninstandsetzung	Entfernen minderfester arteigener Schichten
		Entfernen schadstoffbelasteter arteigener Schichten
		Entfernen artfremder Schichten
		Säubern, Trocknen oder Befeuchten
		Freilegen und Entrosten des Stahls
		Aufräumen des Betons

<sup>46</sup> DIN 18500-1:2022-10, Betonwerkstein - Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Prüfung

Für diese Forschungsarbeit ist das Anwendungsgebiet 3, die Bearbeitung von Betonwerkstein zur Architektonische Gestaltung von Betonwerkstein und der Egalisierung von Farb- oder Strukturunterschieden von Bedeutung.

Die Oberflächenbearbeitung kann in frischem oder erhärtetem Zustand des Betons auf der Baustelle oder aber bei der Vorfertigung im Betonwerk erfolgen (Kind-Barkauskas et al. 2013). Ziel dieser Bearbeitung ist es, die Farbigkeit der Gesteinskörnungen zur Wirkung zu bringen. Mögliche Arbeitstechniken hierfür sind das Auswaschen ( $\geq 2$  mm) bzw. Feinwaschen ( $\leq 2$  mm), das An- und Aufräuen durch Absäuern oder Sandstrahlen oder auch steinmetzmäßige Bearbeitungsarten wie das Bossieren, Stocken oder Scharrieren (DIN 18500-1<sup>47</sup>). Dabei werden der Zementleim und/oder die Oberfläche der Körnung freigelegt oder teilweise abgetragen (Herzog et al. 2016).

Darüber hinaus kann die Betonoberfläche das Spiegelbild der verwendeten Schalung sein. Von schalungsglatter Sichtbetonoberfläche bis zur beliebigen Oberflächentextur durch Strukturschalungen kann sie die Betonoberfläche prägen (Steinle et al. 2018).

Das beschriebene Potential an Oberflächenbearbeitung ermöglicht vorrangig für Sichtflächen ein individuelles, vielseitiges und verändertes Erscheinungsbild. Denn vor allem diese Sichtflächen aus Beton, wie Fassaden, Brückenbauteilen, Sicht- oder Schallschutzwände, Hangbefestigungen oder Mauern sind Ziele für illegale Graffiti.

#### **2.1.4.2 Oberflächenschutz**

Um die Widerstandsfähigkeit der Betonbauteile gegen eine Vielzahl von äußeren Einwirkungen oder Beanspruchungen zu erhöhen, werden Oberflächenschutzsysteme eingesetzt (Weber 2022). Deren Vorteile liegen in der langsameren Verschmutzung der Oberfläche, der geminderten Wasseraufnahme, der erleichterten und somit kostenreduzierten Reinigung der Fassade sowie dem Werterhalt (FDB 2020<sup>48</sup>).

Die DIN 18500-1<sup>49</sup> definiert die Oberflächenbehandlung als nachträgliches Auftragen eines Oberflächenschutzes auf mindestens eine Oberfläche des Betonbauteils bzw. Betonelementes oder das Vergüten der Sichtfläche durch/mit z.B.: Wachsen, Ölen, Versiegeln, Imprägnieren, Hydrophobieren, Beschichten oder Verfestigen (DIN 18500-1<sup>49</sup>).

Für die Herstellung eines Oberflächenschutzes auf Bauteilen muss zunächst ein flüssiger Werkstoff aufgetragen werden. Diese werden als Beschichtungsstoffe (ehemals Anstrichstoffe) bezeichnet (Neroth, Vollenschaar 2011).

---

<sup>47</sup> DIN 18500-1:2022-10, Betonwerkstein - Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Prüfung

<sup>48</sup> FDB, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V. (2020): Infoblatt, Oberflächenschutz, Reinigung und Pflege von Fertigteilefassaden aus Architekturbeton (03/2020)

<sup>49</sup> DIN 18500-1:2022-10, Betonwerkstein - Teil 1: Begriffe, Anforderungen, Prüfung

Die DIN EN ISO 4618<sup>50</sup> und die DIN 55945<sup>51</sup> legen Begriffe fest, die auf dem Gebiet der Beschichtungsstoffe (Lacke, Anstrichstoffe und Rohstoffe für Lacke und Anstrichstoffe) verwendet werden, außerdem verweisen sie auf ergänzende Normen.

Es ist wichtig, dass der Beschichtungsstoff lange genug im flüssigen Zustand auf dem Untergrund verweilt, weil dadurch der Haftverbund verbessert wird. Das wird mit flüssigen oder in Lösemittel verflüssigten Kunststoffen oder auch durch Bindemittel, die durch Wärmebehandlung zum Schmelzen gebracht werden, erzielt. Beschichtungsstoffe sind Gemische, die aus 5 bis 30 Einzelbestandteilen, der in Abb. 5 gezeigten Stoffgruppen, bestehen (Knoblauch, Schneider 1995).

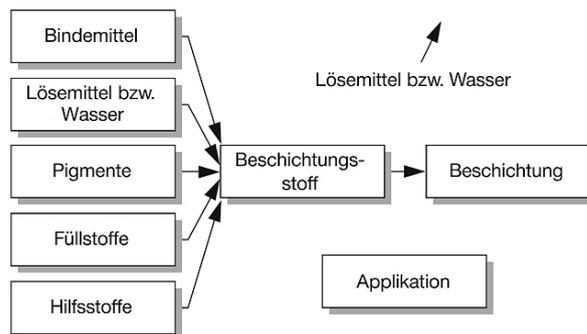


Abbildung 5: Komponenten eines Beschichtungsstoffes, Übergang von flüssig nach fest (Neroth, Vollenschaar 2011)

Die Hauptbestandteile der Beschichtungsstoffe sind Bindemittel (BM), Pigmente, Füllstoffe sowie Lösemittel bzw. Verdünnungsstoffe. Das BM bildet dabei den wichtigsten Bestandteil. Die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten werden erheblich durch die Art und Menge des Bindemittels beeinflusst. BM können mittel- bis hochmolekulare Polymere bzw. Stoffe sein, die nach dem Auftrag auf den Untergrund zu hochmolekularen Stoffen reagieren. Ihre Hauptaufgabe besteht in der Benetzung und Haftung des Anstrichmittels auf dem Untergrund (Rusam 2004).

Bei den Pigmenten handelt es sich um anorganische oder organische Feststoffteilchen mit einer maximalen Korngröße von 1,0 Mikrometer. Das können Weißpigmente, anorganische Buntpigmente aus Mineralien, Gesteinen oder Erden oder organische Buntpigmente sein. Sie beeinflussen den Farbton und das Deckvermögen eines Beschichtungsstoffes. Sie dienen als Schutz gegen mechanische Beschädigung, chemische Einflüsse sowie zur Abhaltung der UV-Strahlung im sichtbaren Licht (Neroth, Vollenschaar 2011).

<sup>50</sup> DIN EN ISO 4618:2023-05, Beschichtungsstoffe - Begriffe (ISO 4618:2023)

<sup>51</sup> DIN 55945:2016-08, Beschichtungsstoffe und Beschichtungen - Ergänzende Begriffe zu DIN EN ISO 4618

Die Füllstoffe sind ebenfalls Feststoffteilchen, mit einer Größe bis 30,0 Mikrometer. Es handelt sich vorwiegend um Mineralien (Quarz, Schiefer, Dolomit, Talkum), welche möglichst farbneutral und chemisch inert sind. Als fester Film sollen sie eine Verbesserung des Widerstandes gegen mechanische Einflüsse sicherstellen und das Schwindmaß und die thermische Längenänderung reduzieren (Knoblauch, Schneider 1995).

Hilfsstoffe sind flüssig oder pulverförmig und werden zum Erreichen oder zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften eingesetzt. Sie sollen u.a. die Entlüftung und die Entschäumung der flüssigen Beschichtungsstoffe, die Benetzbarkeit oder auch den Verlauf des auftragenden Stoffes fördern. Das eigentliche Eigenschaftsbild des Stoffes beeinflussen sie praktisch nicht. Hilfsstoffe können u.a. Sikkative, Alkohole, Siliconöle, Silikate, Fungizide oder Algizide sein (Rusam 2004).

Lösemittel sind aus verschiedenen Gründen notwendig. Sie sollen eine Vermischung des Bindemittels mit den übrigen Bestandteilen garantieren. Das ermöglicht eine leichtere Verarbeitbarkeit, die Verbesserung der Benetzungsfähigkeit und führt zur Haftung auf dem Untergrund. Die eingesetzten Polymere müssen entweder selbst flüssig oder in Lösemittel löslich bzw. in Wasser dispergierbar sein. Für die Verarbeitung muss der Beschichtungsstoff einen ausreichend langen Flüssigkeitszustand gewährleisten. Der Phasenübergang, flüssig zu trocken, durch Verdunsten der Lösemittel beschreibt die physikalische Trocknung. Bei der chemischen Vernetzung erfolgt der Phasenübergang durch die chemische Reaktion des Bindemittels bspw. über Luftbestandteile oder zwischen zwei verschiedenen Bindemittelkomponenten. Die physikalische Trocknung und die chemische Vernetzung können auch parallel auftreten (Neroth, Vollenschaar 2011).

### **Oberflächenschutzsysteme für Beton**

Nach ZTV-ING<sup>52</sup> besteht ein Oberflächenschutzsystem (OS) aus den einzelnen Schichten des Oberflächenschutzes. OS können filmbildend und nicht filmbildend sein. Bei nicht filmbildenden Produkten werden die Poren und Kapillaren nur ausgekleidet und nicht gefüllt, es bildet sich kein Film auf der Oberfläche des Betons. In der Regel ändert sich dabei das äußere Erscheinungsbild wenig bis kaum. Anders verhält es sich bei den filmbildenden Produkten: Poren und Kapillare werden teilweise oder sogar vollständig gefüllt und es bildet sich ein Film auf dem Beton. Dadurch kann sich das äußere Erscheinungsbild der Betonoberfläche ändern (FDB 2020). Die OS werden in die drei Gruppen: Imprägnierung, Hydrophobierung und Beschichtung unterteilt (Hegger, Mark 2016).

---

<sup>52</sup> ZTV-ING:10/2017, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

## Imprägnierung

Imprägnierungen auf horizontalen Betonflächen dringen als dünnflüssige Substanz weitgehend in die oberflächennahen Porenräume ein und bilden einen durchgehenden, sehr dünnen Film an der Oberfläche. Dieser Film erhöht den Widerstand gegen chemische Angriffe und mechanische Beanspruchung. Bei der Verwendung von Imprägnierungen auf senkrechten Flächen werden die Poren nur teilweise ausgekleidet und es wird kein durchgehender Film an der Oberfläche gebildet (Weber 2022). Die Abb. 6 zeigt teilweise gefüllte Poren und Kapillaren.

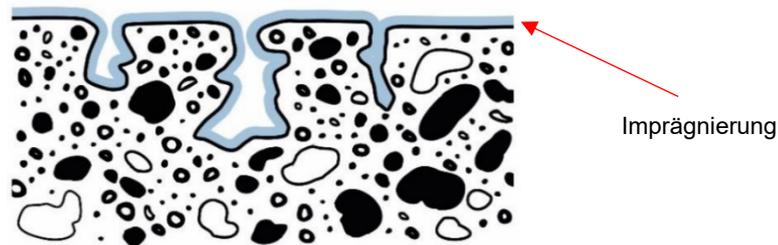


Abbildung 6: Imprägnierung (FDB 2020)

Je nach Verwendungszweck und Wirkungsweise können Imprägnierungen unterteilt werden in: hydrophobierende, oleophobierende und verfestigende Imprägnierungen (Stahr et al. 2016). Im Bauwesen werden unter anderem Silane/Silikone, Kieselsäureester, Epoxid-, Acryl- und PU-Harze oder auch Fluorsilikate als Imprägnierungsmittel verwendet (Knoblauch, Schneider 1995).

Wichtige Eigenschaften, einer Imprägnierung für Betonoberflächen können sein:

- das Reduzieren der kapillaren Wasseraufnahmefähigkeit (hydrophob)
- Schmutz- und Ölabweisend (oleophob)
- dampfdiffusionsoffen (bei Fassaden erforderlich)

Durch diese Eigenschaften können auf Betonoberflächen beispielsweise die Ausblühungsneigungen reduziert, die Frostwiderstandsfähigkeit und Frost-/Tausalzwiderstandsfähigkeit verbessert, eine erleichterte Graffitientfernung/Graffitischutz erreicht und/oder die Abwitterung reduziert (Farberhaltung) werden (FDB 2020).

## Hydrophobierung (hydrophobierende Imprägnierung)

Die Hydrophobierung bezeichnet eine Imprägnierung, deren Haupteigenschaft die Wasserabweisung ist. Durch den Einsatz einer Hydrophobierung kann der Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand des Betons verbessert werden. Der Transport von in Wasser gelösten Schadstoffen (Chloride) wird weitgehend verhindert, da das Wasser nicht in das Porensystem eindringt (Peck et al. 2008).

Eine Hydrophobierung bildet keinen sichtbaren Film an der Oberfläche des Betons (Abb. 7), die Poren bleiben offen und folglich wird das optische Erscheinungsbild nicht verändert (Weber 2022).

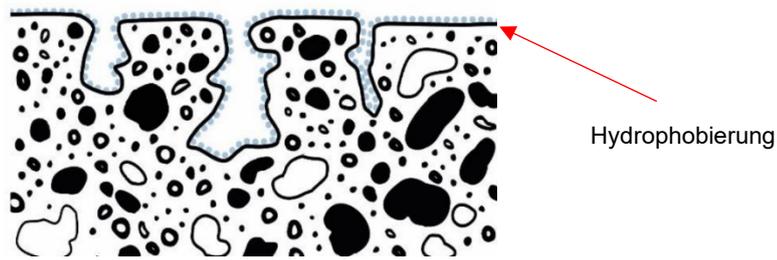


Abbildung 7: Hydrophobierung (FDB 2020)

Als geeignete Imprägnierungsmittel für die hydrophobierenden Imprägnierungen auf Beton haben sich Silane und Siloxane in organischen Lösemitteln durchgesetzt. Weitere aktuelle Imprägnierstoffe sind Silikonmicroemulsionen oder Siloxanemulsionen (Stahr et al. 2016). Die Tabelle 6 enthält eine Zusammenfassung der Imprägnierungsmittel und ihre Merkmale.

Tabelle 6: Arten und Merkmale von Imprägnierstoffen für hydrophobierende Imprägnierungen (Stahr et al. 2016)

	Silane	Siloxane	Silikonharze	Silikonmicroemulsionen (SMK)
Wirkstoff	Hochalkylierte Silane	Hochalkylierte Polysiloxane	Methylpolysiloxan	Hochalkylierte Silane/Siloxane
Lösemittel bzw. „Verdünnungsmittel“	Alkohole, Kohlenwasserstoffe	Kohlenwasserstoffe, Alkohole	Kohlenwasserstoffe	Wasser
Untergrundanforderungen	Leicht feucht, gute Wasseraufnahme	Leicht feucht, gute Wasseraufnahme	Trocken, gute Wasseraufnahme	Leicht feucht, gute Wasseraufnahme
Untergründe (exemplarisch)	Beton, Mineralischer Putz	Sandsteine, Kalksteine, Beton, Ziegel, Mineralischer Putz	Sandsteine, Kalksteine, Beton, Ziegel, Mineralischer Putz	Sandsteine, Kalksteine, Beton, Ziegel, Mineralischer Putz

Oftmals wird in der Praxis, aber auch im überwiegenden Teil der Fachliteratur, für Hydrophobierungen auf Beton vorausgesetzt, dass die Dauerhaftigkeit der Hydrophobierungen zeitlich begrenzt ist, zumindest aber geringer als die Lebensdauer des Bauwerkes. Vielfach wird pauschal eine verbreitete Zeitspanne zwischen dem Aufbringen der Hydrophobierung und dem Verlust der Wirksamkeit von 10 Jahren angegeben (Orlowsky 2012). Genaue Angaben bezogen auf die inneren (Betonuntergrund, Risse) und äußeren Einwirkungen (Klima, Chemikalien), die Art der Hydrophobierung und der Applikation fehlen oftmals (Orlowsky 2012; Braun 2021).

### Beschichtung

Beschichtungen sollen das Eindringen flüssiger und gasförmiger Stoffe in den Beton verhindern (Neroth, Vollenschaar 2011). Darüber hinaus bieten sie auch Schutz gegen

mechanische und chemische Einflüsse und die Möglichkeit, Risse zu überbrücken. Beschichtungen (Abb. 8) führen auf der Betonoberfläche zu einem geschlossenen, dichten Film von 0,1 bis 5 mm Dicke (Mehlhorn, Curbach 2014 ).

Alle Beschichtungen bestehen immer mindestens aus einer Grundierung sowie einer Oberflächenschutzschicht. Grundlage der meisten Systeme sind Polymerdispersionen, Polyurethane, Epoxidharze und Silane/Siloxane (Rusam 2004).



Abbildung 8: Beschichtung (FDB 2020)

Als Regelwerke für Oberflächenschutzsysteme auf Beton dienen die DIN EN 1504-9<sup>53</sup>, DIN 50035<sup>54</sup> und die DIN EN 1062-1<sup>55</sup>. Die Richtlinien nach DAfStb-2<sup>56</sup> und ZTV-ING<sup>57</sup> können zusätzlich gelten. Ist auf Betonoberflächen mit dem Auftrag von Graffiti zu rechnen, ist nach ZTV-ING<sup>57</sup> ein Oberflächenschutz mit AGS-Eigenschaften vorzusehen.

## 2.2 Anti-Graffiti-Systeme

Um eine möglichst schnelle und einfache Entfernung von unerwünschten Graffiti und Schmierereien von betroffenen Oberflächen zu erreichen, können spezielle Oberflächenschutzsysteme eingesetzt werden. Die für diese Behandlung verwendeten Materialien werden Anti-Graffiti-Systeme (AGS) und in Verbindung mit dem dazu festgelegten Reinigungsverfahren in ihrer Gesamtheit als Graffitiprofylaxe bezeichnet.<sup>58</sup>

Seit Anfang der 1990er Jahre werden AGS auf dem Markt angeboten, doch erst Ende der 1990er Jahre wurde diese Möglichkeit des Oberflächenschutzes als vorbeugende Maßnahme angenommen (Stahl, Wakili 2022).

### 2.2.1 Einfluss und Vorbereitung der Oberfläche

Die Eigenschaften von Betonbauten und Bauteilen unterscheiden sich in Abhängigkeit ihrer Zusammensetzung und ihrem Gefüge. Eine besondere Bedeutung haben die

<sup>53</sup> DIN EN 1504-9:2008-11, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 9: Allgemeine Grundsätze für die Anwendung von Produkten und Systemen

<sup>54</sup> DIN 50035:2012-09, Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien - Polymere Werkstoffe

<sup>55</sup> DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung

<sup>56</sup> DAfStb-2 Betonbauteile; Instandsetzungs-Richtlinie:2001-10, Teil 2: Bauprodukte und Anwendung

<sup>57</sup> ZTV-ING:10/2017, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

<sup>58</sup> <https://www.anti-graffiti-verein.de/anti-graffiti-systeme-ags/>

Oberflächeneigenschaften, sie beeinflussen einerseits die Haftung der AGS und andererseits die Entfernbareit von Graffiti bzw. Farbmitteln (Goretzki 1998). Eine unzureichende Adhäsion von AGS auf Beton ist eine der Hauptursachen für Schäden bei Schutz- oder Instandsetzungsmaßnahmen, deshalb sollte sie als grundlegende Voraussetzung für die Dauerhaftigkeit angesehen werden. Häufige Schadensbilder sind Ablösungen oder Blasenbildungen (Raupach, Orłowsky 2008).

Um einen Untergrund mit einem AGS zu schützen, müssen demzufolge zwingend die Werkstoffeigenschaften beachtet werden. Eine charakteristische Größe zur Beschreibung von Benetzungsvorgängen an der Oberfläche ist der Benetzungswinkel. Auch das Porengefüge des Baustoffes ist für die Oberflächeneigenschaften bedeutend, es wird u.a. durch die Auswahl des Schalungsmaterials beeinflusst. Daher ist die Rauheit der Oberfläche für die Haftung von AGS als auch für die Entfernung von Farbmitteln bedeutend. Um die Oberfläche vollumfänglich vor dem Eindringen von Farbmitteln zu schützen, müssen die AGS einen geschlossenen Film auf der Oberfläche ausbilden. Demnach gilt: „Je rauer die Oberfläche, umso größer die Auftragsmenge.“ Das wiederum kann sich ungünstig auf das optische Erscheinungsbild auswirken. Ein schwacher Glanz, eine Verdunklung oder eine Farbvertiefung können auftreten (Goretzki 1998).

Nach ZTV-ING<sup>59</sup> besteht die Vorbereitung der Betonunterlage für das Aufbringen von Betonerersatz- oder OS-Systemen, somit auch AGS, aus dem:

- Entfernen von Beschichtungen und Nachbehandlungsfilmen, Verunreinigungen,
- Entfernen von Zementschlämmen und minder festen Schichten,
- Abtragen von schadhaftem Beton/Betonersatz, ggf. Freilegen von Bewehrung,
- Entfernen von Rostprodukten an freiliegender Bewehrung und Metallteilen,
- Säubern der Betonunterlage von Staub und losen Teilen, sowie dem
- Entfernen von Wasser.

Die Betonoberfläche sollte somit fest sein, frei von Zementschlämme, Zementhaut, losen und mürben Teilen, Gefügefehlstellen und trennend wirkenden Substanzen (z. B. Öl, Fett, Paraffin, Trennmittel, Nachbehandlungsmittel, organische Zusätze, Anstrichresten). Das Abmehlen und Absanden der Oberfläche muss unterbunden werden. Sollten Betonoberflächen, die zur Beschichtung vorgesehen sind, diese Anforderungen nicht erfüllen, ist eine Oberflächenbearbeitung durch Sandstrahlen, Flammstrahlen, Fräsen usw. in der Regel unumgänglich (Schulz 1984; Momber, Schulz 2006).

---

<sup>59</sup> ZTV-ING:10/2017, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

## 2.2.2 Klassifikation der Anti-Graffiti-Systeme

Die Einteilung der AGS (Abb. 9) erfolgt entsprechend ihres Wirkprinzips und der Anwendungsbedingungen in drei Klassen. Dabei ist für eine technische Bewertung maßgeblich die Funktionalität eines AGS im Vergleich zum unbehandelten Untergrund AGS 0 entscheidend (Kupfer 2020).

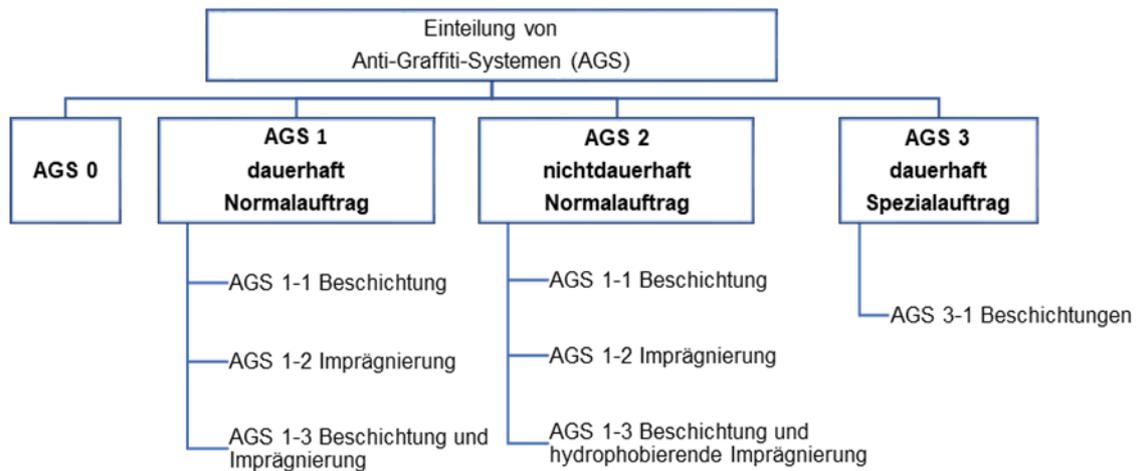


Abbildung 9: Einteilung der AGS nach ReGG (Kupfer 2020)

Die Einteilung nach AGS 1 und AGS 2 erfolgt nach Häufigkeit der möglichen Reinigungszyklen. Die dauerhaften, auch permanent genannten Systeme können mehrfach gereinigt werden (FDB 2020). In der Prüfvorschrift ASTM D7089-06<sup>60</sup> werden sie als „sacrificial anti-graffiti coatings“ und „non-sacrificial anti-graffiti coatings“ bezeichnet.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) führt Verzeichnisse der geprüften Anti-Graffiti-Systeme für die Anwendung auf Betonoberflächen an Bauwerken und Bauteilen der Bundesverkehrswege nach ZTV-ING<sup>61</sup>, geprüft nach TL/TP AGS-Beton<sup>62</sup> für die Klassen AGS 1 und AGS 2.

Die Klasse AGS 3 beinhaltet die dauerhaften Beschichtungen, die über eine Spezialapplikation aufgetragen werden. Hierbei handelt es sich in der Regel um industriell hergestellte Elemente, die ausschließlich unter definierten Bedingungen vom Hersteller mit Anti-Graffiti-Eigenschaften ausgestattet werden. Ein Beispiel dafür sind Pulverlack-

<sup>60</sup> ASTM D7089-06(2021): Standard Practice for Determination of the Effectiveness of Anti-Graffiti Coating for Use on Concrete, Masonry and Natural Stone Surfaces by Pressure Washing

<sup>61</sup> ZTV-ING:10/2017, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

<sup>62</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme und TL AGS-Beton: Technische Lieferbedingungen für Anti-Graffiti-Systeme der TL/TP-ING: Technische Prüfvorschriften und Technische Lieferbedingungen für Ingenieurbauten Teil 3 Abschnitt 2

beschichtungen.<sup>63</sup> Da diese Art der AGS keinen großen Stellenwert in der gängigen Graffitiprohylaxe hat, wird sie in dieser Arbeit nicht näher betrachtet.

### **AGS 1: dauerhafte (permanente) Systeme**

Hierbei handelt es sich um die AGS-Gruppe, welche nach der Reinigung und entsprechenden Reinigungswiederholungen ihre Funktionalität behalten und nicht sofort wieder erneuert werden müssen. Die Reinigung dieser Systeme erfolgt i.d.R. mit chemischen Reinigern, welche auf das jeweilige Schutzsystem abgestimmt sind (TL AGS-Beton<sup>64</sup>).

#### AGS 1-1: dauerhafte Beschichtungen

Diese permanenten Systeme finden überwiegend an Betonteilen oder Betonfassaden Anwendung. Sie bilden für das Farbmittel undurchlässige Trennschichten, welche von den Reinigungsmitteln nicht angegriffen werden. Meistens bestehen diese Systeme aus mehreren Schichten. Um die Haftung des AGS auf dem Untergrund zu garantieren, werden spezielle Primer, Grundierungen oder Imprägnierungen eingesetzt (Goretzki 1998).

Polyurethane sind die wichtigste Stoffklasse dauerhafter Beschichtungen. Die Beschichtungen bestehen aus einer Basiskomponente und einem Härter. Diese so genannten Zweikomponenten-Polyurethan-Systeme (2K-PU) gelten als chemisch besonders stabil. In den Anfangsjahren waren die Ausgangsmischungen der 2K-PU stark lösemittelhaltig, dadurch war die Verarbeitung sehr aufwendig und setzte zudem relativ viel Lösemittel in die Umwelt frei. Durch anhaltende Weiterentwicklungen haben sich aktuell die wasserbasierten 2K-PU-Systeme durchsetzen können (Stahl, Wakili 2022).

Intakte permanente Beschichtungen haben eine sehr geringe Wasseraufnahme, womit die Gefahr des Eindringens von Wasser in die Baustoffoberfläche durch das Entfernen der Farbmittel (Reinigung) so gut wie ausgeschlossen ist. Zu beachten ist jedoch, dass die Wasserdampfdurchlässigkeit stark reduziert werden kann (Goretzki 1998; Stahl, Wakili 2022).

#### AGS 1-2: dauerhafte Imprägnierungen

Diese Unterklasse umfasst alle Imprägnierungen, die den Untergründen nach dem Auftrag (durch Auskleiden der Porenoberfläche) hydrophobe und oleophobe Eigenschaften verleihen (Stahl, Wakili 2022). Diese Imprägnierungen sind gemäß TL/TP AGS-Beton<sup>65</sup> nicht schichtbildend. Als geeignete Vertreter der AGS 1-2 gelten Fluorpolymere. Modernste AGS dieser Klasse sind auf Sila-Siloxan-Fluoracrylat-Copolymer-Basis ent-

---

<sup>63</sup> <https://www.anti-graffiti-verein.de/sonderapplikation/>

<sup>64</sup> TL AGS-Beton 2009/04: Technische Lieferbedingungen für Anti-Graffiti-Systeme

<sup>65</sup> TL AGS-Beton 2009/04: Technische Lieferbedingungen für Anti-Graffiti-Systeme und TP AGS-Beton: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme der TL/TP-ING: Technische Prüfvorschriften und Technische Lieferbedingungen für Ingenieurbauten Teil 3 Abschnitt 2

wickelt worden. Diese nutzen die Eigenschaften von Hydrophobierungsmitteln, um neben der verbesserten Entfernbareit von Farbmitteln auch die gewünschte Hydrophobierung zu erzielen (Goretzki 1998; Stahl, Wakili 2022), sie sind somit polyfunktional.

Auch die Wasseraufnahme der dauerhaften Imprägnierungen ist deutlich reduziert, allerdings sollte bei der Reinigung mit Hilfe eines Heißwasser-Hochdruckreinigers nach Angaben des Herstellers verfahren werden, da sonst ein Wassereintritt (z.B. bei zu hohem Druck) in die Oberfläche nicht gänzlich auszuschließen ist. Entgegen den dauerhaften Beschichtungen wird die Wasserdampfdurchlässigkeit durch die dauerhaften Imprägnierungen kaum beeinflusst (Kupfer 2022).

### **AGS 2: nichtdauerhafte Systeme**

Die Klasse AGS 2 beschreibt alle AGS, bei denen nach erfolgter Reinigung der Oberflächenschutz neu aufgebaut werden muss (TL AGS-Beton<sup>66</sup>). Die nichtdauerhaften Systeme, auch Opfersysteme genannt, verhindern ebenfalls das Eindringen von Farbmitteln. Diese Systeme werden bei der Reinigung gemeinsam mit den Farbmitteln von der Oberfläche abgewaschen (Stahl, Wakili 2022). Die Reinigung erfolgt bevorzugt durch Heißwasserdruckstrahlen, wobei ein chemischer Reiniger unterstützend eingesetzt werden kann (TL AGS-Beton<sup>66</sup>).

Üblicherweise sind diese Systeme optisch nicht wahrnehmbar. Sie können teils auch auf feuchte Untergründe aufgebracht werden, was bei permanenten Systemen nicht möglich ist. Die Wasseraufnahme ist stark produktabhängig und oft bedeutend stärker als bei den dauerhaften AGS. Die Schutzsysteme beeinflussen die Wasserdampfdurchlässigkeit kaum bis wenig. Sie sind gut geeignet für gestrichene Putzfassaden, Beton-, Kunst- oder Natursteinoberflächen. Die Haltbarkeit beträgt ohne Reinigung etwa fünf Jahre (Kupfer 2022).

### **2.2.3 Anwendung der Anti-Graffiti-Systeme**

Aktuell gibt es keine allgemeinen Vorschriften für die Anwendung von Anti-Graffiti-Systemen. Lediglich in den technischen Merkblättern der Hersteller finden sich Anwendungshinweise. Nach Goretzki (1998) hängt der Erfolg und die Wirksamkeit der AGS wesentlich von der Auswahl und der Applikation ab.

In der Planungsphase muss ein Fachplaner zunächst die zu schützende Oberfläche analysieren und gemeinsam mit dem Eigentümer das Ziel der Maßnahme festlegen. Es sollten exakte Beschreibungen der Baustoffe bezüglich ihres Zustandes (Verwitterung, etc.) und ihrer Eigenschaften (Saugverhalten) erfolgen und bewertet werden. Das gilt für neue Bauteile sowie Bestandsbauteile. Zur Oberflächenanalyse gehören unter anderem

---

<sup>66</sup> TL AGS-Beton 2009/04: Technische Lieferbedingungen für Anti-Graffiti-Systeme

restauratorische Gesichtspunkte. Das Ziel der Schutzmaßnahmen erfolgt unter anderem über Häufigkeit und Umfang der zu erwartenden Graffiti, Eigenschaften der Fassadenbaustoffe oder die geforderten Eigenschaften der Schutzbeschichtung (Goretzki 1998). Da es derzeit keine international anerkannten Regeln und Normen gibt, die die Anforderungen an den praktischen Verbund von Untergrund und Schutzsystem bewerten, sollten die genannten Durchführungsphasen unbedingt erfolgen. Bisher fehlt jeglicher Bezug des Schutzsystems auf den individuellen Untergrund.

### **2.2.4 Reinigung**

Nach ReGG III<sup>67</sup> handelt es sich bei der Graffitientfernung (Reinigung) um einen vollständigen Reinigungszyklus, dieser umfasst alle vom Hersteller angegebenen Einzelschritte. Der Stresstest umfasst mehrere Zyklen (ReGG III<sup>67</sup>).

Für die Entfernung von Graffiti stehen unterschiedliche Reinigungsverfahren zur Verfügung. Als einfachste und schnellste Methode erscheint es, ein Graffiti zu überstreichen. Allerdings können dabei die verbleibenden Farbmittel Schäden auf den betroffenen Oberflächen hinterlassen. Auch optische Beeinträchtigungen sog. „Schatten“ können entstehen, da die Farbschichten unterschiedlichen Alterungsprozessen unterworfen sind.<sup>12</sup> Weiterhin stehen chemische und abrasive Verfahren für die Graffitientfernung, welche auch in Kombination verwendet werden, zur Auswahl (Nävy, Schröter 2013).

Bei den chemischen Verfahren kommen spezielle Graffitientferner oder Reiniger zum Einsatz. Dabei handelt es sich um u.a. um Säuren, Tenside, Abbeizpasten, Lösungsmittel bzw. deren Kombinationen oder um alkalische Abmischungen auf der Basis von Laugen. Diese werden auf das Graffiti aufgetragen, manuell oder maschinell abgewaschen (Augustin, Behmann et al. 2013). Organische Lösungsmittel (z. B. Methanol, Terpentin, Kresole) bringen das Bindemittel der Farbaufträge zum Quellen und erleichtern dadurch deren Entfernung. Der Bedarf chemischer Reinigungsmittel an ungeschützten, von Graffiti betroffenen Oberflächen ist etwa 10mal höher als bei geschützten Oberflächen (Goretzki 1998). Beim Einsatz von falschen Reinigungsmitteln kann es später zu Salzausblühungen und Verfärbungen kommen.<sup>12</sup>

Abrasive Verfahren beruhen auf dem mechanischen Abtrag von Farbmitteln durch den Aufschlag von beschleunigten Strahlmittelpartikeln. Die Strahlmittel sind vielfältig in Größe und Härte und können im Trocken- oder Nassverfahren eingesetzt werden (Kupfer 2020). Gleichwohl ist die Wechselwirkung der auftreffenden Strahlmittelpartikel (z.B. Sand, Stahlkorn, Glasperlen, Trockeneis) mit der Baustoffoberfläche nicht zu

---

<sup>67</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffitientfernung und Graffiti prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

unterschätzen, eine Schädigung bzw. ein Abtrag von Originalsubstanzen kann nicht ausgeschlossen werden (Peck et al. 2008). Es können maximal die oberflächlich abgelagerten Farbmittel ohne Schädigung der Oberfläche durch abrasive Verfahren entfernt werden. Somit sind Farbmittel die in den Porenraum des Untergrundes eingedrungen sind, mit diesem Verfahren nicht entfernbar (Kupfer, 2020). Vor allem bei ungeschützten Untergründen und nichtdauerhaften Schutzsystemen wird deshalb die Reinigung mit Hochdruckwasserreinigung empfohlen, der Druck muss dabei auf den Untergrund angepasst werden (Goretzki 1998).

Die Effektivität aller genannten Verfahren wird durch die Art des Graffiti und die Eigenschaften des betroffenen Untergrunds bestimmt (Kupfer 2020).

### **2.2.5 Auswahlkriterien**

Für die Auswahl eines AGS können verschiedene Kriterien eine Rolle spielen, dabei kann nach strategischen, technischen oder praktischen Aspekten vorgegangen werden. Zu den strategischen Aspekten zählt unter anderem die Art der zu erwartenden Graffiti, d.h., wie oft und in welchem Umfang ist mit Graffiti zu rechnen. Beim technischen Aspekt liegt der Fokus auf einer Bewertung des Untergrundes. Hier wird hinterfragt, welchen Einfluss der Auftrag eines AGS und das Reinigungsverfahren auf den Untergrund haben. Die praktischen Aspekte fokussieren sich auf das eingesetzte AGS und dessen Eigenschaften mit Blick auf die Umweltverträglichkeit, Sicherheit und möglichen Risiken.<sup>68</sup>

Aufgrund zahlreicher Produktangebote kann für die Auswahl eines AGS das Verzeichnis der geprüften Anti-Graffiti-Systeme für die Anwendung auf Betonoberflächen an Bauwerken und Bauteilen der Bundesverkehrswege (nach ZTV-ING<sup>69</sup>), geprüft nach TL/TP AGS-Beton<sup>70</sup>, herangezogen werden. Das Verzeichnis gibt die Bundesanstalt für Straßenwesen für AGS 1 und AGS 2 Systeme heraus (BASt 2022). Dabei werden Hersteller, Bezeichnung des AGS, zum AGS gehörende Komponenten (Prophylaxebeschichtung, Reinigungstechnologie), Ausgabedatum und Ablaufdatum der Zulassung angegeben.

Eine weitere Möglichkeit der Auswahl bietet das Verzeichnis der geprüften Anti-Graffiti-Systeme für die Anwendung auf mineralischen Oberflächen, geprüft nach ReGG III<sup>71</sup> der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V. und mit dem RAL-Gütezeichen ausgezeichnet. Es listet dauerhafte und nichtdauerhafte AGS auf. Auch hier werden Hersteller, Produkt, Wirkprinzip und Reinigungsmethoden sowie Vergabe- bzw. Ablaufdatum angegeben.

---

<sup>68</sup> <https://anti-graffiti-akademie.de/prophylaxe/auswahlkriterien-fuer-ags/>

<sup>69</sup> ZTV-ING:10/2017, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

<sup>70</sup> TL AGS-Beton 2009/04: Technische Lieferbedingungen für Anti-Graffiti-Systeme sowie TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

## 2.2.6 Aktuelle Merkblätter

Das ReGG III<sup>71</sup> steht als umfangreichstes Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti-prophylaxe zur Verfügung. Als Grundlage für die Bewertung von AGS sind u.a. folgende Parameter zu berücksichtigen: der Glanz, die Farbmessung (Helligkeit), die Oberflächenbeschaffenheit, die Schichtdicke und die Wasserdampfdurchlässigkeit. Für die Bestimmung der Änderungen in der Oberflächenbeschaffenheit wird das Tastschnittverfahren (Rauheitsmessung  $R_z$ ) empfohlen. Für die Grundprüfung von AGS werden grundsätzlich Gehwegplatten aus Beton nach DIN EN 1339<sup>72</sup> oder Pflastersteine aus Beton nach DIN EN 1338<sup>73</sup> vorgeschrieben (ReGG III<sup>71</sup>).

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) gibt Technische Lieferbedingungen und Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme, die TL AGS-Beton<sup>74</sup> und die TP AGS-Beton<sup>75</sup>, in den TL/TP-ING<sup>76</sup> vor. Die TP AGS-Beton<sup>75</sup> enthalten alle notwendigen Angaben zur Durchführung der Prüfungen an AGS, die nach den TL AGS-Beton<sup>74</sup> notwendig sind. Es werden Prüfungen an den Ausgangsstoffen von AGS, Prüfungen an den erhärteten Stoffen und Prüfungen an den Verbundkörpern vorgeschrieben. Als Untergrund (Grundkörper) werden auch hier Gehwegplatten aus Beton nach DIN EN 1339<sup>77</sup> gefordert. Die Beurteilung der Funktionalität erfolgt an den Verbundkörpern und wird für Produkte der Klassen AGS 1 und AGS 2 vorgegeben (TL/TP-ING<sup>76</sup>).

Das WTA Merkblatt 2-5-97/D<sup>78</sup> „Anti-Graffiti-Systeme“ stellt die grundlegenden Anforderungen für eine möglichst wirksame und dabei schonende Schutzbehandlung von Bauwerken gegenüber Farbanschlägen zusammen. Neben der Erläuterung der Wirkprinzipien werden Testmethoden vorgeschlagen, die eine Bewertung der Funktionalität, der Witterungsstabilität, aber auch bauphysikalische Konsequenzen durch AGS für den Baustoff möglich machen. Dabei werden vier Untergrundarten betrachtet. Die erste Gruppe bilden mineralische Baustoffe und Glas, die zweite Metalle, die dritte organische Werkstoffe und die letzte Gruppe umfasst die beschichteten Substrate. Es erfolgt eine weitere Untergliederung der mineralischen Baustoffe in Naturstein, Mauerwerk, Beton und hydraulisch gebundene Putze. Für den Beton werden als Beispiel Sichtbeton und Wasch-

---

<sup>71</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti-prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

<sup>72</sup> DIN EN 1339:2003-08, Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>73</sup> DIN EN 1338:2003-08, Pflastersteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>74</sup> TL AGS-Beton 2009/04: Technische Lieferbedingungen für Anti-Graffiti-Systeme

<sup>75</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

<sup>76</sup> TL/TP-ING 2022/01: Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für Ingenieurbauten

<sup>77</sup> DIN EN 1339:2003-08, Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>78</sup> WTA Merkblatt 2-5-97/D:1998-02, Anti-Graffiti-Systeme

beton aufgeführt, es erfolgt jedoch kein Bezug auf die Eigenschaften der Oberfläche (WTA Merkblatt 2-5-97/D<sup>78</sup>).

Das WTA Merkblatt 2-8-04/D<sup>79</sup> „Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)“ knüpft an das WTA Merkblatt 2-5-97/D<sup>78</sup> an. Hier liegt der Fokus auf der Bewertung der AGS, die im Wesentlichen auf mineralische Substrate aufgebracht werden. Für die Bewertung der Funktionalität wird eine Testung auf möglichst vier mineralischen Untergründen (Beton, Klinker, Sandstein, Kalkstein) befürwortet. Als Standardsubstrat für den Beton wird Sichtbeton C20/25 mit CEM I 32,5 oder alternativ eine Gehwegplatte empfohlen (WTA Merkblatt 2-8-04/D<sup>79</sup>).

### **2.3 Einfluss der Farbmittel**

Beton besitzt gegenüber den Inhaltsstoffen von Sprühfarben bzw. Tinten in der Regel eine ausreichende chemische Widerstandsfähigkeit. Graffiti führen daher nicht unmittelbar zu Gefügeänderungen im Baustoff. Sollte den Farbmitteln jedoch gewollt Säuren zugesetzt werden (z. B. Ätztinten), besteht das Risiko von partiellen Schädigungen der Baustoffoberfläche. Aufgrund der Vielzahl an verwendeten Farbmitteln wird stetig nach Reinigungstechnologien gesucht, um Graffiti vollständig von den betroffenen Untergründen ohne Verlust an Originalsubstanz entfernen zu können (Kupfer 2008).

Als Farbmittel für Graffiti (Bsp. Abb. 10) und Graffitischriftzüge (Bsp. Abb. 11) werden Sprayfarben, Filzschreiber, Außenanstrichfarben oder auch KFZ-Unterbodenschutzprodukte verwendet. Mit der Verfügbarkeit von Farbspraydosen (auch Druckgasdosen, Aerosolpackungen genannt) wurde eine starke Verbreitung von Graffiti möglich, bis heute sind sie, neben den Filzschreibern, die gebräuchlichsten Farbmittel in der Graffiti-Szene (Abb. 12 und 13) (Kupfer 2022).

Die eingesetzten Spraydosen enthalten ein Gemisch aus Farbbestandteilen und Treibgasen (z.B. Propan, Butan, Dimethylether). Zu den Farbbestandteilen zählen Bindemittel (z.B. Alkyd-, Acryl-, Epoxid-, Nitrokombinations-Harze), Pigmente (ggf. Metallfitter) sowie Lösemittel (z.B. Acetate, Alkohole, Ketone). Das Aerosol aus dem Sprühkopf trifft auf den Untergrund und vernetzt während der Verdampfung der Lösemittel zu einem festen Bindemittelfilm, der Farbpigmente einschließt. Eine große Palette an Farbtönen und Metallic-Effekten sind möglich. Das Farbgemisch trocknet sehr schnell und ist i.d.R. UV-beständig und permanent.<sup>80</sup>

---

<sup>79</sup> WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03, Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)

<sup>80</sup> <https://anti-graffiti-akademie.de/reinigung/beschmierung/>



Abbildung 10: Mit Spraydosen erstellte Graffiti in einem Gebäude in Tressow (bei Wismar)



Abbildung 11: Mit Filzschreibern aufgetragenes Graffiti im Eingangsbereich eines Wohnhauses in Brno, Tschechien



Abbildung 12: Beispiele an Sprayfarben aus der Graffiti-szene, Industrie- und Hobbyqualität



Abbildung 13: Diverse Filzschreiber und Tinten (rechts im Bild)

Filzschreiber auf Wasserbasis beinhalten keine Lösungsmittel, sie sind umweltfreundlicher und leichter zu reinigen. Lösungsmittelbasierte (Alkohole, Acetate) Filzschreiber sind grundsätzlich permanenter und schwieriger zu reinigen. Außerdem ist die Trocknungszeit wesentlich geringer, weshalb sie einen größeren Einsatz in der Graffitiszene finden. Alkohol Layout Marker oder Acryl Marker können als Filzschreiber bezeichnet werden. Alkohol Layout Marker bestehen aus einem dauerhaft mit Tusche getränktem Filzkissen. Sie sind oftmals nicht deckend und werden normalerweise nur auf hellen Untergründen eingesetzt. Acryl Marker sind Pumpmarker und besitzen eine 100%ige Deckkraft. Sie eignen sich aufgrund ihrer hervorragenden Deckeigenschaften auch auf dunklen Oberflächen. Die Tinten der Marker werden in Inks und Paints (Tinte und Farbe) unterteilt. Inks sind dünnflüssiger, haben ein besseres Fließverhalten und können sehr gut in poröse Untergründe eindringen. Sie können als lasierend/transparent beschrieben werden und kommen deshalb am besten auf hellen Untergründen zur Geltung.

Paints sind dickflüssiger und 100% deckend. Sie bilden eher eine Schicht auf der Oberfläche und ziehen nicht so stark in den Untergrund ein.<sup>81</sup>

In der Graffiti-Szene gibt es seit etwa 2006 eine Methode namens "Etching". Hier wird den Filzschreibern von den Sprayern selbst neben der Tinte Batteriesäure, Flusssäure oder Schwefelsäure zum Anätzen von glatten Oberflächen beigefügt. Flusssäure ist sowohl stark ätzend als auch giftig, sie gefährdet alle Personen, die damit in Berührung kommen.<sup>11</sup> Durch das „Etching“ können auch Anti-Graffiti-Systeme in ihrer Funktion gestört werden. Diese Entwicklung von chemisch aggressiven Farbmitteln erschwert das Problem der umfassenden praktischen Erprobung sowie den Einsatz von AGS.<sup>82</sup>

## **2.4 Produktanforderungen an Betone und Anti-Graffiti-Systeme**

Diverse Anforderungen gelten für die Betone als auch Anti-Graffiti-Systeme bezüglich ihrer Funktionalität und Dauerhaftigkeit. Jeder Baustoff für sich muss gewisse Anforderungen erfüllen, aber auch das Zusammenspiel beider Stoffe ist zu betrachten. Bisher wurden die Funktionalität und Dauerhaftigkeit primär ausgehend vom AGS-System beurteilt. Der zu schützende Untergrund spielte eine untergeordnete Rolle oder ist nicht ausreichend spezifisch in die Bewertung eingeflossen.

### **2.4.1 Funktionalität und Polyfunktionalität**

Für Betonbauwerke bzw. Betonbauteile werden verschiedene Ansprüche an die Funktionalität gestellt. Je nach Nutzung und geplantem Einsatzbereich können Ansprüche an den Standort, die Architektur und/oder Technik gestellt werden (Steinle, Bachmann, Tillmann 2018). Die gestellten Anforderungen müssen erfüllt sein, um die Funktionalität zu gewährleisten. Bereits in der Bauphase muss zwingend auf die individuellen Bedürfnisse und deren Umsetzung eingegangen werden. Um diese zu gewährleisten, sind eine genaue Planung, die Bauüberwachung und -betreuung notwendig (Weber 2022).

Die Funktionalität eines AGS definiert sich vorrangig über die Reinigungsleistung. Wird eine mit AGS geschützte Oberfläche mit Farbmitteln versehen und daraufhin gereinigt, stellt sich die Reinigungsleistung dar. Nach den TP AGS-Beton<sup>83</sup> wird die Funktionalität der AGS über die Farbmittelentfernung, die Beurteilung erfolgt nach Augenschein, bestimmt. Die Bewertung ähnelt dem Schulnotensystem.

Permanente AGS sind für mehrfach, aufeinander folgende Graffitientfernungen ausgelegt. Zur Bestimmung ihrer Funktionalität durchlaufen sie mehrere Reinigungszyklen

---

<sup>81</sup> <https://graffitibox.de/faq-s#>

<sup>82</sup> <https://www.colourclean.de/graffitibeseitigung/graffitischutz-ja-oder-nein/>

<sup>83</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

unter definierten Bedingungen, auch Stresstest genannt (ReGG III<sup>84</sup>). Die Funktionalität eines AGS kann außerdem durch Witterungseinflüsse beeinträchtigt werden, hierfür sind nach ReGG III<sup>84</sup> Tests unter natürlicher und/oder künstlicher Bewitterung vorgesehen. Weiterhin müssen dauerhafte Systeme eine Beständigkeit gegenüber den chemischen Graffitientfernern aufweisen, um eine hohe Funktionalität bei der Graffitientfernung zu erreichen (ReGG III<sup>84</sup>).

Neben ihrer Funktion als Graffitischutz besitzen polyfunktionale AGS noch mindestens eine weitere Bautenschutz-Funktion (von Laar, Lesnych, Schomann 2014). Das kann die Verminderung der Wasseraufnahme und damit auch verbundene Verminderung des Eindringens von beton- und stahlangreifenden Stoffen (Chemikalien), die Einschränkung der Verschmutzung durch Algen, Moose und Pilze oder die Verbesserung des Frost-Tausalz widerstandes sein (Weber 2022).

Die Funktionalität im Zusammenspiel von Betonoberfläche und AGS hängt unter anderem von der nachweislichen Eignung für den vorgesehenen Zweck ab und es muss zudem einen dauerhaften Verbund geben (Neroth, Vollenschaar 2011).

#### **2.4.2 Dauerhaftigkeit**

Die Dauerhaftigkeit bezeichnet die Widerstandsfähigkeit von Baustoffen, Bauteilen bzw. des Gesamttragwerkes, um über den geplanten Nutzungszeitraum die Tragfähigkeit und die Gebrauchseigenschaften sicherzustellen (Peck et al. 2008).

Bauteile aus Beton im Außenbereich müssen dauerhaft sein. Das bedeutet, sie sollen ihre Funktion hinsichtlich Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit während der gesamten Nutzungsdauer zuverlässig erfüllen. Als vorgesehene Nutzungsdauer ist die Zeitspanne, für die das Bauwerk mit seinen Gebrauchseigenschaften bemessen wurde, einzuhalten. Um die geplante Nutzungsdauer zu erfüllen, ist eine geeignete Instandhaltung notwendig (Peck et al. 2008).

Wichtig für die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit der Betonbauteile bzw. -oberflächen ist ein maximal zulässiger W/Z-Wert, dieser ist zwingend einzuhalten. Er ist in Abhängigkeit der zu erwartenden Beanspruchungen, in den Anforderungen der Expositions-klassen, vorgegeben. Es kann zu einer erhöhten Porosität und damit zu einer stärkeren Aufnahme von Flüssigkeiten und Gasen führen, wenn die Maximalwerte der Festigkeiten nach DIN EN 206:2021-06<sup>85</sup> überschritten werden. Durch einen höheren Wassergehalt kann beim Verdichten Wasser an der Oberfläche abgesondert werden und dadurch beim

---

<sup>84</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti-prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

<sup>85</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

Erhärten ein verstärktes Schwinden hervorrufen, wodurch Schwindrisse entstehen (Weber 2022).

Die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen oder Betonoberflächen kann durch den Einsatz von Oberflächenschutzsystemen erhöht werden (Backe, Hiese, Möhring 2013). Aufgrund einer möglichen Schattenbildung und eines Substanzverlustes durch eine Graffiti-entfernung von ungeschützten Oberflächen wird der prophylaktische Graffitienschutz gemäß einem nachhaltigen Bautenschutz empfohlen (PSS Interservice 2017).

Raue Betonoberflächen werden unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit als ungünstiger beurteilt als glatte. Das gilt gleichermaßen für unbehandelte als auch für Oberflächen, die mit einem Oberflächenschutzsystem beschichtet werden sollen (Momber, Schulz 2006). Es gibt verschiedene Faktoren, die die Dauerhaftigkeit von AGS beeinflussen und somit zeitlich begrenzen können. Dazu gehören bspw. die Qualitätskontrolle, Ausführung und Zustand der Betonoberfläche, Wasseraufnahme des Betons, Gesteinskörnung, witterungsbedingte Ausrichtung (nach Himmelsrichtung) oder standortbedingte Faktoren, wie salzhaltige Meeresluft oder Innenstadtlage (FDB 2020).

Für die Dauerhaftigkeit eines AGS kann die Untergrundvorbereitung entscheidend sein, es sollte mindestens eine Oberflächenreinigung erfolgen (Momber, Schulz 2006). Auch die Qualität der Oberflächenbearbeitung ist von überragender Bedeutung für die Dauerhaftigkeit von Beschichtungen. Wenn eine unzureichende Oberflächenbearbeitung erfolgen sollte, muss mit einem Versagen des Haftverbundes zwischen Beschichtung und Beton, aber auch der beanspruchten oberflächennahen Betonzonen gerechnet werden. Anschließend folgende und sorgfältig durchgeführte Arbeitsphasen können eine fehlerhafte Oberflächenbearbeitung nicht ausgleichen (Schulz 1984).

Auch Orłowsky (2012) beschreibt die Notwendigkeit, zunächst die Einflussgrößen zu kennen, um die Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen erfassen und beschreiben zu können. Mögliche Einflüsse resultieren aus den inneren und äußeren Einwirkungen, der Adhäsion zum Untergrund, bei mehrlagigen Systemen zwischen den Materialschichten, den zu schützenden Oberflächen und dem Aufbau von Oberflächenschutzsystemen (Orłowsky 2012).

Gemäß ZTV-ING<sup>86</sup> beträgt aktuell die Verjährungsfrist der Mängelansprüche für AGS 1-1 und AGS 1-2 zwei Jahre, für AGS 2 ein Jahr. Bereits 2010 versuchte die Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen eines Forschungsprojektes „Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen“ zu klären, ob höhere Dauerhaftigkeitsanforderungen an dauerhafte AGS gestellt werden können. Die

---

<sup>86</sup> ZTV-ING 2022/01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

Untersuchungen haben gezeigt, dass es zwar Systeme gibt, die eine höhere Dauerhaftigkeit vorweisen, allerdings kann das nicht für alle Produkte gleichbleibend angenommen werden (Weschpfennig, Kropf, Witzhausen 2010).

Nach Fertigstellung eines Bauwerks bzw. Bauteils oder dem Auftrag eines Schutzsystems ist die Überprüfung der Funktionalität (Funktionsfähigkeit) und Dauerhaftigkeit durch regelmäßige Wartung, Inspektion und Instandsetzung zu bewahren oder gegebenenfalls wiederherzustellen. Durch Alterung und Nutzung können die Funktionalität und die Dauerhaftigkeit von Betonbauteilen und/oder aufgetragenen Schutzsystemen im Laufe der Zeit z.B. Festigkeitsverluste, Versprödungen, Abplatzungen oder optische Verschlechterungen erfahren. Um solche Veränderungen festzustellen, ist die regelmäßige Wartung durch Prüfungen nach Augenschein notwendig (Weber 2022).

## 3 Entwicklung der Untersuchungsmethodik

### 3.1 Material und Arbeitsweise

Die Auswahl der Materialien erfolgte in Abstimmung mit der Industrie und in Anlehnung gültiger Normen und Merkblätter (siehe Abschnitt 2.2.6). Aktuell eingesetzte sowie neu entwickelte, moderne Betonprüfkörper gehörten ebenso wie die Standardbetonprüfkörper zum Prüfumfang und werden im Folgenden beschrieben.

#### 3.1.1 Betonuntergründe

Die Produktion der Betonprüfkörper erfolgte werkseitig von vier verschiedenen Herstellern. Sie entsprachen den aktuellen Anforderungen und dem Stand der Technik. Die Versuchsreihe umfasste insgesamt 180 Prüfkörper (PK). Hierbei konnten sechs verschiedene Betonprüfkörper (U1 - U6) eingesetzt werden, die sich in ihrer Betonart und -güte sowie Oberflächenbehandlung unterschieden.

Da ein ungebrochener Trend zu Fassaden aus Beton besteht (Steinle, Bachmann, Tillmann 2010), wurden für diese Forschungsreihe drei Fassadenplatten einbezogen, welche sich in ihrer Oberflächencharakteristik und -gestaltung unterschieden.

Die Proben U1 bis U4 sowie U6 hatten eine Größe von 15 cm x 20 cm (B x H), lediglich die Prüfreihe U5 betrug 10 cm x 25 cm (B x H). Die Prüfkörper waren bereits werkseitig auf das Probenmaß gesägt worden. Nur die Reihe U4 ist in den Laboren der Hochschule Wismar gesägt worden.

#### **Untergrund 1: Hochfeste Fassadenplatte, schalungsglatt**

Der Untergrund U1 war eine Fassadenplatte aus hochfestem Beton (Abb. 14). Die Produktion dieser Reihe erfolgte im Gussverfahren. Als Hochleistungsbindemittel wurde Dyckerhoff FLOWSTONE (Weißzement) verwendet, das Bindemittel wurde speziell für die Herstellung von hochfesten Betonerzeugnissen im Gussverfahren entwickelt. Insbesondere bei Anforderungen an technische Eigenschaften sowie ästhetischen Ansprüchen bietet es ideale Voraussetzungen für die Umsetzung besonders gestalteter Geometrien und Anforderungen an die Dauerhaftigkeit.<sup>87</sup>

Die Oberfläche konnte als schalungsglatt, hellgrau und matt beschrieben werden. Die Fassadenplatten können in einer freien Formatwahl bis 240 x 120 cm und in individueller Form hergestellt werden. Das Format der verwendeten Platten war nicht bekannt, da sie bereits werkseitig auf Probenmaß gesägt wurden. Gemäß Herstellerangabe wird hier ein

---

<sup>87</sup> S. Heeß, persönliche Kommunikation, 14.09.2017

W/Z-Wert zwischen 0,18 und 0,21 erreicht.<sup>88</sup> Zur Druckfestigkeit konnten keine Angaben gemacht werden.

### **Untergrund 2: Hochfeste Fassadenplatte, glattgeschliffen**

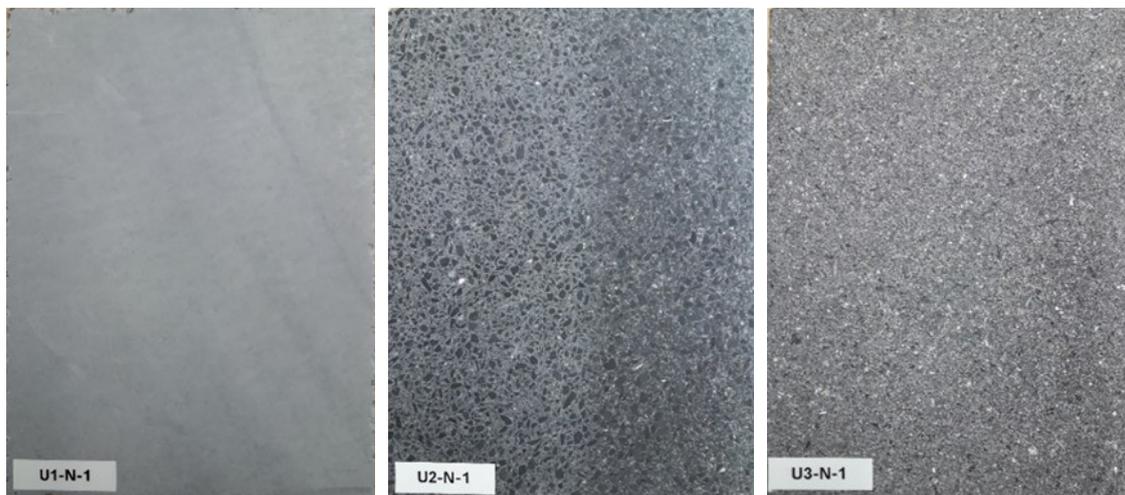
Als weitere hochfeste Fassadenplatte wurde der Untergrund U2 eingesetzt (Abb. 15). Die Herstellung erfolgte in maschineller Produktion, im Vakuum-Filter-Press-Verfahren, wobei möglichst viel Anmachwasser wieder aus dem Beton herausgepresst wird.

Es handelte sich um eine Platte aus schwarzem (pigmentiertem) Beton, deren Oberfläche glattgeschliffen wurde.<sup>88</sup> Diese Fassadenplatten kann ebenso in freier Formatwahl und individueller Form hergestellt werden.<sup>87</sup> Das Ursprungsformat dieser Platten war auch hier nicht bekannt, da sie bereits werkseitig auf Probenmaß gesägt wurde. Der W/Z-Wert konnte mit max. 0,38 angegeben werden.<sup>88</sup>

Informationen zum Bindemittel und der Druckfestigkeit lagen nicht vor.

### **Untergrund 3: Hochfeste, faserverstärkte Fassadenplatte, sandgestrahlt**

Bei dem Untergrund U3 handelte es sich ebenfalls um eine hochfeste Fassadenplatte (Abb. 16). Anders als bei U1 und U2 wurden während der Herstellung zusätzlich Kunststoffasern eingebracht, diese dienten u.a. zur Verbesserung der Belastbarkeit und der Gewichtsreduktion. Die Herstellung erfolgte in maschineller Produktion, dem Vakuum-Filter-Press-Verfahren. Es handelte sich um eine Platte aus schwarzem (pigmentiertem) Beton mit sandgestrahlter Oberfläche.<sup>89</sup>



*Abbildung 14: Untergrund U1    Abbildung 15: Untergrund U2    Abbildung 16: Untergrund U3*

Auch hier sind eine freie Formatwahl und individuelle Formen möglich. Wie bei den Probenreihen U1 und U2 erfolgte das Sägen auf Probenmaß ebenfalls werkseitig. Der W/Z-

---

<sup>88</sup> H. Schwab, persönliche Kommunikation, 31.05.2019

<sup>89</sup> H. Schwab, persönliche Kommunikation, 19.02.2019

Wert konnte mit max. 0,38 angegeben werden.<sup>88</sup> Angaben zum Bindemittel und zur Druckfestigkeit erfolgten nicht.

#### **Untergrund 4: Faserverstärkte Mauerscheibe, Sichtbeton**

Als Untergrund U4 wurde eine faserverstärkte Mauerscheibe, auch als Stützwandelement, Systemwinkel oder Winkelstütze bezeichnet, ausgewählt. Solche Bauteile werden unter anderem zur Überbrückung (bis Höhen von max. 3,05 m) von Höhenunterschieden (Böschungsabfangung), als Sichtschutz, Mauer oder zur gestalterischen Einbindung von Flächen sowie als Einfassung von Hochbeeten eingesetzt.<sup>90</sup>

In einem siebenstufigen Produktionsprozess (weitestgehend automatisiert) unter Einsatz einer Umlaufanlage in Kombination mit Spezialschalungsformen erfolgte die Herstellung der Mauerscheiben.<sup>91</sup> Für diese Versuchsreihe wurden die Proben aus einer Mauer-scheibe 12/60 x 99 x 105 cm aus der Sichtfläche gesägt (s. Pfeil Abb. 17 sowie Abb. 18).



*Abbildung 17: Mauer-scheibe U5 im Originalzustand*



*Abbildung 18: Sägen der Mauer-scheibe*

Diese entstammte einer aktuellen Versuchsreihe neu entwickelter Mauer-scheiben. Statt der üblichen Bewehrung aus Stahl, wurden den Elementen Makrokunststofffasern zuge-setzt. Die verwendete Mauer-scheibe hatte einen Faseranteil von 2,5 kg/m<sup>3</sup>.<sup>92</sup> Sie bot rundum eine einheitliche Optik der höchsten Sichtbetonklasse SB4 (Betonflächen mit besonders hoher gestalterischer Bedeutung) nach DBV-Merkblatt Sichtbeton<sup>93</sup>.

Die Oberfläche der Proben konnte als glatt und hellbeige beschrieben werden, einzelne Lun-ker waren erkennbar (Abb. 19). Die Druckfestigkeit wurde mit C35/45 angegeben. Außerdem war sie zusätzlich als WU-Beton (wasserundurchlässiger Beton) deklariert.

<sup>90</sup> [https://www.lithon.de/Website/Downloads/Broschueren\\_Dokumente/LP\\_L-TEC\\_Systemwinkel.pdf](https://www.lithon.de/Website/Downloads/Broschueren_Dokumente/LP_L-TEC_Systemwinkel.pdf)

<sup>91</sup> R. Brombach, persönliche Kommunikation, 24.05.2018

<sup>92</sup> G. Haroske, persönliche Kommunikation, 25.02.2019

<sup>93</sup> DBV-Merkblatt Sichtbeton:2015-06, DBV/VDZ-Merkblatt Sichtbeton:2015-06

Bei Bauteilen aus einem solchen Material darf selbst drückendes Wasser nur zu einer begrenzten Wassereindringtiefe führen. Der W/Z-Wert war mit max. 0,50 angegeben.<sup>91</sup>

#### **Untergrund 5: Betongehwegplatte nach DIN EN 1339<sup>94</sup>**

Der Untergrund U5 war als unbewehrte Platte aus Beton nach DIN EN 1339<sup>94</sup> einzuordnen. Dabei handelte es sich um ein vorgefertigtes Erzeugnis aus Beton, das als Belagsmaterial für Oberflächen verwendet wird (Abb. 20). Die Platte wurde zweischichtig aufgebaut mit einer Natursteinkörnung im Vorsatz > 4 mm.<sup>95</sup>

Für diese Forschungsreihe diente sie einerseits als Referenzplatte, da sie nicht für den Einsatz als Fassadenplatte bzw. -element vorgesehen wird. Zum anderen ist sie gemäß den aktuellen Merkblättern (z. B. TP AGS-Beton<sup>96</sup>) als Grundkörper für die Prüfungen zu verwenden.

Werkseitig erfolgte die Herstellung der Platten im vollautomatisiertem Rüttelverfahren, welches nicht näher erläutert wurde. Das Produktionsrastermaß (Länge/Breite) betrug 500 x 500 mm (Maßtoleranz +/- 2 mm) und die Höhe 5 cm (Maßtoleranz +/- 3 mm). Die Platten wurden vom Zwischenlieferanten<sup>97</sup> auf das Probenmaß von 10 x 25 cm gesägt. Die Oberfläche konnte als betonglatt, eben mit umlaufender Fase und farblich als grau beschrieben werden. Für Betongehwegplatten (Abb. 20) wird keine Druckfestigkeit vorgegeben, da sie als befahrbarer Bodenbelag der Bruchklasse (Biegezugfestigkeit) unterliegen.<sup>95</sup>



Abbildung 19: Untergrund U4    Abbildung 20: Untergrund U5

Weitere Auskünfte zu den Betoneigenschaften, wie der Betonart und dem W/Z-Wert und der genauen Herstellung konnten nicht gegeben werden.

---

<sup>94</sup> DIN EN 1339:2003-08, Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>95</sup> <https://www.ehl.de/download/dokument/EHL-Datenblatt-Gehwegplatten.pdf>

<sup>96</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

<sup>97</sup> Baufachzentrum Holthusen

## Untergrund 6: Betonplatte, sägeraue Brettschaloptik

Neben den Gebäudefassaden sind häufig Brückenbauwerke bzw. -bauteile von Vandalismus durch illegale Graffiti betroffen. Oft liegen sie außerhalb von Ortschaften und bieten somit eine Angriffsfläche für Graffitischmierereien. Die Oberfläche von Betonbrücken (z. B. an Autobahnen) sind in der architektonischen Gestaltung oft in Schalungsstrukturen ausgeführt. Aus diesem Grund sollte diese Oberflächencharakteristik in die Versuchsreihe einfließen. Dafür erfolgte werkseitig (manuell) die Herstellung von Betonplatten (80 x 120 cm (L/B)) mit einer sägerauen Brettschalung (Abb. 21).

Die Struktur der saugenden Schalung zeichnete sich deutlich auf dem fertigen Beton ab (Abb. 22 und 23). Die Holzmaserungen waren als Negativbild auf der Betonoberfläche verblieben. Aufgrund dieser Herstellungsmethode konnte eine facettenreiche Oberfläche erzielt werden, keine Probe glich optisch der anderen.



Abbildung 21: Form zur Herstellung der Platte (Foto: V. Fröschke)



Abbildung 22: ausgeschaltete Platte 80x120cm (Foto: V. Fröschke)



Abbildung 23: Untergrund U6

Farblich waren sie als hellgrau (zementgrau) zu beschreiben. Laut Hersteller musste von einem W/Z-Wert zwischen 0,50 - 0,55 und einer Druckfestigkeitsklasse von C20/25 ausgegangen werden.<sup>98</sup>

### 3.1.2 Anti-Graffiti-Systeme

Auf alle zu beschichtenden Betonuntergründe wurden die gleichen AGS aufgetragen. Vier verschiedene permanente Systeme kamen zum Einsatz und sind gemäß Herstellerangaben appliziert worden. Die vier Systeme unterschieden sich hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und reichten von Silan-Siloxan-Verbindungen bis hin zu Polyurethan-Polymer-Kombinationen.

Die AGS1 und AGS2 waren als hydrophobierende Imprägnierung bzw. Imprägnierungen mit hydrophoben Eigenschaften, die AGS3 und AGS4 als Beschichtungen einzustufen.

<sup>98</sup> V. Fröschke, persönliche Kommunikation, 18.10.2018

Die hydrophobierenden Imprägnierungen wurden beide vom selben Hersteller zur Verfügung gestellt. Die Beschichtungen stammten von unterschiedlichen Herstellern. Für die Beschichtungen wurde zudem die Anwendung eines Primers zur Haftverbesserung empfohlen.

Hinweis: Aus Datenschutzrechtlichen Gründen und der Tatsache, dass die verwendeten Produkte in direkter Konkurrenz stehen, wurden für diese Arbeit die Anti-Graffiti-Systeme als AGS1 bis AGS4 und die dazugehörigen Reiniger als R1 bis R4 anonymisiert. Die Technischen Datenblätter werden ausschließlich den Gutachtern (in digitaler Form) zur Verfügung gestellt.

Für alle Systeme galten einheitliche Grundvoraussetzungen für den zu beschichtenden Untergrund. Er musste sauber, trocken und frei von losen Teilen, Staub, Öl u.Ä. sein. Zusätzlich empfahlen alle Hersteller, vor der Anwendung der AGS die Objektbedingungen zu prüfen und Testflächen anzulegen.

Folgende Sicherheitsmaßnahmen bestanden für die Anwendung aller Systeme: Die Verarbeitung war nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen erlaubt. Gas/Dampf/Aerosol sollte nicht eingeatmet werden. Am Arbeitsplatz musste auf essen, trinken oder rauchen verzichtet werden. Der Kontakt mit Haut, Augen und Kleidung war zu vermeiden. Das Tragen von Schutzhandschuhen, Augen-/Gesichtsschutz und langer Arbeitskleidung (Overall) wurde vorgegeben. Außerdem durften die Materialien nicht in Grundwasser, Gewässer oder in die Kanalisation gelangen, auch nicht in kleinen Mengen.

### **AGS1 – Hydrophobierende Imprägnierung**

Bei diesem System handelt es sich um eine Hydrophobierung mit integriertem permanentem Graffitienschutz. Es ist eine geprüfte hydrophobierende Imprägnierung. Sie wird vom Hersteller als Lösemittelhaltig, nicht filmbildend und Silan-Siloxan-Fluoracrylat-Copolymer-Imprägnierung definiert. Diese Imprägnierung ist eine gebrauchsfertige Hydrophobierungscreme. Sie eignet sich speziell für dichte und hochdichte Betonoberflächen, insbesondere Architekturbeton und Fassadenbetonelemente, aber auch für Klinker- und Ziegelmauerwerk.

Das Produkt ist transparent, doch je nach Untergrund anfangs mehr oder weniger optisch sichtbar. Die anfänglich weiße Schicht (Cremefilm) zieht vollständig in die Substratoberfläche ein und ist nach ca. 30 Minuten nicht mehr sichtbar.

Der Auftrag des Systems kann bei einer Oberflächentemperatur von 5 °C – 25 °C und einer Oberflächenrestfeuchte von 4 % erfolgen. Das AGS1 kann unverdünnt im Roll-, Pinsel- oder Airless-Spritzverfahren (stets in einem Arbeitsgang: feucht in feucht) aufgetragen werden.

Im Rollverfahren ist immer im Kreuzgang zu arbeiten. Im Spritzverfahren sollte nach der Applikation und Einwirkzeit, insbesondere bei glatten Flächen, mit einer Langflorwalze nachgearbeitet werden.

Der Verbrauch richtet sich nach dem Saugverhalten des Untergrundes. Der Regelverbrauch beträgt 150 – 250 g/m<sup>2</sup>, kann aber unter Umständen auch deutlich höher liegen. Das vollständige Abtrocknen der behandelten Baustoffoberfläche kann, je nach Temperatur und Saugfähigkeit, mehrere Stunden bzw. Tage dauern.

### **AGS2 – Imprägnierung mit hydrophoben Eigenschaften**

Das System 2 ist nach Angaben des Herstellers ein permanentes, gebrauchsfertiges, fluormodifiziertes Imprägnat zur Graffiti prophylaxe. Es wird ein Einsatz auf Beton (Widerlager, Lärmschutzwände etc.) und auch anderen saugfähigen (z.B. fester, dennoch saugfähiger Naturstein), mineralischen und alkalisch zementgebundenen Untergründen empfohlen. Der mineralische Untergrund erhält nach der Applikation des Systems hydrophobe und oleophobe Eigenschaften, die das Einwandern von Farbmitteln und -pigmenten in den Untergrund verhindern sollen.

Das AGS2 wird als weißliche, opake Flüssigkeit, nicht filmbildend, matt und optisch kaum wahrnehmbar eingestuft.

Nach der Reinigung muss die zu schützende Fläche abtrocknen. Für den Auftrag des Systems sollte der Untergrund „mindestens hand-trocken“ sein und die Untergrundtemperatur ebenfalls zwischen 5 °C und 25 °C liegen. Das AGS2 muss stets unverdünnt im Airlessverfahren mit einem Pumpsprühgerät oder einer Kurzflorrolle (Lackierwalze) im Kreuzgang, in zwei Arbeitsgängen in zeitlich kurzer Abfolge (nass in feucht) verarbeitet werden. Der erste Auftrag muss dabei so erfolgen, dass kein Material von der Oberfläche abläuft (Auftrag immer von unten nach oben). Der Zeitabstand richtet sich nach der Saugfähigkeit des Untergrundes sowie der Objekttemperatur. Deshalb kann dieser stark schwanken und zwischen 10 Minuten und 1 – 2 Stunden liegen.

Je nach Saugverhalten des Untergrundes wird der Verbrauch insgesamt (bei 2-fachem Auftrag) mit ca. 130 – 180 ml/m<sup>2</sup> angegeben. Die Trockenzeit liegt zwischen 2 – 3 Stunden bei 20 °C und normaler Luftfeuchte.

### **AGS3 - Beschichtung**

Das AGS3 ist ein permanentes Anti-Graffiti-Schutzsystem 2-Komponenten-Polyurethan-Beschichtung auf Wasserbasis. Die Anwendung wird für gestrichene bzw. lackierte Oberflächen, auf porösen und nicht porösen Oberflächen wie Kunststoff, Metall, Holz, Beton, Zement, Backstein oder Natursteinen uneingeschränkt empfohlen. Über 100 Reinigungen ohne Erneuerung der Schutzschicht, eine Funktionsfähigkeit des Schutzlackes

bis zu 10 Jahren sowie die verminderte Haftung von Plakaten und Aufklebern soll dieses System ermöglichen.

Die Verwendung eines Primers als Haftgrund wird untergrundspezifisch empfohlen. Für Betonuntergründe kann ein 1-komponentiger Acrylprimer auf Wasserbasis eingesetzt werden. Der Primer ist farblos, geruchslos und im flüssigen Zustand milchig. Er trocknet klar aus. Der Verbrauch richtet sich nach dem Untergrund, für Ziegeloberflächen wird er mit 0,14 l/m<sup>2</sup>, für glatte Oberflächen mit 0,10 l/m<sup>2</sup> angegeben. Staubtrocken ist der Primer nach 10 Minuten, durchgetrocknet nach 45 Minuten und nach 12 Stunden kann das AGS aufgetragen werden.

Das AGS3 ist in klar, weiß und in RAL- und NCS-Tönen, sowie in den Glanzgraden glänzend, seidenmatt, matt und ultramatt lieferbar. Dieser Graffiti-Schutzlack enthält keine Lösungsmittel und ist auch für den Innenbereich einsetzbar.

Für die Verarbeitung muss die Luft- und Untergrundtemperatur über 10 °C liegen und die Untergrundfeuchtigkeit darf maximal 5 % betragen.

Das System 3 besteht aus zwei Komponenten, dem Coating und dem Härter. Im Mischungsverhältnis 2:1 (Coating/Härter) wird der Härter in das Coating eingebracht und mit einem breiten Spachtel mindestens 2 Minuten gut vermischt. Das gemischte Material kann dann direkt und über einen Zeitraum von ca. 45 Minuten verarbeitet werden.

Der Auftrag kann mit einer Walze, Roller, Pinsel oder im Airlessverfahren erfolgen. Bei dem Spritzverfahren soll eine Verdünnung nach dem Mischen der zwei Komponenten mit maximal 5 % demineralisiertem Wasser vorgenommen werden. Für die Verarbeitung mittels Walze, Roller oder Pinsel ist die Verdünnung möglich, aber nicht zwingend notwendig. Wird das AGS3 mit Walze oder Roller aufgetragen, sollten z.B. kurzflorige Velourrollen 4 – 6 mm verwendet werden.

Der Auftrag muss in 2 Schichten im Kreuzgang erfolgen. Wobei die zweite Schicht erst nach dem Abtrocknen der ersten Schicht aufgebracht werden kann. Die Trockenzeit der ersten Schicht beträgt ca. 4 – 6 Stunden bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C. Um die Funktionalität zu garantieren ist die zweite Schicht innerhalb von 2 Tagen nach dem Trocknen der ersten Schicht aufzubringen. Während der Applikation muss das Material regelmäßig umgerührt werden.

Der Verbrauch wird mit 0,14 – 0,18 l/m<sup>2</sup> bei 2 Schichten angegeben, auch hier ist er vom Saugverhalten des Untergrundes abhängig. Eine vollständige Aushärtung der Beschichtung ist nach 7 Tagen gegeben.

## **AGS4 - Beschichtung**

Das AGS4 ist ebenfalls ein Permannentsystem auf 2-Komponenten-Polyurethan-Beschichtung und Wasserbasis. Es wird sowohl für nichtsaugende (z.B. lackierte Flächen, Metalle, Kunststoffe, Steinplatten, Fliesen) als auch für saugende Untergründe (z. B. Fassaden, Putze, Vollwärmeschutz, Beton, Klinker, Natursteine, Marmor, Holz) empfohlen. Mindestens 10 – 15 Reinigungen sollen mit diesem System möglich sein. Nach einer Zeitspanne von 5 bis 7 Jahren muss es erneuert werden.

Für Betonuntergründe wird ein Primer auf Rohstoffbasis wassermischbarer Polymerisatharze als Haftvermittler angeboten. Er ist eine unverdünnt aufzutragende Dispersion, die im getrockneten Zustand einen klaren/transparenten, leicht klebrigen Film ausbildet. Der Verbrauch wird je nach Untergrund mit 60 – 150 ml/m<sup>2</sup> angegeben. Bei saugenden Untergründen wie Beton sollte eine Auftragsmenge von 80 – 120 ml/m<sup>2</sup> je nach Rauigkeit erfolgen. Nach Ausbildung eines klaren leicht klebrigen Films ist der Primer überarbeitbar. Genauere Angaben zur Trocknungszeit liegen nicht vor.

Das AGS4 ist ein flüssiges, milchiges Produkt, welches seidenglänzend aufdrocknet. Es ist silikon- und wachsfrei und kann daher jederzeit überlackiert werden.

Die Luft- und Untergrundtemperatur ist für die Verarbeitung des AGS4 mit mind. 5 °C und max. 30 °C angegeben. Angaben zur Untergrundfeuchte werden nicht benannt. Das System 4 soll bevorzugt gespritzt werden (Airlessverfahren, kleinste Düse, geringer Druck). Ansonsten kann das Material auch mit einer Kurzflorwalze aufgebracht werden.

Zunächst ist der Härter (1 Teil) in die Stammkomponente (4 Teile) gut einzurühren und nach einer Vorreaktionszeit von 5 – 10 Minuten nochmals gut durchzumischen. Danach ist das Material unverdünnt innerhalb von max. 8 Stunden zu verarbeiten. Die Beschichtung erfolgt in mehreren Auftragsgängen (max. 100 ml/m<sup>2</sup> pro Auftragsgang), wobei eine Trocknungsphase einzuhalten, bis das milchige Aussehen als klarer, durchsichtiger Film aufgetrocknet ist.

Der Verbrauch liegt je nach Untergrund zwischen 150 – 250 ml/m<sup>2</sup>. Für Betonuntergründe wird die Gesamtauftragsmenge durch mehrmalige Aufträge mit 200 – 250 ml/m<sup>2</sup> angegeben. Hinweise zur vollständigen Aushärtung der Beschichtung liegen nicht vor.

Die Tabelle 7 stellt die beschriebenen Eigenschaften der vier AGS gegenüber und gibt zusätzlich einen Überblick der Materialkosten. Diese sind je Gebinde und qm nach aktuellen Preiskatalogen angegeben, sie können als Richtwerte angenommen werden, sie enthalten nicht die Arbeitsleistung.

Tabelle 7: Überblick AGS1 – AGS4

AGS	AGS1	AGS2	AGS3	AGS4
Produktart	Hydrophobierende Imprägnierung		Beschichtung	
Anwendungsbereich	alkalische, zementgebundene Oberflächen, Betonfertigteile, Sichtbetone, dichte und hochdichte Betonoberflächen, saugende Klinker	Beton und mineralische Untergründe (Klinker)	gestrichene, lackierte Oberflächen, poröse und nicht poröse Untergründe, Kunststoff, Metall, Holz, Beton, Zement, Backstein, Naturstein	lackierte Flächen, Metalle, Kunststoffe, Steinplatten, Fliesen, Fassaden, Putze, Vollwärmeschutz, Beton, Klinker, Naturstein, Marmor, Holz
technische Daten (Rohstoffbasis)	Silan, Siloxan, Fluoracrylat-Copolymere	Fluorpolymere, Wasser	wasserverdünnbarer 2-K Polyurethanlack	wasserverdünnbarer 2-K Polyurethanlack
Eigenschaften	permanent, Hydrophobierung, Creme, weiß, farblos	permanent, wässrig, farblos	permanent, klar, weiß, in RAL-Farben	Silikon- und Wachs frei, permanent, trocknet seidenglänzend auf
Filmbildend	nein	nein	ja	ja
Haftgrund	entfällt	entfällt	Primer wird empfohlen	Primer wird empfohlen
OF-Feuchte	4%	k. A.	5%	k. A.
Verarbeitungstemperatur	+5 bis +25 °C	+5 bis +25 °C	> 10 °C	+5 bis +10 °C
Auftragsverfahren	Airlessverfahren, Rolle, Pinsel	Airlessverfahren, Pumpsprühgerät, Kurzflorrolle	Airlessverfahren, Kurzflorwalze	Airlessverfahren, Kurzflorwalze
Verbrauch [ml/m <sup>2</sup> ]	150 - 250	130 - 180	140 - 180	150 - 250
Reinigungen	k. A.	k. A.	100	10 - 15
Materialkosten [€] je Liter/kg	30,00/kg	35,00/l	65,00/kg	80,00/l
Materialkosten je qm [€]	7,50	6,50	12,00	20,00

### 3.1.3 Farbaufträge

Für die Beurteilung der Reinigungsleistung wurden von jedem Untergrund unbeschichtete als auch beschichtete Proben mit Graffiti-Farben versehen und nach 24 Stunden gereinigt. Je Zyklus sind fünf Farbmittel eingesetzt worden. Dabei handelte es sich immer um vier verschiedene Sprühfarben (Sprays), unter anderem Graffiti- und Felgensprays und einen Permanentmarker, welche dem aktuellen Spektrum der Graffitiszene entsprechen. In jedem Zyklus wurden die Sprayfarben gewechselt (Wechselfelder).

Die Produkte unterschieden sich im Hersteller, Farbton, Zusammensetzung, Auftragseigenschaft und Anwendungsgebiet. Lediglich der Permanentmarker wurde in jedem Zyklus identisch in Produkt und Auftragsstelle aufgetragen (Festfeld).

### 3.1.4 Reinigungsmethoden

Für den Reinigungsprozess wurden dem AGS zugehörige und vom Hersteller empfohlene Reiniger und Reinigungsmittel verwendet. Auch für die Verwendung der Reiniger sind Sicherheitsmaßnahmen gemäß den Ausführungen der Sicherheitsdatenblätter einzuhalten.

Alle Reiniger können schwere Verätzungen an der Haut und Augenschäden verursachen. Reste oder unbeabsichtigt freigesetztes Material darf nicht in die Kanalisation oder Gewässer gelangen.

### Reiniger 1 (R1)

Sowohl durch AGS1 geschützte als auch ungeschützte Untergründe können in 2 Phasen von Graffiti gereinigt werden (Abb. 24). Daraus ergibt sich für die erste Phase die Kombianwendung aus dem Gel-Reiniger und einem flüssigen Reiniger.

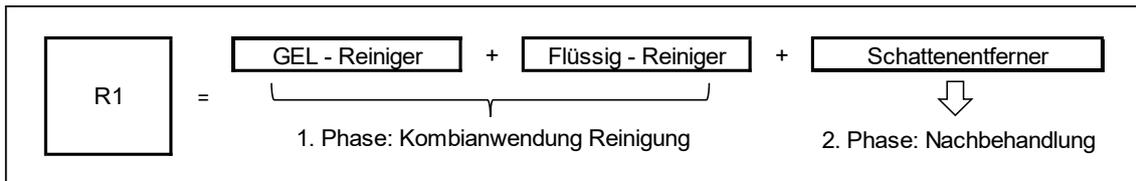


Abbildung 24: Darstellung der Reinigungsphasen R1

Diese Reiniger sind innen als auch außen großflächig anwendbar. Nach Herstellerangaben sind sie geeignet, um Spraylacke auf Nitro-Kombi-, Kunstharz- und Acrylbasis, Tinten, Faserschreiber sowie Sprayfarben auf Bitumenbasis zu entfernen. Der Anwendungsbereich erstreckt sich von mineralischen Untergründen, gestrichenen Flächen (Untergrundfarben werden mit angelöst) über Fliesen, Glas, Lack- und Kunststoffflächen bis hin zu den AGS1-geschützten Untergründen.

Die Inhaltsstoffe werden als Tensid-Lösemittelgemisch angegeben. Der Gel-Reiniger wird als gelartiges, bernsteinfarbendes und biologisch leicht abbaubares Produkt beschrieben. Der Flüssig-Reiniger ist farblos und gebrauchsfertig in einer Sprühflasche verfügbar. Zunächst sollte das Aufsprühen des Flüssig-Reinigers auf den Untergrund erfolgen. Die Einwirkzeit beträgt wenige Minuten, ein „wegrocknen“ ist unbedingt zu vermeiden.

Auf den Flüssig-Reiniger wird direkt der Gel-Reiniger mit einer Bürste (Wurzelbürste, Naturfaserbürste) aufgetragen. Nach 15 – 20 Minuten Einwirkzeit der Kombianwendung werden die Graffiti-Farbbreite mit einem Heißwasser-Hochdruckreiniger oder im Sprüh-Saugverfahren entfernt. Sollte eine maschinelle Entfernung nicht möglich sein, muss das gelöste Graffiti mit warmem Wasser einer Bürste oder Schwamm entfernt und danach die Fläche nochmals mit klarem Wasser nachgespült werden. Zum Neutralisieren der Fläche wird ein gründliches Abspülen mit Wasser gefordert.

In der 2. Phase können eventuell verbliebene Schatten mit dem vom Hersteller empfohlenen Schatten- und Graffitientferner nachbehandelt werden. Der Einsatz wird ausschließlich für alkalisch beständige Untergründe, wie z.B. Beton, Klinker, Granit, Marmor und Sandstein angeboten. Der Schattenentferner wird als bernsteinfarbener, hoch

alkalischer, gelartiger verdickter Speziallöser auf wässriger Basis mit Lösemitteln deklariert. Er ist auch auf nassem Untergrund wirksam.

Nach Abschluss der 1. Phase kann der Schattenentferner sofort in den noch feuchten Untergrund mit einem alkalibeständigen Pinsel (bzw. Rolle, Vliespad) aufgetragen werden. Die Einwirkzeit kann zwischen 2 bis 30 Minuten aber auch mehreren Stunden liegen. Die gelösten Farbschichten (Schatten) werden ebenfalls mit einem Heißwasser-Hochdruckreiniger oder im Sprüh-Saugverfahren entfernt.

### Reiniger 2 (R2)

Die Imprägnierungen AGS1 und AGS2 stammen vom gleichen Hersteller, sie unterscheiden sich jedoch in ihrer Zusammensetzung, Anwendung und Verarbeitung. Für die Reinigung beider AGS werden die gleichen Produkte empfohlen. Deshalb wird hier auf die detaillierte Beschreibung des Gel-Reinigers, des Flüssig-Reinigers und dem Schattenentferner in Reiniger 1 (R1) hingewiesen. Lediglich die Art der Verarbeitung weicht ab. Es wird für die Graffiti-Entfernung der Einsatz des Gel-Reinigers oder des Flüssig-Reinigers empfohlen.

Der Auftrag erfolgt je nach Produkt mit Pinsel, Bürste oder im Sprühverfahren, die Einwirkzeit beträgt mindestens 20 Minuten. Anschließend werden mit dem Heißwasser-Hochdruckreiniger mit mind. 80 °C Wassertemperatur die Farbmittel von unten nach oben zur bereits gereinigten Fläche hin abgewaschen. Der Wasserdruck ist dabei den Gegebenheiten der Baustoffoberfläche anzupassen (Flachstrahldüse benutzen). Auch ein darauffolgender Einsatz des Schatten-Reinigers ist möglich.

### Reiniger 3 (R3)

Vom Hersteller wird für die Graffiti-Entfernung die 3-Schritt-Methode empfohlen (Abb. 25).

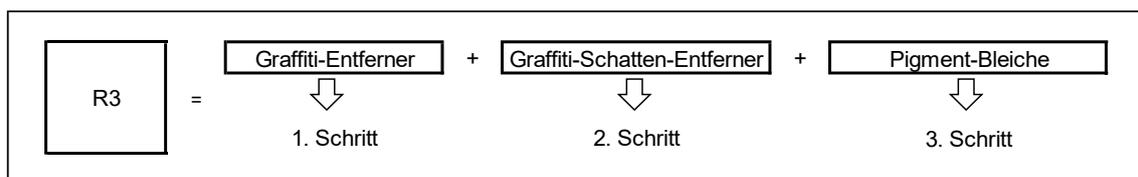


Abbildung 25: Reinigungsschritte R3

Im 1. Schritt kommt ein hochkonzentrierter Graffiti-Entferner, der auch auf feuchten Untergründen angewendet werden kann, zum Einsatz. Er ist außen und innen (in gut belüfteten Räumen) anwendbar und biologisch abbaubar. Der Graffiti-Entferner findet Anwendung auf vielen mineralischen sowie nicht mineralischen Oberflächen, Fliesen, Glas, Klinker, Metall, Keramik, Naturstein, Mauerwerk oder bereits mit AGS3 geschützten Untergründen.

Das Produkt ist hellblau und flüssig, es kann 10 (Entferner) : 1 (Wasser) mit Wasser verdünnt werden. Es wird als nicht ätzend und biologisch abbaubar definiert. Zu den Inhaltsstoffen liegen keine Angaben vor.

Der Verbrauch ist abhängig von der Porosität des Untergrundes sowie Art und Alter des Graffiti und liegt zwischen 80 – 120 ml/m<sup>2</sup>. Bei Temperaturen von 5 °C bis 50 °C ist die Anwendung möglich.

Für den Gebrauch auf Oberflächen ohne AGS wird der Auftrag mittels Bürste, Pinsel, Schwamm oder Rolle angegeben. Die Einwirkzeit beträgt je nach Untergrund 3 – 10 Minuten. Der Lösefortschritt ist ständig zu kontrollieren. Es wird ein Arbeiten in Teilabschnitten empfohlen. Das gelöste Graffiti wird vorzugsweise mit einem Heißwasser-Hochdruckreiniger bei mittlerem Druck und breiter Sprühdüse entfernt.

Für die Reinigung von AGS-geschützten Oberflächen sollten weiche Bürsten, weiche Pinsel oder ein Schwamm (Pad) verwendet werden, vom Einsatz eines Hochdruckreinigers wird abgeraten. Die Einwirkzeit reduziert sich auf 3 – 5 Minuten.

Im 2. Schritt wird ein alkalischer Graffiti-Schatten-Entferner zur Entfernung von hartnäckigen Graffitischatten auf ungeschützten oder bereits mit AGS3 geschützten Oberflächen eingesetzt. Er entfernt hartnäckige Farbschatten durch Farbsprays und Markerfarben auf nicht gestrichenen und porösen Oberflächen wie z.B.: Klinker, Keramik, Naturstein, Mauerwerk Ziegelstein, Beton und verschiedenen Kunststoffen sowie Metallen, außer Zink und Aluminium.

Der Schatten-Entferner ist gelb-braun, zähflüssig, alkalisch und kann nicht mit Wasser verdünnt werden. Zu den Inhaltsstoffen werden auch hier keine Angaben gemacht.

Der Verbrauch ist abhängig vom Untergrund und kann 0,20 – 0,50 l/m<sup>2</sup> betragen. Es wird eine Verarbeitungstemperatur von mindestens 15 °C angeregt. Der Untergrund sollte trocken bzw. nicht sehr nass sein.

Für den Auftrag des Schatten-Entfernens werden für Oberflächen mit und ohne Graffitischutz die gleichen Arbeitsgeräte und Reinigungstechniken empfohlen, wie für den Graffiti-Entferner (siehe 1. Schritt). Die Einwirkzeit wird für ungeschützte Oberflächen mit 10 – 20 Minuten und für geschützte Untergründe mit 5 Minuten angegeben. Die Reinigung ist wie im 1. Schritt durchzuführen. Abschließend erfolgt die Neutralisation der Flächen, die einen Graffitischutz besitzen, mit ausreichend Wasser.

Im 3. Schritt kann für hartnäckige Flecken der Einsatz einer Graffiti-Schatten-Bleiche für alle Oberflächen aus den in Schritt 1 und 2 genannten Anwendungsbereichen erfolgen. Die Schatten-Bleiche ist braun, pastös und nicht mit Wasser zu verdünnen. Das Produkt ist innen (in gut belüfteten Räumen) und außen anwendbar.

Mit ca. 0,17 – 0,33 kg/m<sup>2</sup> wird der Verbrauch angegeben. Der Untergrund sollte trocken sein und auch hier wird eine Umgebungstemperatur von  $\geq 15$  °C empfohlen.

Der Auftrag der pastösen Bleiche sollte satt deckend für alle Untergründe (mit oder ohne AGS3) mit einem Holz- oder Kunststoffspachtel erfolgen. Bei Oberflächen ohne Graffiti-schutz wird die Fläche anschließend mit einer Schutzfolie abgedeckt und die Bleiche soll so bis zu 24 Stunden einwirken. Für geschützte Flächen beträgt die Einwirkzeit maximal 10 – 15 Minuten. Die Reinigung und die Neutralisation erfolgen schließlich für alle Untergründe identisch dem 2. Schritt.

#### **Reiniger 4 (R4)**

Für die Beseitigung von Graffiti ungeschützter als auch mit AGS4 geschützter Untergründe soll der Anti-Graffiti-Reiniger R4 als ein Produkt für alle Untergründe und Problemfälle eingesetzt werden. Es unterwandert auf allen lösemittelfesten Untergründen (wie z.B. Metall, Glas, Holz, Fliesen, nicht gestrichener Beton, Klinker und Natursteinen sowie Kunststeinen) Sprühlacke, Farben und Filzstifte. Bei gestrichenen oder lackierten Flächen kann der Untergrund mit angelöst werden.

Als Rohstoffbasis werden vom Hersteller Lösemittel, nichtionische und kationische Tenside angegeben. Der Reiniger ist klar, flüssig, biologisch abbaubar und wird gebrauchsfertig in einer Sprühflasche angeboten.

Der Verbrauch richtet sich nach der Graffitizusammensetzung (Farbmittel) und liegt bei 120 – 500 ml/m<sup>2</sup>. Die Temperatur des zu behandelnden Untergrundes sollte nicht unter 10 °C bzw. über 30 °C betragen.

Auf alle Oberflächen wird der Reiniger unverdünnt aufgesprüht. Für Untergründe, die mit AGS4 behandelt wurden, sowie mit Dispersionsfarben gestrichene oder lackierte Flächen beträgt die Einwirkzeit 1 – 2 Minuten. Für alle anderen Untergründe liegt die Einwirkzeit bei 2 – 5 Minuten. Mit einer Perlonbürste kann der Reiniger auf allen Untergründen ohne Druck gleichmäßig verrieben werden. Die gelösten Farbmittel sind mit einem weichen Tuch aufzunehmen oder mit einer Bürste (ohne Druck) und Wasser nach zu waschen. Abschließend sind die gesäuberten Flächen ausreichend mit Wasser zu neutralisieren.

In der Tabelle 8 werden die vier Reiniger mit ihren wichtigsten Eigenschaften zusammengefasst und gegenübergestellt. Außerdem werden Angaben zu Materialkosten je Gebinde und qm nach aktuellen Preiskatalogen angegeben, diese können als Richtwerte angenommen werden, sie enthalten nicht die Arbeitsleistung.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Reiniger R1 bis R4

Reiniger	Produktart	Anwendungsbereich	Inhaltsstoffe	Eigenschaften	Verarbeitungstemperatur	Auftragsverfahren	Verbrauch	Materialkosten [€]	Materialkosten je qm [€]
R1 und R2	Graffiti-entferner-Gel	mineralische Untergründe, gestrichene Flächen (werden mit angelöst).	Tensid - Lösemittelgemisch	bernsteinfarben, gelartig, innen und außen anwendbar	> 10 °C	Airlessverfahren, Rolle, Pinsel	200 - 1000 ml/m <sup>2</sup>	19,00/l	3,80 - 19,00
	Flüssig-Reiniger	Fliesen, Glas, Lack- und Kunststoffflächen, AGS1 - geschützte Untergründe		farblos, flüssig	> 10 °C	aufsprühen (Sprühflasche), rollen, streichen	100 - 200 ml/m <sup>2</sup>	10,50/l	1,00 - 2,00
	Schattenentferner-Gel	Fliesen, Glas, Lack- und Kunststoffflächen, AGS1 - geschützte Untergründe	wässrige Basis mit Lösemitteln	bernsteinfarben, gelartig, hoch alkalisch, auch auf nassem Untergrund wirksam	> 10 °C	mit alkalibeständigem Pinsel, Rolle, Fliespad	200 - 400 ml/m <sup>2</sup>	15,00/l	3,00 - 6,00
R3	Graffiti-Entferner	nicht gestrichene Oberflächen, Klinker, Keramik, Naturstein, Mauerwerk	k. A.	hellblau, flüssig, auch auf feuchten Untergründen anwendbar, innen und außen	+5 °C bis +50 °C	Bürste, Pinsel, Schwamm, Rolle (für Reinigung Oberfläche mit AGS: weiche Ausführung)	80 - 120 ml/m <sup>2</sup>	30,00/l	2,40 - 3,60
	Graffiti-Schatten-Entferner	Ziegelstein, Beton, Kunststoff, Metalle (außer Zink und Aluminium), mit		gelb-braun, zähflüssig, alkalisch, Untergrund muss trocken sein	> 15 °C		200 - 500 ml/m <sup>2</sup>	27,00/l	5,40 - 13,50
	Graffiti-Schatten-Bleiche	AGS3 - geschützte Oberflächen		braun, pastös, innen und außen	> 15 °C	Holz-, Kunststoffspachtel	170 - 330 g/m <sup>2</sup>	26,00/kg	4,40 - 8,60
R4	Anti-Graffiti-Reiniger	Metall, Glas, Holz, Fliesen, nicht gestrichener Beton, Klinker und Natursteine sowie Kunststeine	Lösemittel, nichtionische und kationische Tenside	klar, flüssig, biologisch abbaubar	+10 °C bis +30 °C	Sprühflasche	120 - 500 ml/m <sup>2</sup>	40,00/l	3,10 - 13,00

### 3.2 Auswahl der Prüfparameter und -verfahren

Wie bereits im Abschnitt 3.1.1 beschrieben, konnten für diese Forschungsarbeit sechs verschiedene Betonuntergründe festgelegt werden, die sich in Betongüte und -charakteristik unterscheiden. Insgesamt besteht die Forschungsreihe unter natürlicher Freibewitterung aus 180 Prüfkörpern, 30 pro Betonuntergrund (Tab. 9).

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, sollte unter anderem die mögliche Veränderung unbeschichteter Betonprüfkörper (Nullproben ohne AGS) unter dem Einfluss der Bewitterung betrachtet werden. Das galt ebenso für die Betonprüfkörper, die mit einem AGS beschichtet wurden (Nullproben mit AGS), diese erhielten keinen Farbauftrag und somit entfiel auch die Reinigung.

Tabelle 9: Zusammensetzung der Probenmenge je Untergrund und Behandlung

Anzahl						
NP <sup>1)</sup> ohne Farbauftrag und Reinigung			PK <sup>2)</sup> mit Farbauftrag und Reinigung			
ohne AGS	mit AGS		ohne AGS		mit AGS	
2	AGS1	2	R1	2	AGS1	3
	AGS2	2	R2	2	AGS2	3
	AGS3	2	R3	2	AGS3	3
	AGS4	2	R4	2	AGS4	3
2	8		8		12	
<b>Gesamtproben je Untergrund</b>						<b>30</b>

<sup>1)</sup> NP = Nullproben

<sup>2)</sup> PK = Prüfkörper

Um aufzuzeigen, ob und welche Einflüsse die jeweiligen Reinigungsmittel und -methoden auf ungeschützte Betonuntergründe einnehmen, flossen auch Betonprüfkörper ohne AGS (PK ohne AGS mit Reinigung) in die Forschungsreihe ein.

Die Hauptgruppe bildeten die Betonprüfkörper, welche mit einem Anti-Graffiti-System beschichtet und ferner dem Farbauftrag und der Reinigung ausgesetzt wurden (Untergrund mit AGS und Reinigung). Insgesamt 12 der 30 Proben je Untergrund zählten zu dieser Gruppe.

Die Auswahl der Prüfmethode und Prüfparameter erfolgte unter anderem in Anlehnung an aktuelle Normen, Merkblätter und Empfehlungen der Industrie. Außerdem konnten aus Voruntersuchungen (über einen Zeitraum von 8 Monaten) gewonnene Ergebnisse und Erfahrungen zur Festlegung der Methoden und Parameter beitragen.

### **3.2.1 Optische Eigenschaften**

Durch den Auftrag eines Oberflächenschutzsystems auf Beton, speziell eines AGS, soll die Oberfläche optisch möglichst gar nicht bis wenig beeinträchtigt werden. Für Imprägnierungen und Hydrophobierungen wird diese Angabe durch die Literatur gestützt (Goretzki 1998; Eichler 2009; Weber 2022). Durch den Auftrag einer Beschichtung kann der optische Eindruck einer Betonoberfläche wenig bis stark beeinflusst werden, das umfasst vorrangig den Glanz und die Helligkeit (Flückiger et al. 2021).

Für die Bewertung der Funktionalität des AGS ist zunächst eine Beurteilung nach Augenschein durchzuführen. Nach TP AGS-Beton<sup>99</sup>, ReGG III<sup>100</sup> und WTA-Merkblättern<sup>101</sup> ist dabei ein Abstand von 30 cm zur AGS-beschichteten Prüfplatte einzuhalten. Außerdem sollte für den Vergleich eine Referenzplatte (Nullprobe) einbezogen werden.

Die TP-AGS-Beton<sup>102</sup> schreiben als Prüfplatten Gehwegplatten aus Beton (nach DIN EN 1339<sup>103</sup>) oder Pflastersteine aus Beton (nach DIN EN 1338<sup>104</sup>) vor.

Im Anhang B der TP-AGS-Beton<sup>102</sup> werden die Kennwerte zur Beurteilung der Farbmittelfernung ähnlich dem Schulnotensystem in sechs Stufen festgelegt (Tab. 10).

Außerdem werden dazu Richtbilder vorgegeben.

---

<sup>99</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

<sup>100</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti-prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

<sup>101</sup> WTA Merkblatt 2-5-97/D:1998-02, Anti-Graffiti-Systeme

WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03, Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)

<sup>102</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

<sup>103</sup> DIN EN 1339:2003-08, Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

<sup>104</sup> DIN EN 1338:2003-08, Pflastersteine aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

Tabelle 10: Kennwerte zum Bewerten der Ergebnisse von Farbmittelentfernungen nach TP AGS-Beton:03/2012<sup>102</sup>

Kennwert	Ergebnis der Farbmittelentfernung
0	Keine erkennbaren Farbmittelrückstände
1	Ausgeprägte Farbmittelentfernung
2	Sehr deutlich wahrnehmbare Farbmittelentfernung
3	Deutlich wahrnehmbare Farbmittelentfernung
4	Gerade wahrnehmbare Farbmittelentfernung
5	Keine wahrnehmbare Farbmittelentfernung

Nach ReGG III<sup>105</sup> werden als Prüfplatten ebenfalls die Pflastersteine aus Beton (DIN EN 1338<sup>104</sup>) sowie die Gehwegplatten aus Beton (DIN EN 1339<sup>103</sup>), hier hingegen mit der Maßvorgabe 30 x 30 x 4 cm vorgeschrieben. Auch das ReGG III<sup>105</sup> gibt Kennzahlen für die Reinigungsleistung vor (Tab. 11). Allerdings erfolgt die Einteilung mit zwei zusätzlichen Zwischenstufen, den Kennzahlen 0,5 und 1,5.

Tabelle 11: Kennzahlen für die Reinigungsleistung nach ReGG III<sup>105</sup>

Kennzahl	Ergebnisse
0	Vollständige Entfernung der Farbmittel (100 %)
0,5	Vereinzelt kleine punktförmige Farbrückstände
1	Punktförmige Farbrückstände; bei Filzstiften blasser Schatten
1,5	Einzelner flächenförmiger Farbrückstand (Reinigung > 90 %)
2	Flächenförmige Farbrückstände; bei Filzstiften umrissener Schatten
3	Deutliche Erkennbarkeit der Farbmuster oder/und farbiger Umriss (Reinigung 30 bis 75 %)
4	Geringe Beeinflussung der Oberfläche durch den Reinigungsprozess (Reinigung < 30 %)
5	Keine Reinigung

## Glanz

Glanz ist als subjektiv zu betrachten. Es handelt sich um eine visuell empfundene Eigenschaft einer Oberfläche, auf der einfallendes Licht in einer bestimmten Weise reflektiert wird. Der Glanzgrad kann nicht direkt gemessen werden, da er keine physikalische Kenngröße ist. Vielmehr spielt das persönliche Empfinden neben einem objektiv gemessenen Reflexionswert (Glanzwert) eine wichtige Rolle für die Beurteilung einer Oberfläche.<sup>106</sup>

Beispiele für Glanzstufen sind hochglänzend, glänzend, seidenglänzend, halbgelänzend, seidenmatt, matt und stumpfmatt (DIN EN ISO 2813<sup>107</sup>).

<sup>105</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti- Prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

<sup>106</sup> <http://docplayer.org/110804198-Messung-der-gerichteten-reflexion-an-oberflaechen.html>

<sup>107</sup> DIN EN ISO 2813:2015-02, Beschichtungsstoffe - Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85° (ISO 2813:2014)

Beton wird üblicherweise als matt empfunden, durch die Beigabe von Farbpigmenten oder auch einer Oberflächenbearbeitung (Schleifen) ist diese Wahrnehmung veränderbar (Momber, Schulz 2006).

Die Glanzmessungen an den Prüfkörpern erfolgen gemäß DIN EN ISO 2813<sup>107</sup> mit einem auf die Prüfkörper-Oberfläche aufgesetzten Reflektometer (Glossmeter), ein Lichtstrahl wird dabei unter einem definierten Winkel auf die Probenoberfläche gerichtet. Ein Detektor im Glanzmessgerät misst dann die Intensität des reflektierten Lichts und berechnet daraus den Glanzgrad.

Laut DIN EN ISO 2813<sup>107</sup> können alle Glanzgrade von Oberflächen mit der 60-Grad-Messgeometrie gemessen werden. Alle Glanzgrade unter 10 Einheiten sollten zur höheren Präzision mit der 85-Grad-Geometrie erfasst werden. Für vergleichende Ergebnisse sollte für wiederholende Messungen die gewählte Messgeometrie beibehalten werden.<sup>108</sup>

Der Glanzwert hat keine Einheit und wird in GU (gloss unit) angegeben (DIN EN ISO 2813<sup>107</sup>). Die Beurteilung des Glanzwertes erfolgt nach DIN EN 1062-1<sup>109</sup> (Tab. 12). Es müssen jeweils fünf Einzelmesswerte ermittelt und daraus der Mittelwert berechnet werden.

Tabelle 12: Beurteilung des Glanzes nach DIN EN 1062-1:2004-08<sup>109</sup>

Klasse		Messwinkel	Anforderung
G1	Glänzend	60°	> 60
G2	Mittlerer Glanz	60°	≤ 60
		85°	> 10
G3	Matt	85°	≤ 10

Die Glanzwerte können die möglichen optischen Veränderungen der Baustoffoberfläche durch den Auftrag eines AGS, aus der klimatischen Belastung sowie nach der Reinigung angeben.

### Helligkeit

Die Helligkeit ist - wie der Glanz - ein visueller Eindruck, der abhängig vom Betrachter ist. Um die Abhängigkeit vom individuellen Betrachter wie bei der rein visuellen Farbmusterung zu minimieren, wurden Messtechniken und Berechnungsformen entwickelt, um Farbunterschiede in mathematische Zahlen auszudrücken (Eichler 2009).

Nach DIN 5033-1<sup>110</sup> wird die Helligkeit als Stärke einer Lichtempfindung, wie sie mit jeder Farbwahrnehmung stets unlösbar verbunden ist, definiert.

<sup>108</sup> <https://www.coating.de/glanzmessgeraet/>

<sup>109</sup> DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung

<sup>110</sup> DIN 5033-1:2017-10, Farbmessung - Teil 1: Grundbegriffe der Farbmetrik

Helligkeitsveränderungen sind in der Regel durch den Auftrag eines AGS auf die Betonfassade nicht gewünscht, um den visuellen Charakter zu erhalten. Daher sollte immer eine Farbmessung erfolgen (Eichler 2009; Goretzki 1998).

Nach WTA Merkblatt 2-8-04/D<sup>111</sup> wird die CIELab-Methode (auch L\*a\*b\*-Farbsystem genannt) als übliche Methode der Farbmessung empfohlen (WTA/2004<sup>111</sup>). Sie ist heute das gebräuchlichste System für die Farbmessung und kann mit einem Chromameter erfolgen (Konica Minolta 2005).

Beim CIELab-System wird der Farbraum durch eine Kugel dargestellt und über drei Achsen definiert: L\* ist die Helligkeitsachse, a\* die Grün-Rot-Achse und b\* die Gelb-Blau-Achse. Einzig die Helligkeitsachse L\* ist durch einen festgelegten Anfangs- und Endpunkt eindeutig definiert (Abb. 26). Dabei entspricht das absolute Weiß einem Wert von L\* = 100 und das absolute Schwarz von L\* = 0 (Eichler 2009).

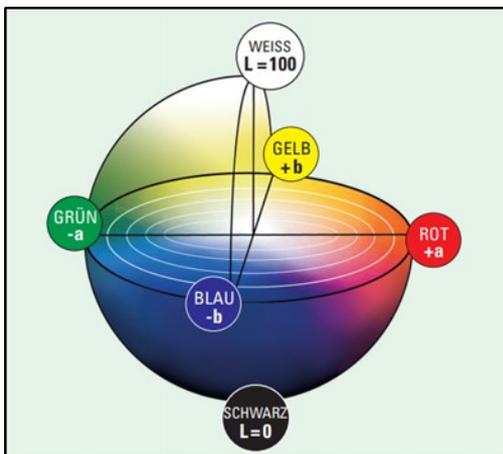


Abbildung 26: Darstellung des CIELab-Systems durch eine Kugel (Eichler 2009)



Abbildung 27: Darstellung der Helligkeit (Konica Minolta 2005)

Die Helligkeit kann unabhängig vom Farbton bestimmt und gemessen werden. Die Abbildung 27 zeigt, wie die Helligkeit nach oben hin zu und nach unten abnimmt, die Beschreibung für diese Wahrnehmung sind sehr vielfältig und unpräzise, deshalb sollte bei der Beurteilung der Helligkeit ein Farbmessverfahren angewandt werden (Konica Minolta 2005). So können Helligkeitsveränderungen in der Oberfläche durch den Auftrag eines AGS, der Bewitterung oder der Reinigung nachgewiesen bzw. ausgeschlossen werden.

<sup>111</sup> WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03, Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)

### 3.2.2 Bauphysikalische Parameter

#### Kubatur, Masse, Rohdichte

Zu den Grundeigenschaften eines jeden Prüfkörpers gehören zwingend die Größe (Abmessungen), das Volumen und die Masse. Die Basiseinheit für die physikalische Größe Masse  $m$  ist das Kilogramm [kg].

Die Rohdichte  $\rho$  errechnet sich aus der Masse eines Stoffes bezogen auf sein Volumen einschließlich der sogenannten Eigenporen (Gleichung 1). In der DIN EN 12390<sup>112</sup> ist das Verfahren für die Bestimmung der Rohdichte von Festbeton festgelegt, sie wird in  $\text{kg/m}^3$  angegeben (Neroth, Vollenschaar 2011, DIN EN 12390<sup>112</sup>).

$$\rho = m/v \quad [\text{kg/m}^3] \quad \text{Gleichung 1}$$

$m$  - Masse [kg]

$V$  - Volumen [ $\text{m}^3$ ]

Beton wird entsprechend seiner Rohdichte als Normal-, Leicht- oder Schwerbeton definiert. Rohdichten zwischen  $2000 \text{ kg/m}^3$  und  $2600 \text{ kg/m}^3$  werden durch die DIN EN 206<sup>113</sup> für Normalbeton vorgegeben. Für Leichtbeton erfolgt die Klasseneinteilung in sechs Rohdichteklassen (D1,0 – D2,0). Bei einer Rohdichte über  $2600 \text{ kg/m}^3$  handelt es sich um Schwerbeton. Die Rohdichte von Baustoffen ist unter anderem ein wichtiger Richtwert für die Beurteilung von deren Festigkeit und Wasserdurchlässigkeit (Neroth, Vollenschaar 2011).

#### Druckfestigkeit

Die Druckfestigkeit ist eine der wichtigsten Festbetoneigenschaften. Sie ist zur Bestimmung der charakteristischen Festigkeit und Zuordnung der Festigkeitsklasse nach DIN 1045-2<sup>114</sup> an Probekörpern nachzuweisen. Anhand der ermittelten Druckfestigkeit lässt sich der Beton den einzelnen Festigkeitsklassen zuordnen (siehe Abschnitt 2.1.2 Betongüte). Die Druckfestigkeit kann zerstörungsfrei am verarbeiteten Beton im Bauwerk (über Impulsgeschwindigkeiten), während des Bauablaufs und zerstörend an Betonprüfkörpern gemäß DIN 1045-2<sup>114</sup> nach 28 Tagen oder einem späteren Festigkeitszeitpunkt bestimmt werden (Pohl 1969; DIN 1045-2<sup>114</sup>).

Die zerstörungsfreie Ermittlung wird jedoch nur selten angewandt, da mit einer Fehlerquote von  $\pm 40 \%$  gerechnet werden kann (Pohl 1969). Vorzugsweise wird die Druckfestigkeit durch einen Druckversuch an Probekörpern ermittelt. Das sind, wenn nicht anders

---

<sup>112</sup> DIN EN 12390-1:2021-09, Prüfung von Festbeton - Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen

<sup>113</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>114</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

vereinbart, Betonwürfel mit 15 cm Kantenlänge (Würfel) oder 30 cm lange Betonzylinder mit 15 cm Durchmesser (Zylinder). 28 Tage nach der Herstellung der Probekörper erfolgt die Prüfung, die Beurteilung und die Zuordnung in Festigkeitsklassen nach DIN EN 206<sup>115</sup>/DIN 1045-2<sup>116</sup> (Wesche 1996; Weber 2019).

Um die Druckfestigkeit von Betonwürfeln zu ermitteln, wird in einer Druckprüfmaschine nach DIN EN 12390-4<sup>117</sup> der Probekörper bis zum Bruch auf Druck belastet. Dabei wird der Würfel bis zum Bruch in gewählter Laststufe belastet und die Höchstlast in kN an der Druckprüfmaschine abgelesen und notiert.

Die Probekörper müssen den Anforderungen nach DIN EN 12390-1<sup>118</sup> und DIN EN 12390-2<sup>119</sup> entsprechen und die Durchführung nach DIN EN 12390-3<sup>120</sup> erfolgen (Iken et al. 2012).

Die Berechnung der Würfeldruckfestigkeit erfolgt nach Gleichung 2 (Iken et al. 2012):

$$f_{c,cube} = 1000 * F/A_c \text{ [N/mm]} \quad \text{Gleichung 2}$$

$f_{c,cube}$  = Würfeldruckfestigkeit in N/mm<sup>2</sup>

F = Höchstlast in kN

$A_c$  = Lasteinleitungsfläche in mm<sup>2</sup>

Für die Berechnung von  $A_c$  werden zunächst alle Maße des Probekörpers aufgenommen und auf 1 mm genau angegeben. Der mittlere Flächeninhalt  $A_c$  der Druckfläche (Lasteinleitungsfläche) wird dann nach Gleichung 3 berechnet (Iken et al. 2012):

$$A_c = x_m * y_m \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{Gleichung 3}$$

$A_c$  = mittlerer Flächeninhalt der Lasteinleitungsflächen in mm<sup>2</sup>

$x_m$  = mittlere „Breite“ des Würfels (Richtung x) in mm

$y_m$  = mittlere „Länge“ des Würfels (Richtung y) in mm

Für die Ermittlung der Druckfestigkeit von Betonzylindern sind ebenfalls die für Betonwürfel angegebenen DIN-Vorschriften zu beachten. Die Durchführung der Prüfung als auch die Berechnung erfolgen auf gleiche Weise, lediglich  $A_c$  wird über die Formel:  $A_c = \pi * (d^2/4) = 0,785 * d^2$  ermittelt.

---

<sup>115</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>116</sup> DIN 1045-2:2008-08, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität - Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

<sup>117</sup> DIN EN 12390-4:2020-04, Prüfung von Festbeton - Teil 4: Bestimmung der Druckfestigkeit - Anforderungen an Prüfmaschinen

<sup>118</sup> DIN EN 12390-1:2021-09, Prüfung von Festbeton - Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen

<sup>119</sup> DIN EN 12390-2:2019-10, Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen

<sup>120</sup> DIN EN 12390-3:2019-10, Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern

Die Druckfestigkeitsklasse wird nach DIN EN 206<sup>121</sup> bzw. dem DIN-Fachbericht 100 „Beton“<sup>122</sup> bestimmt.

### Abreißfestigkeit

Die Abreißfestigkeit ist ein Begriff aus der ZTV-ING<sup>123</sup> und gilt sowohl für die Oberflchenzugfestigkeit (Kohäsion der Betonrandzone) als auch für die Haftzugfestigkeit (Adhäsion oder Haftung von Schichten auf der Betonoberfläche) (ZTV-ING<sup>123</sup>).

Als maximale Zugkraft bezogen auf die Fläche eines auf die Betonoberfläche geklebten Prfstempels ist die Oberflchenzugfestigkeit definiert. Sie ist die bedeutendste Prüfmethode zur Beurteilung der mechanischen Beschaffenheit oberflächennaher Betonschichten, obwohl Zugbeanspruchungen senkrecht zur Oberfläche bei Ausbesserungen und Oberflchenschutzbeschichtungen nur einen geringen Teil der tatsächlich auftretenden Beanspruchungen ausmachen (Momber, Schulz 2006).

Gängige Bezeichnungen der Oberflchenzugfestigkeit können auch Oberflchenzugprfung, Abzugprfung oder Abreiprfung sein. Alle beschreiben die Kohäsion der Betonrandzone unter Zugbeanspruchung, dargestellt in der Abbildung 28. Im Gegensatz dazu bezeichnet der Begriff Haftzugfestigkeit die Adhäsion (Abb. 29) oder Haftung verschiedener Schichten (Momber, Schulz 2006).

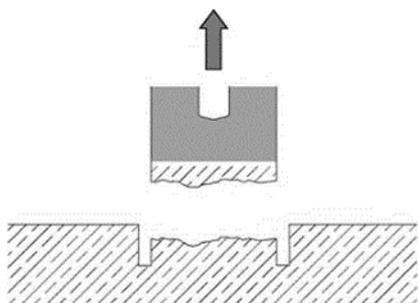


Abbildung 28: Oberflchenzugversuch zur Bestimmung der Kohäsion (Momber, Schulz 2006)

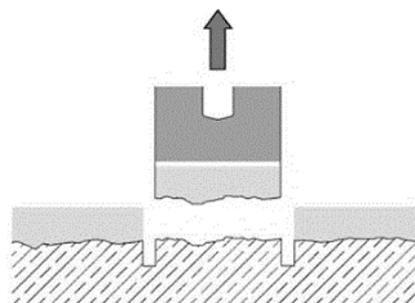


Abbildung 29: Haftzugversuch zur Bestimmung der Adhäsion (Momber, Schulz 2006)

Für diese Forschungsarbeit steht der Haftzugversuch, also die Abreißfestigkeit von Betonunterlagen und aufgetragenen Schichten, im Vordergrund. Sie beschreibt die Haftung zweier Schichten aufeinander (Adhäsion) und dient als Kennwert der Haftung zwischen

<sup>121</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

<sup>122</sup> DIN-Fachbericht 100:2010-03, Beton - Zusammenstellung von DIN EN 206-1 Beton - Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität und DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton - Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1

<sup>123</sup> Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten: ZTV-ING 2022/01

dem Untergrund und dem Belag (z.B. die Haftung zwischen einem Betonuntergrund und einer Beschichtung) (Iken et al. 2012).

Es geschieht nicht selten, dass bei dieser Prüfung nicht die Haftverbindung zwischen den beiden zu prüfenden Materialien gemessen wird, sondern ein Bruch innerhalb der Materialien erfolgt. Bei Beschichtungen ist üblicherweise der Bruch unterhalb der Eindringtiefe der Grundierung zu erwarten. Bruchflächen sind nach Augenschein in verschiedene Trennfälle (Tab. 13) zu unterteilen (Iken et al. 2012). Wenn eine Kombination aus diesen Brucharten vorliegt, ist eine Sichtprüfung durchzuführen, um den jeweiligen Prozentsatz (Flächenanteile auf 10 %) jeder einzelnen Bruchart, bezogen auf die Prüffläche, abzuschätzen (ZTV-ING<sup>124</sup>).

*Tabelle 13: Trennfälle der Bruchflächen nach Augenschein (Iken et al. 2012)*

Kohäsionsbrüche (Bruch innerhalb einer Schicht)		Adhäsionsbrüche (Bruch zwischen zwei Schichten)	
B	Bruch im Beton	ABE	Bruch zwischen Betonersatz und Betonunterlage
BE	Bruch im Betonersatz	AGVK	Bruch zwischen Grundierung oder Versiegelung oder Kratzspachtelung und Betonunterlage
VK	Bruch in der Versiegelung oder Kratzspachtelung	AO	Bruch zwischen Oberflächenschutz und Betonunterlage
O	Bruch im Oberflächenschutz	AK	Bruch in der Klebefuge
D	Bruch in der Dichtungsschicht		

Die Prüfbestimmungen (Ausrüstung und Vorgehensweise) zur Ermittlung der Haft- und Oberflächenzugfestigkeiten schreiben die DIN EN 1542<sup>125</sup> und die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING<sup>124</sup> Teil 3 Massivbau, Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen vor.

Die Vorgehensweise als auch die Prüfgeräte des Verfahrens zur Bestimmung der Haft- sowie der Oberflächenzugfestigkeit sind identisch. Allerdings sollte beachtet werden, dass die Ergebnisse zahlreichen Prüfeinflüssen (z.B. Bauteilsteifigkeit, Vorbohren der Prüffläche, Klimabedingungen) unterworfen sind und stark streuen. Es haben sich bisher nur wenige signifikante Einflüsse auf die Zugfestigkeiten herauskristallisiert. Häufig führen deshalb schwer einzuordnende Versuchsergebnisse zu Interpretationsschwierigkeiten. Offenbar erreichen die Haft- sowie die Oberflächenzugfestigkeiten bei weitem nicht die Trennschärfe und Aussagekraft der Druckfestigkeit, obwohl sie mit ihr zusammenhängen (Schulz 1984; Momber, Schulz 2006).

<sup>124</sup> ZTV-ING 2022/01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

<sup>125</sup> DIN EN 1542:1999-07, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse für die Abreißfestigkeit erfolgt über Mindestwerte gemäß Tabelle 3.4.6 der ZTV-ING<sup>126</sup> für Oberflächenschutzsysteme der Gruppe OS-B bis OS-D. So muss der kleinste Mittelwert mindestens 0,8 N/mm<sup>2</sup> und der kleinste Einzelwert mindestens 0,5 N/mm<sup>2</sup> betragen. Für Hydrophobierungen der Gruppe OS-A gibt es keine Vorgaben (ZTV-ING<sup>126</sup>).

### **Oberflächentemperatur**

Die Temperatur des Untergrundes beeinflusst den Erhärtungsverlauf und die Eigenschaften von ausgehärteten Beschichtungen stärker als die Temperatur der Umgebungsluft, weil der Wärmeaustausch unmittelbar durch Wärmeleitung erfolgt und kein Wärmeübergangswiderstand zu überwinden ist. Die Kontaktfläche ist im Verhältnis zum Volumen der Beschichtung sehr groß, so dass diese Schichten sehr schnell die Temperatur des Untergrundes annehmen. Niedrige Temperaturen verlängern die Erhärtungszeit, während höhere sie verkürzen, gleiches gilt für die Verarbeitbarkeitszeit. Die Temperatur wird in der Regel an der Oberfläche gemessen, speziell, wenn Oberflächenschutzsysteme aufgetragen werden sollen. Das kann durch Kontaktmessungen berührend oder mittels Strahlungsthermometer berührungslos erfolgen (Momber, Schulz 2006).

In den technischen Merkblättern der Hersteller für Anti-Graffiti-Systeme werden für die Verarbeitung Oberflächentemperaturen im Bereich von 5 °C bis 35 °C vorgegeben.

### **Oberflächenfeuchte**

Die Anforderungen an den Feuchtegehalt des Untergrundes richten sich nach dem aufzutragenden Belag bzw. Beschichtungsmaterial. Während es bei zementgebundenen Systemen darauf ankommt, dass in der Erhärtungsphase stets genügend Wasser zur Verfügung steht, ist eine hohe Untergrundfeuchte für die meisten kunststoffgebundenen Systeme schädlich. Mit Blasenbildungen und ungenügender Haftung am Untergrund muss gerechnet werden (Momber, Schulz 2006). Die zulässigen Feuchtegehalte, welche die Hersteller in ihren technischen Merkblättern angeben, nicht überschritten werden.

Es gibt verschiedene Verfahren zur Bestimmung des Feuchtegehalts (Abb. 30).

Zum einen die direkten Methoden, die eine Materialentnahme erfordern sowie die indirekten Methoden, die auf der Erfassung von Änderungen physikalischer Materialeigenschaften beruhen (Kruschwitz 2014). Die Vorgaben der Hersteller bezüglich der Oberflächenfeuchte können unter anderem präzise in Massenprozent (M.-%) oder unpräzise nach DafStb-Richtlinie<sup>127</sup> als trocken, feucht oder nass deklariert sein.

---

<sup>126</sup> ZTV-ING 2013/12: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen

<sup>127</sup> DafStb Betonbauteile:2001-10, Instandsetzungs-Richtlinie:2001-10; RL SIB:2001-10

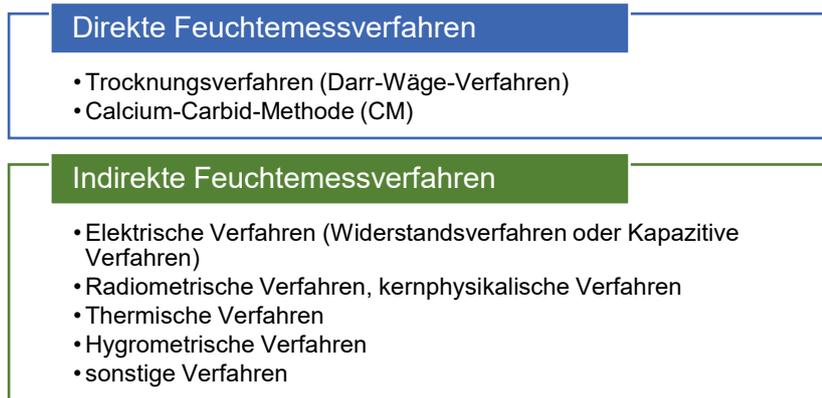


Abbildung 30: Mögliche Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenfeuchte

Bei Normalklima (20 °C, 65 % rel. Luftfeuchte) ist für Normalbetone von einem Feuchtegehalt von 1,5 – 2 Gew.-% auszugehen (Weber 2022).

Die ZTV-ING<sup>128</sup> schreibt die Feuchtemessung der Betonunterlage mit einem CM-Gerät vor.

### Benetzungswinkel

Die DIN EN 828<sup>129</sup> legt ein Verfahren zur Bestimmung der Benetzbarkeit auf einer festen Oberfläche durch Messung des Benetzungswinkels (auch Rand- oder Kontaktwinkel) einer Flüssigkeit fest, die die feste Oberfläche benetzt. Es kann zur Charakterisierung von Oberflächen eingesetzt werden, die zur Vorbehandlung, Beschichtung oder zum Kleben vorgesehen sind (DIN EN 828<sup>129</sup>).

Der Benetzungswinkel ist der Winkel, den ein Flüssigkeitstropfen auf der Oberfläche eines Festkörpers zu dieser Oberfläche bildet. Die Größe des Benetzungswinkels zwischen Flüssigkeit und Feststoff hängt von der Adhäsion (Wechselwirkung) zwischen den Substanzen an der Grenzfläche ab (Grenzflächenspannung). Je schwächer die Adhäsion, desto größer der Benetzungswinkel. Messungen des Benetzungswinkels geben unter anderem Aufschluss über die Benetzbarkeit einer Oberfläche. Diese kann hilfreich bei der Bewertung des Zustandes einer Oberfläche z.B. nach einer Vorbehandlung oder einem Reinigungsschritt sein (Lesnych, Malorny 2022).

Für die Messung von Benetzungswinkeln werden unter anderem Geräte zur Tropfenkonturanalyse eingesetzt. Dabei wird ein Tropfen einer Prüfflüssigkeit auf die zu testende Oberfläche abgesetzt, dieser wird mit Hilfe einer Kamera abgebildet. Eine spezielle Software misst anhand des Bildes die Kontur des Tropfens und die Basislinie des

<sup>128</sup> ZTV-ING 2022/01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

<sup>129</sup> DIN EN 828:2013-04, Klebstoffe - Benetzbarkeit - Bestimmung durch Messung des Kontaktwinkels und der freien Oberflächenenergie fester Oberflächen

Substrates. In einem weiteren Schritt kann dann mit Hilfe mathematischer Modelle der Benetzungswinkel oder auch die Oberflächenspannung berechnet werden. Benetzungswinkelmessungen können auf vergleichsweise einfache Art und Weise Benetzungsunterschiede zwischen verschiedenen Oberflächen nachweisen.<sup>130</sup>

Die Abbildung 31 zeigt, wie im Fall der Verwendung von Wasser als Prüfflüssigkeit die Oberfläche charakterisiert wird.

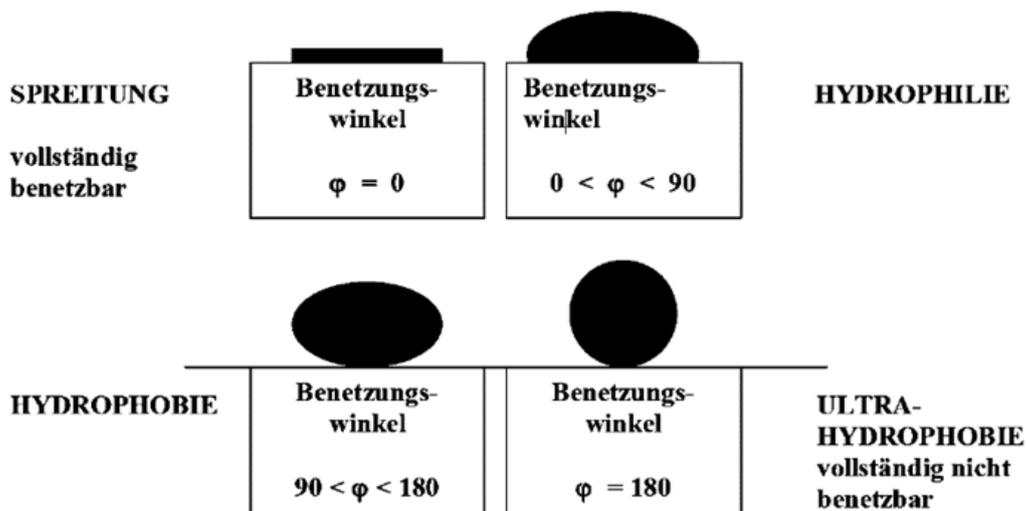


Abbildung 31: Einteilung der Oberflächen nach dem Benetzungswinkel (Lesnych, Malorny 2022)

Vollständig benetzbar (Spreitung) ist die Oberfläche bei einem Winkel von  $0^\circ$ , das Wasser wird komplett aufgenommen. Bei geringen Benetzungswinkeln ( $< 90^\circ$ ) wird die Oberfläche als hydrophil (wasserliebend) bezeichnet, hierbei ist die Adhäsion (die Wechselwirkung von Oberfläche und Wassertropfen) größer als die Kohäsion (Zusammenhalt) innerhalb des Prüfkörpers. Ein Winkel von exakt  $90^\circ$  bildet den Grenzwert, hier stehen die Adhäsion und die Kohäsion im Gleichgewicht, die Oberfläche ist noch benetzbar. Bei Winkeln über  $90^\circ$  gilt die Oberfläche als hydrophob (wasserabstoßend) und bei noch größeren Winkeln über  $180^\circ$  als superhydrophob. Hier dominiert die Kohäsion.<sup>131</sup>

Durch einen Oberflächenschutz kann der Benetzungswinkel einer Oberfläche verändert werden. Wird ein Untergrund mit einer Schutzbeschichtung versehen, reduziert diese die Wasseraufnahme und der Benetzungswinkel wird größer (Weber 2022).

<sup>130</sup> <https://www.nanoanalytics.com/de/auftragsanalytik/analysemethoden/kontaktwinkelmessungen.html>

<sup>131</sup> [https://www.wotech-technical-media.de/elearning-detail.php?post\\_id=8818&cat\\_id=](https://www.wotech-technical-media.de/elearning-detail.php?post_id=8818&cat_id=)

## Wasseraufnahmekoeffizient

Der Wasseraufnahmekoeffizient ( $w$ -Wert) beschreibt die von einem Probekörper je Flächeneinheit und Wurzel aus der Zeit aufgenommene Wassermenge. Der  $w$ -Wert ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und Porosität des Untergrundes. Er dient zur Beurteilung der Regenschutzwirkung einer Oberfläche bzw. Oberflächenschicht (z.B. Fassaden mit Außenputz, Beschichtung) und gibt an, wie viel Liter Wasser durch 1 m<sup>2</sup> Saugfläche hindurch in einer Stunde eingesaugt werden (Xella 2018).

Es ist z.B. im Fassadenbereich immer ein möglichst kleiner  $w$ -Wert anzustreben ( $w \rightarrow 0$ ). Ein kleiner und stabiler Wasserhaushalt kann sich nur dann einstellen, wenn der  $w$ -Wert klein wird und gegen Null geht. Allerdings bei gleichzeitig hoher Trocknungstendenz, also kleinen, gegen Null gehenden  $s_d$ -Werten (Weber 2007).

Die Berechnung erfolgt nach DIN EN ISO 15148<sup>132</sup>. Diese legt ein Verfahren zur Bestimmung des kurzfristigen Wasseraufnahmekoeffizienten durch teilweises Eintauchen ohne Temperaturgradienten fest. Sie dient zur Beurteilung der Intensität der Wasseraufnahme aufgrund von Kapillarkräften bei anhaltender Beregnung oder Schlagregen, auch im unüblichen Fall während einer ungeschützten Lagerung von Dämm- oder anderen Baustoffen auf der Baustelle oder während der Bauphase. Das Verfahren ist geeignet für die Prüfung von Putzen oder Beschichtungen in Verbindung mit dem Untergrund, auf den sie üblicherweise aufgebracht werden (DIN EN ISO 15148<sup>132</sup>).

Die Wasseraufnahme durch teilweises Eintauchen wird durch Messen der Massenänderung des Probekörpers bestimmt, dessen Unterseite über eine Zeitspanne von üblicherweise mindestens 24 h in Kontakt mit Wasser steht (DIN EN ISO 15148<sup>132</sup>).

Zur Bestimmung des  $w$ -Wertes werden dabei die Proben mit der Saugfläche nach unten in ein Wasserbad, dessen Wasserspiegel konstant auf  $5 \pm 2$  mm über der höchsten Stelle der Unterseite des Probekörpers gehalten wird, eingetaucht (Abb. 32). Sowohl vor dem Eintauchen als auch nach bestimmten Zeitintervallen (mind. 7-mal in 24 Stunden) werden die Proben gewogen und die Masse festgehalten (Fitz, Krus 2004).

Nach Gleichung 4 wird die Differenz zwischen der Masse bei jeder Wägung und der Ausgangsmasse, bezogen auf die wasseraufnehmende Fläche berechnet (DIN EN ISO 15148<sup>132</sup>).

---

<sup>132</sup> DIN EN ISO 15148:2018-12, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002 + Amd 1:2016)

$$\Delta m_t = (m_t - m_i)/A$$

Gleichung 4

$m_t$  - Masse zu Zeitpunkt  $t$  [kg]

$m_i$  - Ausgangsmasse [kg]

$A$  - Saugfläche [m<sup>2</sup>]

Der Wasseraufnahmekoeffizient  $W$  errechnet sich aus den  $\Delta m_t$  - Werten. Wird die flächenbezogene Wasseraufnahme über die Wurzel der Zeit in ein Koordinatensystem aufgetragen, ergibt sich eine Gerade. Die so gewonnenen Daten werden mit Hilfe der Gleichung 5 ausgewertet (DIN EN ISO 15148<sup>132</sup>):

$$W = (\Delta m_{t'}' - \Delta m_{0}')/\sqrt{t'}$$

Gleichung 5

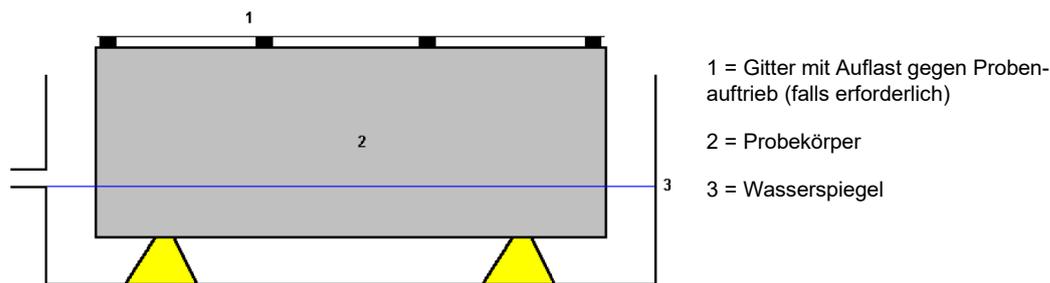


Abbildung 32: Bildhafte Darstellung zum Aufbau der  $w$ -Wert-Ermittlung (DIN EN ISO 15148:2018-12<sup>132</sup>)

Anhand des Wasseraufnahmekoeffizienten werden 4 Klassen von Baustoffen unterschieden (Wesche1996, DIN 4108-3<sup>133</sup>):

Klasse I:	saugend	$w > 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
Klasse II:	wasserhemmend	$w \leq 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
Klasse III:	wasserabweisend	$w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
Klasse IV:	wasserundurchlässig	$w \leq 0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$

Nach DIN EN 1062-3<sup>134</sup> werden Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich ebenfalls in 4 Klassen geteilt:

$W_0$	keine Anforderungen
$W_1$ (hoch)	Wasserundurchlässigkeit $> 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
$W_2$ (mittel)	Wasserundurchlässigkeit $> 0,1 \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
$W_3$ (niedrig)	Wasserundurchlässigkeit $\leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$

<sup>133</sup> DIN 4108-3: 2018-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

<sup>134</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

## Schichtdicke und Eindringtiefe

Als Schichtdicke wird der Abstand zwischen der Oberfläche der Beschichtung und der Oberfläche des Substrates bezeichnet (DIN EN ISO 2808<sup>135</sup>).

Nach ReGG III<sup>136</sup> ist für die Messung der Schichtdicke eines AGS mit dem Wirkprinzip einer Beschichtung in  $\mu\text{m}$  nach DIN EN ISO 2808<sup>135</sup> vorgegeben. Auf glatten Untergründen werden hier Schichtdicken  $< 80 \mu\text{m}$ , auf porösen Untergründen  $> 80 \mu\text{m}$  gefordert. Nach (Kupfer 2008) sollten die Schichtdicken bei Beschichtungen  $> 100 \mu\text{m}$  sein. Für Hydrophobierende AGS bzw. AGS als hydrophobierende Imprägnierungen werden Schichtdicken bis  $0,1 \text{ mm}$  ( $= 100 \mu\text{m}$ ) angegeben. Die Bewertung der Schichtdicke erfolgt immer über die getrocknete Schicht, auch Trockenschichtdicke genannt (Weber, 2022; Sachsenmaier-Wahl, 2018).

Für Hydrophobierungen und hydrophobierende Imprägnierungen werden statt der Schichtdicke bevorzugt Angaben zur Eindringtiefe gemacht. Die Eindringtiefe kann allerdings nicht zerstörungsfrei geprüft werden. Für die Ermittlung der Trockenschichtdicke [ $\mu\text{m}$ ] werden nach DIN EN ISO 2808<sup>135</sup> zerstörende (u.a. mechanisch und optisch) und nicht zerstörende (u.a. gravimetrisch, magnetisch, akustisch) Verfahren unterschieden. Für die Messung der Schichtdicke auf rauen Betonuntergründen, wie z.B. der gestrahlten Fassadenplatte (U3) oder der Betongehwegplatte (U5), weist die DIN EN ISO 2808<sup>135</sup> auf die Beeinflussung durch die Oberflächenrauheit für alle Verfahren hin. Die Ergebnisse werden demnach durch die Eigenschaften des Substrates und durch die Bauweise der Messeinrichtung beeinflusst. Es haben sich in der Praxis z.B. auf gestrahlten Untergründen große Streuungen beim Messen der Trockenrohddichte und eine schlechte Wiederholbarkeit ergeben (DIN EN ISO 2808<sup>135</sup>).

Auch nach Orłowsky (2012) fehlen verlässliche, zerstörungsfreie Prüfmethode zur Untersuchung von Schichtdicken, demnach soll keine kontinuierliche Überwachung von Veränderungen an definierten Messstellen möglich sein (Orłowsky 2012).

Die Hersteller der AGS geben in ihren Produkt-Merkblättern einen Regelverbrauch an, dieser richtet sich nach dem Saugverhalten und kann unter Umständen auch deutlich höher liegen. Der Bedarf wird im Allgemeinen in  $\text{ml pro m}^2$  angegeben. Aus dem Verbrauch ergibt sich die Schichtdicke/Eindringtiefe, welche je nach Untergrundstruktur unterschiedlich ausfallen kann. Für die Imprägnierungen (AGS1 und AGS2) hätte die Bestimmung der Eindringtiefe möglicherweise verlässliche Werte ergeben, da diese aber nicht zerstörungsfrei möglich ist, konnten nur wenige Einzelwerte bestimmt werden.

---

<sup>135</sup> DIN EN ISO 2808:2019-12, Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Schichtdicke

<sup>136</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti-prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

### **3.2.3 Rauheit**

#### **Oberflächengestalt**

Mit Formulierungen wie glatt, rau, grob, mittelrau und glatt lässt sich die Textur einer Betonoberfläche nicht derart eindeutig und erschöpfend charakterisieren, wie es für eine Leistungsbeschreibung (z.B. nach VOB<sup>137</sup>) notwendig wäre (Pörschmann 1990). Nachvollziehbare und möglichst auch verlässliche Kriterien für die Oberflächengestalt des Betons sind erforderlich, damit alle Beteiligten für die Oberflächenbearbeitung eines Bauteils oder Bauwerks die Charakteristik im gleichen Sinne verstehen und eine nachträgliche Beurteilung möglich ist. Die Anforderungen an das Aussehen von Bauteiloberflächen kann durch den Vergleich mit bestehenden Bauten oder dem Anfertigen von Musterstücken zugrunde gelegt werden (Pörschmann 1990; Momber, Schulz 2006).

#### **Oberflächenrauheit**

Die durch die Bearbeitungsverfahren bedingten regelmäßigen oder unregelmäßigen Unebenheiten werden in der DIN 4760<sup>138</sup> als Gestaltabweichungen bezeichnet. Je nach Art der Abweichung werden diese in 6 Ordnungen (Gruppen) zusammengefasst (Tab. 14). Dabei werden die Gestaltabweichungen 3. bis 5. Ordnung als Rauheit bezeichnet (Wittel, et al. 2013).

Die Oberflächenrauheit erfasst die geometrischen Unregelmäßigkeiten einer Oberfläche in relativ kleinen Abständen, die durch das Fertigungsverfahren und/oder andere Einflüsse verursacht werden (Szyminski 1993).

Werkseitig bearbeiteten Betonflächen soll die Oberflächenrauheit des Betons beispielsweise ein individuelles Aussehen verleihen, den Wasserabfluss sowie die Verschmutzungsneigung regulieren oder auch eine ausreichende Kontaktfläche (Adhäsionsfläche) und Verzahnungsmöglichkeit (Verbund) für Beschichtungen sicherstellen und dabei nur einen geringen Materialverbrauch hervorrufen. Für den Verbund mit Beschichtungen ist eine gewisse Rauheit des Untergrundes sogar erwünscht, weil sich dadurch die Kontaktfläche vergrößert und die Verbundfestigkeit zu nimmt (Szyminski 1993; Momber, Schulz 2006).

---

<sup>137</sup> VOB 2019/10: Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen, Teil A (DIN 1960), Teil B (DIN 1961), Teil C (ATV)

<sup>138</sup> DIN 4760:1982-06, Gestaltabweichungen; Begriffe, Ordnungssystem

Tabelle 14: Ordnungssystem der Gestaltabweichungen nach DIN 4760<sup>139</sup> (Wittel et al. 2013)

Gestaltabweichung (als Profilbild überhöht dargestellt)	Beispiele		
	für die Art der Abweichung	für die Entstehungsursache	
1. Ordnung: Formabweichung 	Unebenheit Unrundheit	Fehler in den Führungen der Werkzeugmaschine, Durchbiegung der Maschine oder des Werkstückes, falsche Einspannung des Werkstückes	
2. Ordnung: Welligkeit 	Wellen	Außermittige Einspannung oder Formfehler eines Fräasers, Schwingungen der Werkzeugmaschine oder des Werkzeuges	
3. Ordnung: 	Rauheit	Rillen	Form der Werkzeugschneide, Vorschub oder Zustellung des Werkzeuges
4. Ordnung: 		Riefen Schuppen Kuppen	Vorgang der Spannbildung (Reißspan, Scherspan, Aufbauschneide), Werkstoffverformung beim Sandstrahlen, Knospenbildung bei galvanischer Behandlung
5. Ordnung: nicht mehr in einfacher Weise bildlich darstellbar		Gefügestruktur	Kristallisationsvorgänge, Veränderung der Oberfläche durch chemische Einwirkungen (z.B. Beizen), Korrosionsvorgänge
6. Ordnung: nicht mehr in einfacher Weise bildlich darstellbar	Gitteraufbau des Werkstoffes	Physikalische und chemische Vorgänge im Aufbau der Materie, Spannungen und Gleitungen im Kristallgitter	
	<b>Überlagerung der Gestaltabweichungen 1. bis 4. Ordnung</b>		

Seit etwa fünf Jahrzehnten wird weltweit das Sandflächenverfahren (Abb. 33) eingesetzt, um eine Beurteilung der Rauheit von Betonoberflächen vorzunehmen. Dazu wird eine bestimmte Menge von feinem Sand bzw. Glasperlen kreisförmig verteilt, der Durchmesser ist zu bestimmen. Aus dem Volumen des verteilten Materials dividiert durch die bedeckte Fläche, ergibt sich die mittlere Rautiefe  $R_t$  (Schulz 2016).

Seit 2016 dürfen nach der DAfStb-Richtlinie Instandhaltung von Betonbauteilen<sup>140</sup> auch Lasermessverfahren (Abb. 34) für die Ermittlung der mittleren Rautiefe  $R_t$  eingesetzt werden.  $R_z$  steht für die gemittelte (maximale) Rauheit, der größten Höhe des Profils und wird angewandt, um die Oberflächentextur im Hinblick auf das Verbundverhalten zu bewerten. Über das Sandflächenverfahren ist eine Ermittlung der maximalen Rautiefe nicht möglich (Schulz 2017).

<sup>139</sup> DIN 4760:1982-06, Gestaltabweichungen; Begriffe, Ordnungssystem

<sup>140</sup> DAfStb-Richtlinie 2016/10: Instandhaltung von Betonbauteilen

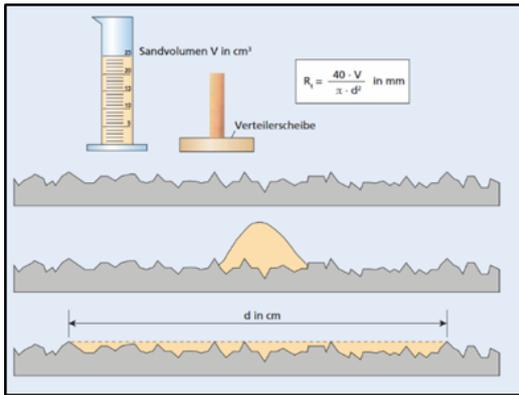


Abbildung 33: Darstellung des Sandflächenverfahrens (Schulz 2016)

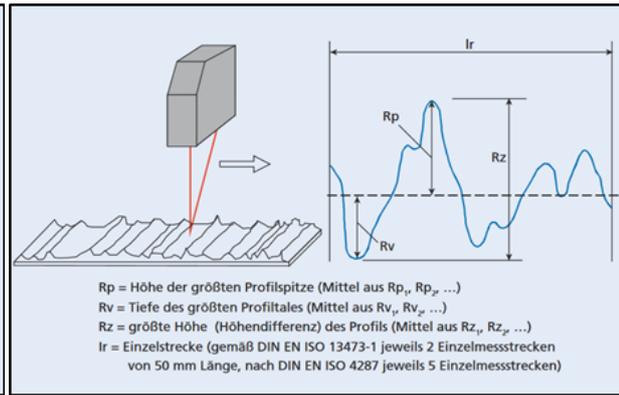


Abbildung 34: Lasermessverfahren: Bestimmung relevanter Werte der Oberflächentextur (Schulz 2016)

Für die Bestimmung von  $R_z$  werden das niedrigste „Tal“ (Peaktiefe) und der höchste „Berg“ (Peakhöhe) einer Messtrecke aufgenommen. Die Höhendifferenz der Peaks (das Delta) entsprechen den Kennzahlen  $R_{z1}$  bis  $R_{z5}$ . Aus mehreren Einzelmesstrecken ( $l_m = 5 \cdot l_e$ ) wird dann der arithmetische Mittelwert bestimmt (Abb. 35).<sup>141</sup> Der Mittelwert entspricht der gemittelten Rautiefe  $R_z$  und wird immer in  $\mu\text{m}$  angegeben (Jäntschi, von Laar, Bombeck 2021).

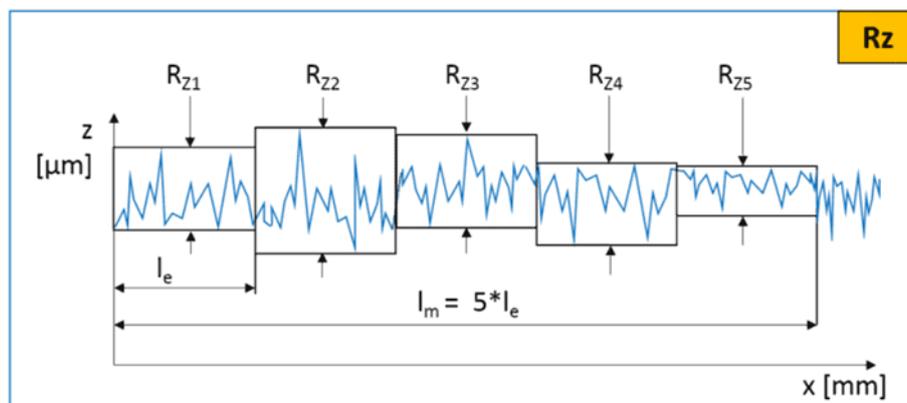


Abbildung 35: Darstellung der Ermittlung der gemittelten Rautiefe  $R_z$ <sup>141</sup>

Nach ReGG III<sup>142</sup> wird die Bestimmung der Oberflächenbeschaffenheit mit Hilfe eines Laser-Tastschnittverfahrens empfohlen. Dadurch sollen u.a. Veränderungen in der Oberfläche von ungeschützten Betonuntergründen, die einer Graffitiernung ausgesetzt sind, erfasst werden. Gleiches gilt für Änderungen in der Oberflächenbeschaffenheit, welche durch den Auftrag eines AGS oder durch die Graffitiernung

<sup>141</sup> <https://www.precifast.de/oberflaechenrauheit-oberflaechenangabe-zeichnungen/>

von einem mit AGS behandelten Untergrund verursacht werden. Für die Auswertung ist gemäß ReGG III<sup>142</sup> der Rauheitsparameter  $R_z$  zu bevorzugen (ReGG III<sup>142</sup>).

### 3.3 Bewitterungs- und Reinigungszyklen

Über einen Zeitraum von 2,5 Jahren konnten die 180 Prüfkörper acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen unterzogen werden. Jeder Zyklus begann mit der Befestigung aller Proben an dem Bewitterungsstand (Dach Haus 7) der Hochschule Wismar (Abb. 36).

Um eine maximale Bewitterungsintensität zu erreichen, wurden die Prüfkörper abwechselnd nach Norden oder Süden ausgerichtet. Beginnend mit der Nord-Ausrichtung im ersten Zyklus und endend mit der Süd-Ausrichtung im achten Zyklus.



Abbildung 36: Bewitterungsstand der Hochschule Wismar, Haus 7 (Bildausschnitt: Google Maps)

Die Bewitterungszeit betrug je nach Zyklus zwischen 10 und 16 Wochen. Danach konnte für die unbeschichteten und beschichteten Nullproben die Bestimmung der „Parameter nach Bewitterung“ beginnen.

Für die beschichteten Prüfkörper, die für die Prüfung der Funktionalität bestimmt waren, erfolgte nach der Bewitterung zunächst der Farbauftrag. Nach 24 Stunden wurden die Oberflächen gereinigt. Erst nach einer Trocknung von weiteren 24 h bei einer Raumtemperatur von  $20 \pm 1,5$  °C konnte mit der Bestimmung der Prüfparameter begonnen werden. Hierfür wurden zwei Wochen benötigt, danach erfolgte erneut die Freigabe der Prüfkörper zur Freibewitterung.

Aufgrund des Prüfungsumfanges und der zeitintensiven Reinigung, wurden die Prüfkörper in Gruppen bearbeitet. Diese unterteilten sich in die unbeschichteten und beschichteten Nullproben der Untergründe U1 bis U3 sowie U4 bis U6 und weiter in das jeweilige AGS mit allen Untergründen. So konnte jeder Durchgang an 30 Proben durchgeführt werden.

---

<sup>142</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffiti-prophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

Als Referenzprüfkörper für die visuelle Betrachtung und Funktionalitätsprüfung wurden dennoch immer die Originalprüfkörper (OP) und beschichteten Nullproben mit einbezogen.

### **3.4 Darstellung der Prüfmethodik in 8 Stufen**

Die Prüfmethodik in acht Stufen konnte vollumfänglich für die Betonproben, die mit einem AGS beschichtet und dem Farbauftrag sowie der Reinigung ausgesetzt wurden, angewandt werden. Dabei wurden die Stufen I bis III nur einmalig durchlaufen. Die Durchführung der Stufen IV bis VII erfolgte wiederkehrend in regelmäßigen Zyklen und die VIII. Stufe bildete den Abschluss aller Untersuchungen (Abb. 37).

	Stufe	Bezeichnung und Prüfungen	Probenmenge	erfasste Messwerte
Prüfungen an den Originalprüfkörpern (einmalig)	I	Prüfkörper im Originalzustand → Visuelle Betrachtung → Kubatur und Rohdichte → Glanz und Helligkeit → Benetzungswinkel → Rauheit → Wasseraufnahmekoeffizient → Druckfestigkeit	196	6.408
Applikation der Anti-Graffiti-Systeme (einmalig)	II	Herstellung der Prüfflächen → Oberflächenreinigung → Oberflächentemperatur → Oberflächenfeuchte → Applikation der AGS	120	720
Prüfungen an den Verbundkörpern (einmalig)	III	Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung → Schichtdicke → Visuelle Betrachtung → Glanz und Helligkeit → Benetzungswinkel → Rauheit → Wasseraufnahmekoeffizient → Abreißfestigkeit	192	4.053
Bewitterungs- und Reinigungszyklen Basis- und Stresstest (7-mal wiederholend)	IV	natürliche Freibewitterung	180	
	V	Farbauftrag	120	
	VI	Reinigung	120	
	VII	Nach Bewitterung und Reinigung → Schichtdicke → Visuelle Betrachtung → Glanz und Helligkeit → Benetzungswinkel → Rauheit → Wasseraufnahmekoeffizient	180	32.535
Abschlussprüfungen (einmalig)	VIII	Nach 8 Bewitterungs- und Reinigungszyklen → Visuelle Betrachtung → Glanz und Helligkeit → Benetzungswinkel → Rauheit → Wasseraufnahmekoeffizient → Abreißfestigkeit	300	4.536

Abbildung 37: Entwickelte Untersuchungsmethodik in acht Stufen

Für die unbeschichteten Nullproben (U-N) waren nicht alle 8 Stufen von Bedeutung, sie durchliefen einmalig die Stufen I und VIII sowie regelmäßig die Stufen IV und VII, wobei hier lediglich der Einfluss der Bewitterung zu betrachten war. Bei den AGS-beschichteten Nullproben (U-N-A), waren anfangs die Stufen I bis III durchzuführen und wiederkehrend ebenfalls die Stufen IV und VII sowie abschließend die Stufe VIII. Auch die unbeschichteten Prüfkörper die einem Farbauftrag und der Reinigung (U-N-R) ausgesetzt

wurden, absolvieren zunächst die Stufe I, abschließend die Stufe VIII und regelmäßig alle Stufen IV bis VII. Nur die beschichteten Prüfkörper (U-A-R), die für den Farbauftrag und die Reinigung vorgesehen waren, absolvierten alle Stufen. Dabei die Stufen I bis III sowie VIII einmalig, die Stufen IV bis VII wiederholend (siebenmalig).

Die Tabelle 15 zeigt zusammenfassend die Zuordnung der absolvierten Stufen und deren Häufigkeit für die jeweiligen Prüfkörper.

Tabelle 15: Zuordnung der absolvierten Stufen nach Prüfkörperart

Prüfkörper	Stufe							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
U-N	1x	-	-	7x	-	-	7x	1x
U-N-A	1x	1x	1x	7x	-	-	7x	1x
U-N-R	1x	-	-	7x	7x	7x	7x	1x
U-A-R	1x	1x	1x	7x	7x	7x	7x	1x

In der Tabelle 16 sind für alle acht Stufen und Prüfkörper die Angaben zu Prüfungen und Prüfmethode zugeordnet. Die ermittelte Untersuchungsmethodik entspricht der tatsächlich durchgeführten Abfolge dieser Forschungsarbeit und wird für die Beschreibung der Durchführung beibehalten.

Tabelle 16: Anwendungsbereich der acht Stufen und deren Prüfungen für alle Untergründe

Stufe	Prüfungen / Methoden	Anwendung für			
		Nullproben (NP)		Prüfuntergrund	
		ohne AGS	mit AGS	ohne AGS	mit AGS
				mit Reinigung	
I	Visuelle Betrachtung, Kubatur und Rohdichte, Glanz, Helligkeit, Benetzungswinkel, Rauheit, Wasseraufnahmekoeffizient, Druckfestigkeit	ja	ja	ja	ja
II	Oberflächenreinigung, Oberflächentemperatur, Oberflächenfeuchte, Applikation der AGS	nein	ja	nein	ja
III	Schichtdicke, Visuelle Betrachtung, Glanz, Helligkeit, Benetzungswinkel, Rauheit, Wasseraufnahmekoeffizient, Abreißfestigkeit	nein	ja	nein	ja
IV	natürliche Freibewitterung	ja	ja	ja	ja
V	Farbauftrag	nein	nein	ja	ja
VI	Reinigung	nein	nein	ja	ja
VII	Schichtdicke, Visuelle Betrachtung, Glanz, Helligkeit, Benetzungswinkel, Rauheit, Wasseraufnahmekoeffizient	ja	ja	ja	ja
VIII	Visuelle Betrachtung, Glanz, Helligkeit, Benetzungswinkel, Rauheit, Wasseraufnahmekoeffizient, Abreißfestigkeit	ja	ja	ja	ja

## 4 Einsatz der entwickelten Methodik

### 4.1 Durchführung am Beispiel von Untergrund U1

Am Untergrund U1, der Fassadenplatte aus hochfestem Beton in schalungsglatte Ausführung, wird im Folgenden die Durchführung der erarbeiteten Prüfmethode in acht

Stufen dargelegt. Der Untergrund U1 steht hier stellvertretend für alle Untergründe, eventuelle Abweichungen werden direkt in der entsprechenden Phase erläutert.

#### 4.1.1 Stufe I: Prüfkörper im Originalzustand

Um vergleichende Ergebnisse für diese Arbeit zu erhalten, war es notwendig, zunächst die ausgewählten Prüfkörper in ihrem Originalzustand zu bewerten.

Dafür wurden die Parameter Visuelle Betrachtung, Kubatur und Rohdichte, Glanz und Helligkeit, Benetzungswinkel, Rauheit, Wasseraufnahmekoeffizient sowie die Druckfestigkeit ausgewählt. Die Auswahl der Prüfparameter erfolgte aus Erkenntnissen gültiger Normen und Richtlinien sowie aus den Vorversuchen. So konnte eine Charakterisierung von 180 Prüfkörpern (30 je Untergrund) vorgenommen werden. Insgesamt 6408 Einzelwerte wurden in dieser Stufe erfasst und ausgewertet (Tab. 17).

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit

Tabelle 17: Zusammensetzung der ermittelten Einzelwerte der Prüfkörper im Originalzustand

Parameter	Visuelle Betrachtung	Kubatur Rohdichte	Glanz	Helligkeit	Benetzungswinkel	Rauheit	Wasseraufnahmekoeffizient	Druckfestigkeit
EW	180	1080	900	540	1080	540	1980	108
<b>Einzelmesswerte Originalprüfkörper: 6408</b>								

#### Visuelle Betrachtung

Allen Messungen voran erfolgte die visuelle Betrachtung nach Augenschein, diese wurde für alle Betonprüfkörper in einer Verbalbeschreibung festgehalten. Die Farbgebung, die Oberflächenbeschaffenheit (Bearbeitung, Porigkeit), vorhandene Fehlstellen oder Auffälligkeiten waren dabei zu berücksichtigen.

Die Betrachtung der Originalprüfkörper ist keine normative Vorgabe, sie diene jedoch der Beurteilung zu Veränderungen durch Bewitterung, Auftrag eines AGS oder der Reinigung.

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit

#### Kubatur und Rohdichte

In den Laboren der Hochschule Wismar wurden zunächst alle Probekörper vermessen (L x B x H) und anschließend in einem belüfteten Wärmeschrank bei  $105 \pm 5 \text{ °C}$  getrocknet, bis sich die Masse innerhalb von 24 h um weniger als 0,2 % änderte.

Die endgültige Bestimmung der Masse für den Untergrund U1 erfolgte nach weiterer 3-monatiger Lagerung bei Raumtemperaturen von gleichbleibend  $20 \pm 1,5 \text{ °C}$ . Die Bestimmung des Volumens resultierte aus den Berechnungen der Ist-Maßen.

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit

Gemäß DIN EN 12390-7<sup>143</sup> ist die Rohdichte nach *Gleichung 1 Seite 57* ermittelt worden. Anschließend erfolgte für alle Proben die Bestimmung des Glanzes, der Helligkeit, der Oberflächenrauheit, des Benetzungswinkels und des Wasseraufnahmekoeffizienten vorgenommen.

### Glanz und Helligkeit

Die Glanzmessungen an den Prüfkörpern wurden mit einem auf die Prüfkörper-Oberfläche aufgesetzten Reflektometer (Abb. 38) durchgeführt.

An den Originalprüfkörpern konnten bei drei Untergründen Glanzgrade unter 10 GU, bei einem Untergrund knapp über 10 GU und bei zwei Untergründen etwa 25 GU gemessen werden, aus diesem Grund wurden alle Messungen gleichbleibend mit einer eingestellten Messgeometrie von 85° durchgeführt. Aus jeweils fünf Einzelmesswerten erfolgte die Berechnung des mittleren Glanzes der Originalprüfkörper.

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit



Abbildung 38: Glanzmessung mit dem Reflektometer auf dem Untergrund U1



Abbildung 39: Helligkeitsmessung mit dem Chroma Meter CR – 410 auf dem Untergrund U1

Die Helligkeit der Betonoberflächen wurde über die CIELab-Methode (s.a. Abschnitt 3.2.1) unter Einsatz eines Chroma Meter CR – 410 (Minolta Konica), mit einer Messgenauigkeit  $s < 0,07$ , bestimmt (Abb. 39). Da alle Prüfkörper dem Farbspektrum zwischen schwarz und weiß zuzuordnen sind, war ausschließlich die Bestimmung der Werte der Helligkeitsachse  $L^*$  notwendig. Hier wurden aus drei Einzelwerten die Mittelwerte errechnet.

<sup>143</sup> DIN EN 12390-7:2021-01, Prüfung von Festbeton - Teil 7: Rohdichte von Festbeton

## Benetzungswinkel

Der Benetzungswinkel (Kontaktwinkel) am Prüfkörper im Originalzustand wurde mit einem DataPhysics OCA-Messgerät (Abb. 40) und dazugehöriger Software zur Messung und Darstellung des statischen Kontaktwinkels ermittelt.

Es erfolgten drei Messungen, wobei aus jedem Tropfen jeweils der linke und der rechte Kontaktwinkel (Abb. 42) gemessen wurde, aus denen der gemittelte Benetzungswinkel zu berechnen war. Um für folgende Messungen gleichbleibende Messpunkte zu gewährleisten, wurde eine Markierungsfolie (Abb. 41) angefertigt.

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit

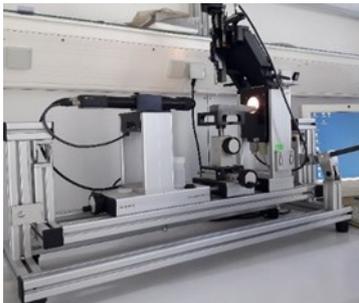


Abbildung 40: DataPhysics OCA-Messgerät zur Bestimmung des Kontaktwinkels

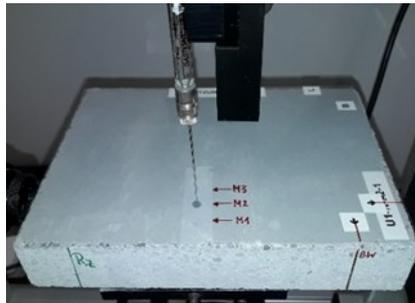


Abbildung 41: Markierungsfolie und Messung des Kontaktwinkels am Untergrund U1

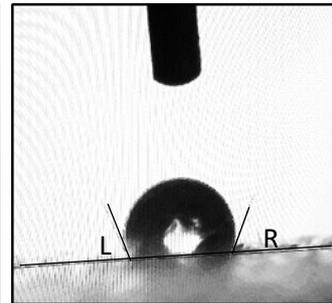


Abbildung 42: Darstellung rechter (R) und linker (L) Kontaktwinkel

Über den gemittelten Benetzungswinkel konnten die Untergründe im Originalzustand u.a. als hydrophil, hydrophob oder superhydrophob eingestuft werden.

## Rauheit

Aufgrund der umfangreichen Messdaten wurde ausschließlich die gemittelte Rauheit  $R_z$  aufgenommen und herangezogen. Sie konnte mit einem Keyence Color 3D Laser Scanning Microscope VK 9700 und dazugehöriger Software gemessen und ausgewertet werden.

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit

Es handelt sich hierbei um ein berührungsloses Tastschnitt-Verfahren mit einer hochpräzisen Auflösung von  $0,001 \mu\text{m}$ . Die Software ermittelt die Kennzahlen  $R_{z1}$  bis  $R_{z5}$  aus fünf Einzelmessstrecken ( $l_m = 5 \cdot l_e$ ) eigenständig und bestimmt daraus das arithmetische Mittel. Der Wert entspricht der gemittelten Rautiefe  $R_z$ .

Es wurden insgesamt 3  $R_z$ -Werte je Untergrund und Messung aufgenommen.



Abbildung 43: Keyence 3D Laser Scanning Microscope

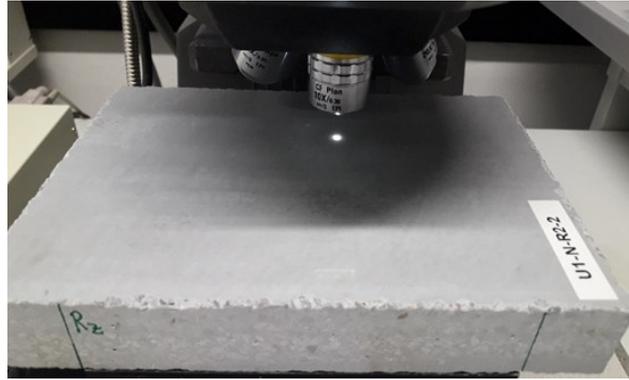


Abbildung 44: Messung der mittleren Rautiefe  $R_z$  am Untergrund U1

Die Abbildungen 43 und 44 zeigen das verwendete Mikroskop und die Durchführung eines Scans am Untergrund U1. Um für weitere Messungen den genauen Messpunkt festzuhalten, wurden alle Prüfkörper mit 2 Hilfslinien, in der Abbildung 44 in grün erkennbar, markiert.

### Wasseraufnahmekoeffizient

Die Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten erfolgte in Anlehnung an die DIN EN ISO 15148<sup>144</sup>. Zunächst wurden die Seiten der Probekörper mit einer wasser- und dampfdichten Abdichtung (Spezialbeschichtung auf Siloxan-Hybridbasis mit starker Anti-Haftwirkung) versehen. Diese reagierte weder chemisch mit den Prüfkörpern noch drang sie in die Poren des Bauproduktes ein. Von allen Prüfkörpern wurde die Anfangsmasse bestimmt, bevor sie in den Wasserbehälter auf Punktauflagen (Abstandhalter zwischen Unterseite Prüfkörper und Behälterboden) gelegt wurden (Abb. 45).

Prüfkörper im Originalzustand
Visuelle Betrachtung
Kubatur und Rohdichte
Glanz und Helligkeit
Benetzungswinkel
Rauheit
Wasseraufnahmekoeffizient
Druckfestigkeit

Da das Eigengewicht der Prüfkörper einen Probenauftrieb ausschloss, war kein Gitter mit Auflast erforderlich. Der Wasserspiegel wurde, wie in Abbildung 46 dargestellt, konstant auf  $5 \pm 2$  mm über der höchsten Stelle der Unterseite des Probekörpers gehalten.

Die DIN EN ISO 15148<sup>144</sup> schreibt vor, dass erstmalig nach 5 min die Prüfkörper aus dem Wasser zu nehmen, feucht abzutupfen und zu wiegen sind. Der Vorgang Eintauchen, Herausnehmen, Abtupfen und Wägen wurde für alle Prüfkörper in folgenden Zeitabständen wiederholt: 10 min, 30 min, 60 min, 2 h, 4 h, 8 h, 10 h, 12 h und 24 h.

<sup>144</sup> DIN EN ISO 15148:2018-12, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002 + Amd 1:2016)



Abbildung 45: Wasserbehälter mit Prüfkörpern zur Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten



Abbildung 46: Prüfkörper in konstantem Wasserspiegel

Die so gewonnenen Daten konnten mit Hilfe der *Gleichung 4 Seite 65* ausgewertet und der Wasseraufnahmekoeffizient  $W$  nach *Gleichung 5 Seite 65* ermittelt werden. Anschließend wurden sie der jeweiligen Klasse, saugend, wasserhemmend, wasserabweisend bzw. wasserundurchlässig nach (DIN 4108-3<sup>145</sup>) zugeordnet. Nach Auftrag der AGS erfolgte die Klassifizierung nach DIN EN 1062-3<sup>146</sup> in die Klassen  $W_0$ ,  $W_1$ ,  $W_2$  und  $W_3$ .

### Druckfestigkeit

Die Ermittlung der Bruchlast, welche zur Bestimmung der Druckfestigkeit notwendig war, erfolgte an Betonwürfeln unter Anwendung des vollhydraulischen Form+Test Prüfsystems: Formmessplatz Mega 10-300-10 DM1-S mit Regelelektronik. Die Messgenauigkeit dieses Systems erfüllt nach DIN EN ISO 7500-1<sup>147</sup> die Güteklasse 1, was einer zu erwartenden Messunsicherheit von  $> 0,12\%$  entspricht. Die maximale Drucklast betrug 2,4 N/s.

Es wurden aus zusätzlichen Prüfkörpern je Untergrund 3 Würfel geschnitten. Da es sich um eine Prüfung mit Zerstörung der Prüfkörper handelt, waren diese Proben verloren.

Aufgrund der vorgegebenen Produktionsmaße, war es nicht möglich, die geforderten Nennmaße der Würfelproben (Kantenlänge 10, 15, 20, 25 bzw. 30 cm) nach DIN EN 12390-1<sup>148</sup> bzw. DIN EN 12390-2<sup>149</sup> einzuhalten. Deshalb erfolgt die Prüfung der Druck-

Prüfkörper im Originalzustand	
Visuelle Betrachtung	
Kubatur und Rohdichte	
Glanz und Helligkeit	
Benetzungswinkel	
Rauheit	
Wasseraufnahmekoeffizient	
Druckfestigkeit	

<sup>145</sup> DIN 4108-3:2018-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

<sup>146</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

<sup>147</sup> DIN EN ISO 7500-1:2018-06, Metallische Werkstoffe - Kalibrierung und Überprüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen - Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen - Kalibrierung und Überprüfung der Kraftmesseinrichtung (ISO 7500-1:2018)

<sup>148</sup> DIN EN 12390-1:2021-09, Prüfung von Festbeton - Teil 1: Form, Maße und andere Anforderungen für Probekörper und Formen

<sup>149</sup> DIN EN 12390-2:2019-10, Prüfung von Festbeton - Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen

festigkeit in Anlehnung an die DIN EN 1015-11<sup>150</sup> mit einer Prüffläche von etwa 40 x 40 mm.

Für die Ermittlung der Druckfestigkeit wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen (MW ± s) der Längen (45,96 ± 2,07), der Breiten (46,42 ± 2,04), der Höhen (38,59 ± 9,26) in mm und die Masse aller Würfelprüfkörper in g festgehalten (Anhang 1.1, S. 203). Der Untergrund U6, die geschalte Betonplatte, wich in ihrer Höhe aufgrund der Herstellung als 2 cm starke Prüfplatte von den Maßen ab und führte dadurch zu einer höheren Standardabweichung.

In der Abbildung 47 sind die zugeschnittenen Betonwürfel des Untergrundes U2 zu erkennen, diese wurden unter Druck bis zum Bruch belastet (Abb. 48).



Abbildung 47: Würfelprüfkörper U2



Abbildung 48: Druckbelastung

Nach Ermittlung der Bruchlast konnte über die Formel  $f_c = F/A_c$  die Druckfestigkeit errechnet werden. Von allen Untergründen wurden drei Festigkeiten ermittelt und daraus der Mittelwert gebildet.

#### 4.1.2 Stufe II: Herstellung der Prüfflächen

Nach Bestimmung der festgelegten Parameter aller 180 Originalproben konnte der Auftrag der AGS erfolgen. Insgesamt 120 Proben wurden nach Herstellerangaben mit einem AGS beschichtet.

II	Herstellung der Prüfflächen
	Oberflächenreinigung Oberflächentemperatur Oberflächenfeuchte Applikation der AGS

Zunächst erfolgte die Reinigung der 120 Prüfkörper, dann die Bestimmung der Oberflächentemperatur und -feuchte und abschließend die Applikation der vier AGS. Insgesamt 720 Einzelwerte (EW) an 120 Proben wurden ermittelt (Tab. 18).

Tabelle 18: Zusammensetzung der ermittelten Einzelwerte zur Herstellung der Prüfkörper

Parameter	Reinigung	Oberflächen		Applikation AGS
		-temperatur	-feuchte	
Stück bzw. EW	120	360	360	120
<b>Einzelmesswerte - Herstellung der Prüfflächen: 720 an 120 Prüfkörpern</b>				

<sup>150</sup> DIN EN 1015-11:2020-01, Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel

## Oberflächenreinigung

Vor Auftrag der AGS wurden die Oberflächen von den zu beschichtenden Proben mit einem feuchten Tuch und einem weichen Handbesen gereinigt, sechs Stunden getrocknet und erst anschließend die Oberflächentemperatur und -feuchte ermittelt.

II	Herstellung der Prüfflächen
	Oberflächenreinigung
	Oberflächentemperatur
	Oberflächenfeuchte
	Applikation der AGS

## Oberflächentemperatur

Die Oberflächentemperatur der Betonprüfkörper konnte mit dem Temperaturmessgerät testo 110 (Abb. 49) bestimmt werden.

Die Messeinheit besteht aus einem Fühler (Fühlerrohr mit Sensor), einer Anschlussleitung und einem Messgerät. Das Fühlerrohr wird auf den Untergrund gehalten, der Sensor setzt den physikalischen Messwert in ein elektrisches Signal um. Über eine Anschlussleitung sind das Messgerät und der Fühler (Sensor) verbunden, dadurch werden Fühlersignale in Anzeigenwerte umgewandelt. Der Messbereich liegt zwischen - 50 bis + 150 °C.<sup>151</sup>

II	Herstellung der Prüfflächen
	Oberflächenreinigung
	Oberflächentemperatur
	Oberflächenfeuchte
	Applikation der AGS

Nach (Momber, Schulz, 2006) wird für diese Temperaturmessung für glatte Oberflächen eine Wartezeit bis zur Ablesung von 3, für raue Oberflächen von 5 Minuten empfohlen, diese Zeiten wurden berücksichtigt. Die Messgenauigkeit wird vom Hersteller mit  $\pm 0,2$  °C (- 20 bis + 80 °C) angegeben.

Nach (Momber, Schulz, 2006) wird für diese Temperaturmessung für glatte Oberflächen eine Wartezeit bis zur Ablesung von 3, für raue Oberflächen von 5 Minuten empfohlen, diese Zeiten wurden berücksichtigt. Die Messgenauigkeit wird vom Hersteller mit  $\pm 0,2$  °C (- 20 bis + 80 °C) angegeben.

## Auswertung zur Durchführung

Für 120 Untergründe ( $n_U = 20$ ), welche später mit einem AGS beschichtet werden, konnten aus 360 Einzelmesswerten (Anhang 1.2, S. 204) die mittleren Temperaturen berechnet werden. Die Tabelle 19 fasst die Anforderungen der AGS-Hersteller gemäß den technischen Merkblättern und die gemessenen Mittelwerte zusammen.

Tabelle 19: Ermittelte, mittlere Oberflächentemperatur und Anforderungen der Hersteller

AGS	AGS1	AGS2	AGS3	AGS4
Mittlere Oberflächentemperatur (gemessen)	+19,99 bis +20,34°C			
Anforderungen techn. Merkblätter	+5 bis +25°C	mind. +5°C	+10 bis +35°C	+5 bis +30°C

Die verlangten Voraussetzungen für die Applikation der Anti-Graffiti-Systeme konnten die Oberflächentemperaturen von + 19,99 bis + 20,34 °C erfüllen.

<sup>151</sup> <https://www.testo.com/de-DE/testo-110/p/0560-1108>

## Oberflächenfeuchte

Die Messung der Oberflächenfeuchte erfolgte mit der GANN Hydromette RTU 600 (Abb. 50). Es wird für die zerstörungsfreie Feuchtigkeitsmessung an Baustoffen mit Tiefensonden nach dem Widerstands-Messprinzip eingesetzt.

II	Herstellung der Prüfflächen
	Oberflächenreinigung
	Oberflächentemperatur
	Oberflächenfeuchte
	Applikation der AGS



Abbildung 49: Bestimmung der Oberflächentemperatur

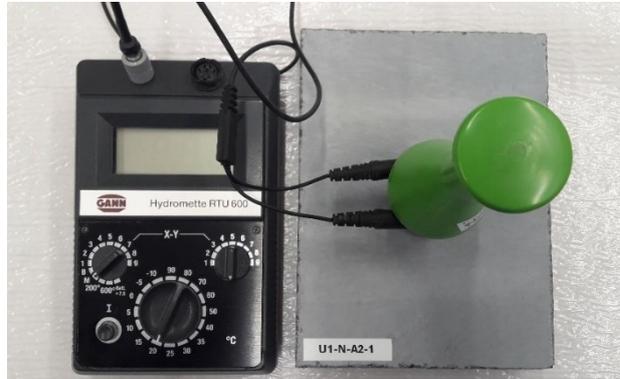


Abbildung 50: Bestimmung der Oberflächenfeuchte

Als Aufsatz für die Messung diente eine aktive Sonde mit integrierter Elektronik, die speziell für die Erfassung der Oberflächenfeuchte von Beton entwickelt wurde. Das Handgerät gibt die Werte direkt in Gewichtsprozent (Gew.-%) aus, es bedarf keiner Umrechnung. Besonders geeignet ist es für die Messung vor Auftragen einer Beschichtung oder vor dem Aufbringen von Klebstoffen. Mit  $\pm 3\%$  wird die Messgenauigkeit angegeben (GANN, 2017). Für die Oberflächenfeuchte sowie für die Oberflächentemperatur wurden jeweils 360 Einzelwerte, 3 je Prüfkörper, aufgenommen. Daraus konnten die mittlere Oberflächentemperatur sowie -feuchte berechnet werden.

### Auswertung zur Durchführung

Für die Berechnung der mittleren Oberflächenfeuchte wurden ebenfalls 360 Einzelwerte von 120 Prüfkörpern ( $n_U = 20$ ) erfasst (Anhang S. 205).

Die Tabelle 20 gibt die mittleren Ergebnisse für die Oberflächenfeuchte aller Untergründe sowie die Anforderungen der Hersteller an.

Tabelle 20: Oberflächenfeuchte, Anforderungen und ermittelte Werte

AGS	AGS1	AGS2	AGS3	AGS4
Mittlere Oberflächenfeuchtigkeit (gemessen)	0,00 – 0,10 Gew.-%			
Anforderungen technischen Merkblätter	max. 4 Gew.-%	mindestens handtrocken	trocken, max. 5 Gew.-%	trocken

Aufgrund der Trocknung im Wärmeschrank bei  $\pm 105^\circ\text{C}$  und weiterer 3-monatiger Lagerung bei Raumtemperaturen von gleichbleibend  $20,2^\circ\text{C} \pm 0,2^\circ\text{C}$  konnten alle Proben

als trocken eingestuft werden. Somit wurden mit einer Oberflächenfeuchte von 0,00 – 0,10 Gew.-% die Herstellerangaben erfüllt und anschließend die Applikation der AGS durchgeführt.

## Applikation der Anti-Graffiti-Systeme

### AGS1 – Hydrophobierende Imprägnierung

Das AGS1 wurde im Rollverfahren (Kreuzgang) auf die hochfeste, schalungsglatte, hellgraue Fassadenplatte U1 eingearbeitet.

Durch die cremige Konsistenz ließ sich das Produkt auf allen Untergründen einfach und gleichmäßig mit einer Langflorwalze (Abb. 51) aufbringen. Direkt nach dem Auftrag konnten die Untergründe als nass glänzend wahrgenommen werden (Abb. 52).

II	Herstellung der Prüfflächen
	Oberflächenreinigung
	Oberflächentemperatur
	Oberflächenfeuchte
	Applikation der AGS

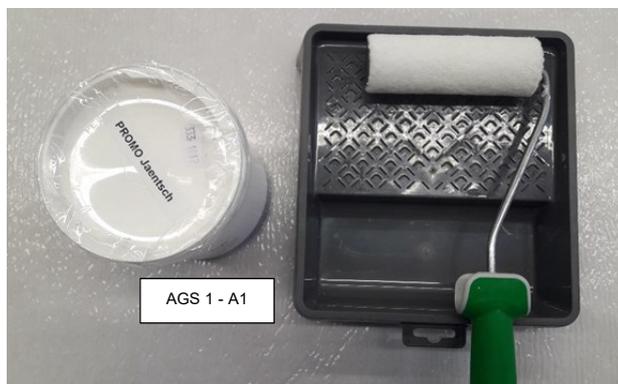


Abbildung 51: AGS 1 - Auftrag mit Walze



Abbildung 52: U1 mit AGS 1

Das vollständige Abtrocknen der behandelten Baustoffoberfläche dauerte, je nach Temperatur und Saugfähigkeit, mehrere Stunden bzw. Tage. Nach 5 Tagen konnte bei allen Proben von einer vollständigen Abtrocknung ausgegangen werden. Optische Beeinträchtigungen wurden nach der Abtrocknung bei keinem Untergrund festgestellt.

### AGS2 - Hydrophobierende Imprägnierung

Der Auftrag erfolgte mit einer Kurzflorrolle im Kreuzgang in zwei Arbeitsgängen in zeitlich kurzer Abfolge, wobei immer nass in feucht gearbeitet werden musste. Der Zeitabstand richtete sich nach der Saugfähigkeit des Untergrundes und der Objekttemperatur, so dass diese stark schwanken können, in der Regel zwischen 10 Minuten und 1 bis 2 Stunden. Durch die wässrige Konsistenz ließ sich das Produkt auf allen Untergründen einfach und schnell aufbringen.

Die glatten Untergründe U1, U2 und U4 konnten nach dem ersten Auftrag des Systems als stark glänzend und sehr wolkig (fleckig) beschrieben werden (Abb. 53). Die Imprägnierung drang sehr langsam in den Untergrund ein und ein zweiter Auftrag erfolgte erst nach 25 Minuten. Auch direkt nach dem zweiten Auftrag war die Oberfläche stark glänzend, jedoch nicht mehr wolkig. Nach einer Trockenzeit von einer Stunde wurde nur

noch ein leichter Glanz wahrgenommen und die Beschichtung war vollständig in das System eingedrungen.



Abbildung 53: Untergründe U1 bis U3 direkt nach dem ersten Auftrag des AGS 2

Anders verhielt es sich bei den rauen Untergründen U3, U5 und U6. Die Imprägnierung wurde sehr schnell und gleichmäßig aufgenommen, bereits nach 8 Minuten erfolgte ein weiterer Auftrag nass in feucht. Zunächst wirkten die Untergründe deutlich dunkler, dieser Effekt ließ nach etwa 10 Minuten nach.

Bereits nach 3 Tagen konnte bei diesem System von einer vollständigen Austrocknung ausgegangen werden. Zu diesem Zeitpunkt wurden bei keinem Untergrund optische Veränderungen beobachtet, Glanz- und Farbunterschiede waren nicht mehr erkennbar.

### AGS3 – Beschichtung

Für alle Untergründe dieser Versuchsreihe wurde vom Hersteller die Verwendung eines passenden Haftprimers empfohlen. Dabei handelte es sich um einen 1-komponentigen Acrylprimer auf Wasserbasis, der als unverdünnte Grundierung für das AGS3 eingesetzt wird.

Zunächst erfolgte der Auftrag des Primers mit einer kurzflorigen Velourrolle von 4 bis 6 mm im Kreuzgang. Nach einer Trockenzeit von 24 Stunden war auf allen 6 Betonuntergründen ein leichter Glanz erkennbar. Anschließend konnte der Auftrag des AGS3 (Glanzgrad matt) erfolgen. Dafür wurde die angegebene Komponente 2 (Härter) in Komponente 1 (Coating) eingebracht und mit einem breiten Spachtel mindestens 2 Minuten gut umgerührt/gemischt. Das gemischte Material wurde in einen sauberen Behälter umgefüllt und direkt verwendet (Abb. 54). Das Mischungsverhältnis betrug 2:1 (Coating : Härter). Die Anti-Graffiti-Beschichtung musste in 2 Schichten im Kreuzgang mit einer kurzflorigen Velourrolle 4 bis 6 mm aufgebracht werden. Wobei die zweite Schicht erst nach Trocknung der ersten Schicht aufgebracht werden konnte. In dieser Versuchsreihe erfolgte deshalb der Auftrag der 2. Schicht nach 24 Stunden.

Nach dem ersten als auch nach dem zweiten Auftrag der AGS-Beschichtung waren alle Untergründe als milchig und matt einzustufen (Abb. 55). Eine vollständige Aushärtung zeigte sich nach 7 Tagen. Die Untergründe konnten nun als klar und mit einem matten Glanz beschrieben werden (Abb. 56).



Abbildung 54: anwendbares AGS3



Abbildung 55: Opake Erscheinung des AGS3 auf U1



Abbildung 56: AGS3 auf U1 nach der Trocknung

Bei der Verarbeitung des Primers als auch der AGS-Beschichtung bestand gegenüber den Imprägnierungen (AGS1 und AGS2) zeitlich ein deutlicher Mehraufwand. Um einen Untergrund vollständig zu schützen, musste hier mit einer Zeitspanne von mindestens 48 Stunden geplant werden.

#### AGS4 – Beschichtung

Nach dem Anmischen und einer Vorreaktionszeit von maximal 10 Minuten erfolgten die Aufträge dieser Beschichtung mit einer Kurzfloorwalze. Die Konsistenz des AGS4 war sehr flüssig und milchig, die Verarbeitung leicht. Nach dem ersten Auftrag erzeugte die Beschichtung auf allen Untergründen eine opake, stark glänzende Oberfläche (Abb. 57).

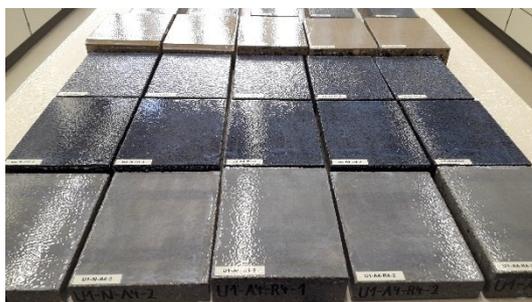


Abbildung 57: milchige, stark glänzende Oberflächen nach dem ersten Auftrag des AGS4

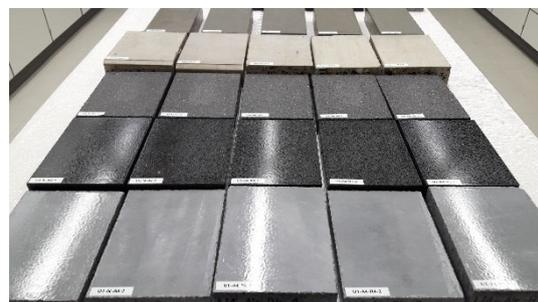


Abbildung 58: stark glänzende Oberflächen nach Trocknung des AGS4

Der zweite Auftrag erfolgte 22 Stunden später und entwickelte sich nach Austrocknung zu einem klaren Film. Wieder führte der Auftrag zu einer leicht getrübbten Oberfläche. Nach 3 Tagen waren alle Proben vollständig getrocknet. Die Beschichtung war zu einem

klaren Film erhärtet, welcher einen starken Glanz zeigte (Abb. 58). Die Untergründe U2 und U4 hoben sich durch einen sehr starken Glanz ab. Auch hier war ein erheblich größerer Zeitrahmen für die Verarbeitung erforderlich.

### Auswertung der Durchführung

Die Tabelle 21 fasst die gewonnen Erkenntnisse zur Verarbeitung und Oberflächenbeeinträchtigung der vier Anti-Graffiti-Systeme zusammen.

*Tabelle 21: Zusammenfassung der Verarbeitung der AGS*

AGS	Auftrag	Verarbeitung	Trocknung [maximal]	Optische Beeinträchtigung nach Trocknung
AGS1	Rollverfahren	einfach, schnell	5 Tage	keine
AGS2		einfach, nass in nass	3 Tage	keine
AGS3		Zeitaufwendig, Primer notwendig, 2-K-System, 2 Aufträge innerhalb 24 Stunden	7 Tage	matter Glanz
AGS4		Zeitaufwendig, 2-K-System, 2 Aufträge innerhalb 22 Stunden	3 Tage	starker Glanz

In dem Verarbeitungsprozess sind die Beschichtungen deutlich aufwändiger zu verarbeiten und fordern zeitlich einen enormen Mehraufwand gegenüber den Imprägnierungen. Außerdem beeinträchtigen die Beschichtungen das Erscheinungsbild, was sich u.a. mit den Glanzveränderungen der Betonoberflächen belegen lässt.

### *Verbrauch*

Um den Verbrauch (Einsatzmenge) der AGS je m<sup>2</sup> zu ermitteln, wurden alle Proben vor und direkt nach der Applikation gewogen. Aus der Gewichts Differenz, in Bezug auf die Prüfkörperfläche und der Umrechnung in ml/m<sup>2</sup> ergab sich die aufgetragene Menge (Anhang 1.2, S. 206). Die Hersteller geben einen Verbrauch in ml/m<sup>2</sup> vor, es wird aber darauf hingewiesen, dass dieser je nach Saugverhalten des Untergrundes abweichen kann. Die Tabelle 22 zeigt den mittleren Wert sowie die Standardabweichung (MW ± s) der Verbrauchsmenge pro AGS auf den **glatten** Untergründen U1, U2 und U3.

*Tabelle 22: Mittlerer Verbrauch und Standardabweichung der AGS auf den glatten Untergründen sowie Angabe des Verbrauchs nach technischem Merkblatt (Hersteller)*

AGS	Verbrauch in ml/m <sup>2</sup>			
	Vorgabe Hersteller	MW ± s je Untergrund		
		U1	U2	U4
AGS1	150 - 250	141,07±0,36	108,87±0,51	150,87±0,45
AGS2	130 - 180	122,60±0,49	100,47±0,30	134,07±0,55
AGS3	140 - 180	169,13±0,30	158,73±0,43	153,13±0,51
AGS4	150 - 250	198,27±0,28	193,00±0,33	200,13±0,45

Die Beschichtungen (AGS3 + AGS4) erfüllten für alle glatten Untergründe die vorgegebene Materialeinsatzmenge.

Von den Imprägnierungen (AGS1 + AGS2) wurde für die Untergründe U1 und U2 weniger Material benötigt (grün hinterlegt). Für die schalungsglatte, hochfeste Fassadenplatte (U1) waren es etwa 6 % weniger Material, als von den Herstellern angegeben. Die glattgeschliffene, hochfeste Fassadenplatte (U2) zeigte mit 27 % (AGS1) und 23 % (AGS2) weniger Materialaufwand einen sehr geringen Verbrauch. Dies war aufgrund der hohen Gefügedichte und äußerst glatten Oberfläche zu erwarten. Für den Untergrund U4, der sichtbeton-glatten Mauerscheibe, wurden die Vorgaben eingehalten.

Auf den glatten Oberflächen bildete sich beim Auftrag der Beschichtungen (AGS3+AGS4) schnell ein einheitlicher Film auf der Oberfläche. Für die Haftung wurde vorab ein Primer aufgetragen. Die Imprägnierungen konnten auf den sehr glatten Untergründen U1 und U2 nicht sehr weit in den Betonuntergrund eindringen, was auf das dichte Oberflächengefüge zurückzuführen war.

Die Standardabweichungen für den Verbrauch an Imprägnierungen als auch für die Beschichtungen waren gemäß Tabelle 22 mit 0,28 bis 0,55 ml/m<sup>2</sup> sehr gering.

Der mittlere Materialeinsatz (MW ± s) für die **rauen** Untergründe sowie die Vorgaben der Hersteller fasst Tab. 23 zusammen.

*Tabelle 23: Mittlerer Verbrauch und Standardabweichung der AGS auf den rauen Untergründen sowie Angabe des Verbrauchs nach technischem Merkblatt (Hersteller)*

AGS	Verbrauch in ml/m <sup>2</sup>			
	Vorgabe Hersteller	MW ± s je Untergrund		
		U3	U5	U6
AGS1	150 - 250	205,13±15,77	266,20±17,95	325,20±14,84
AGS2	130 - 180	191,07±16,15	261,75±14,58	236,47±16,01
AGS3	140 - 180	223,07±7,94	209,93±6,77	232,67±8,50
AGS4	150 - 250	310,27±10,21	280,73±9,67	308,40±12,34

Für die rauen Untergründe wurde bis auf eine Ausnahme (U3-AGS1, grün hinterlegt) mehr Material benötigt, als vom Hersteller angegeben.

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1 + AGS2)*

Das AGS1 konnte nur bei dem Untergrund U3 die Vorgaben einhalten. Für die Gehwegplatte (U5) wurde 6 % und für die geschalte Betonplatte (U6) 30 % mehr Material benötigt. Das AGS3 zeigte für alle drei rauen Untergründe mit 6 % (U3), 45 % (U5) und 31 % (U6) einen Mehrverbrauch. Durch die rauen, offenporigen Untergründe können die hydrophobierenden Imprägnierungen tiefer in die Betonunterlage eindringen, als in die glatten Oberflächen. Die hohen Standardabweichungen bestätigen die Ergebnisse.

#### *Beschichtungen (AGS3 + AGS4)*

Die Beschichtungen konnten für keinen der rauen Untergründe die Vorgaben der Hersteller einhalten. Durch den Auftrag der Beschichtungen wurden die oberflächennahen Poren und Hohlräume ausgefüllt, dafür wird auf den rauen Untergründen deutlich mehr

Material benötigt, als bei den glatten Untergründen. Auch vorhandene Unebenheiten, wie bei der sandgestrahlten Oberfläche U3, werden durch den Auftrag der Beschichtungen größtenteils oder sogar vollständig ausgeglichen. Der zusätzliche Materialeinsatz für den Untergrund U3 betrug für das AGS3 24 % und für das AGS4 25 %. Für die Gehwegplatte (U5) konnte ein Mehrverbrauch von 17 % für das AGS3 und 12 % für das AGS4 ermittelt werden. Die geschalte Betonplatte zeigte einen 29%igen (AGS3) bzw. 23%igen (AGS4) Mehrverbrauch.

#### 4.1.3 Stufe III: Nach Auftrag AGS – Vor Bewitterung

Die Prüfungen nach Auftrag der AGS erfolgte ausschließlich an den 120 beschichteten Proben. Ausnahme bildet die Haftzugfestigkeit, hierfür wurden zusätzlich 72 weitere Prüfkörper, drei je Untergrund (U1 – U6) und pro AGS (AGS1 – AGS4), mit AGS beschichtet.

Die Proben wurden durch die Prüfung vollständig zerstört und konnten somit nicht für weitere Prüfungen verwendet werden.

III	Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung
	Schichtdicke
	Visuelle Betrachtung
	Glanz und Helligkeit
	Benetzungswinkel
	Rauheit
	Wasseraufnahmekoeffizient
	Abreißfestigkeit

#### Schichtdicke

Die Ermittlung der Schichtdicke erfolgte nach DIN EN ISO 2808<sup>152</sup> mit dem Schichtdickenmessgerät De Felsko PosiTector 200 (Abb. 59). Dabei handelte es sich um ein Ultraschall-Farbdickenmessgerät für Nicht-Metall-Substrate wie Holz, Beton, Plastik und vieles mehr.

III	Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung
	Schichtdicke
	Visuelle Betrachtung
	Glanz und Helligkeit
	Benetzungswinkel
	Rauheit
	Wasseraufnahmekoeffizient
	Abreißfestigkeit

Mit dem Messgerät kann eine zerstörungsfreie Messung im Bereich von 13 – 1000 µm mit einer Messgenauigkeit von ± 2 µm realisiert werden.<sup>153</sup>

Bei diesem akustischen Verfahren werden die Einzelschichtdicken aus den Laufzeiten eines an den Grenzflächen des Beschichtungssystems partiell reflektierten Ultraschall-Impuls abgeleitet. Das Messprinzip ist für alle Schicht-Substrat-Kombinationen geeignet, allerdings kann das Schallfeld durch die Geometrie des Substrates (Abmessung, Krümmung und Rauheit) beeinflusst werden (DIN EN ISO 2808<sup>152</sup>).

Wie bereits erwähnt, werden für Hydrophobierungen und hydrophobierende Imprägnierungen statt der Schichtdicke Eindringtiefen vorgegeben. Die Ermittlung der Eindringtiefe ist jedoch nicht zerstörungsfrei möglich und deshalb für diese Arbeit über mehrere Zyklen nur bedingt geeignet. Es konnten jedoch Stichprobenartig Eindringtiefen in Anlehnung

<sup>152</sup> DIN EN ISO 2808:2019-12, Beschichtungsstoffe - Bestimmung der Schichtdicke (ISO 2808:2019)

<sup>153</sup> <https://de.defelsko.com/positector-200>

an die DIN EN 14630<sup>154</sup> vorgenommen werden. Hierfür wurden die AGS-geschützten Prüfkörper „gebrochen“ und die Bruchkante mit wasserunlöslicher Tinte benetzt (Abb. 61). Anschließend konnte mit dem Olympus-Mikroskop SZX 16 (Abb. 60) die Eindringtiefe unter mehrfacher Vergrößerung ermittelt werden. Die Auswertung erfolgte nach DIN EN 1504-2<sup>155</sup>. Für Oberflächenschutzsystem OS 1 (A), Hydrophobierungen, werden Eindringtiefen in zwei Klassen unterteilt. Klasse I entspricht einer Eindringtiefe < 10 mm und Klasse II  $\geq 10$  mm<sup>155</sup>.

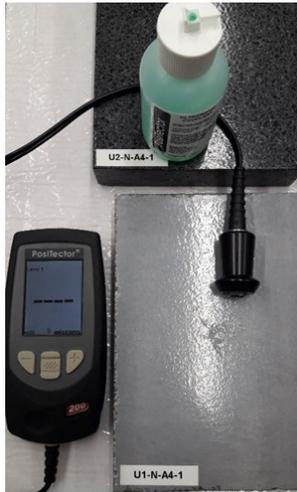


Abbildung 59: Schichtdickenmessung mit dem PosiTector 200



Abbildung 60: Olympus-Mikroskop SZX 16 für die Bestimmung der Eindringtiefe



Abbildung 61: Zerbrochene Probe U6 mit aufgetragener Tinte

Für das AGS1 wird eine empfohlene Schichtdicke von 100  $\mu\text{m}$  bzw. 0,1 mm (Sachsenmaier-Wahl 2018) und nach techn. Merkblatt eine Eindringtiefe von  $\geq 5$  bis 10 mm angegeben. Für das AGS2 gibt es keine Angaben, nach (Benedix 2017) liegt die Eindringtiefe für hydrophobierende Imprägnierungen bei 5 bis 10 mm (5000 - 10000  $\mu\text{m}$ ). Der Hersteller gibt für die Beschichtung AGS3 eine Trockenschichtdicke von mindestens 50  $\mu\text{m}$  bzw. 0,05 mm vor. Für das AGS4, ebenfalls eine Beschichtung, werden vom Hersteller keine Angaben zur Schichtdicke bzw. Eindringtiefe gemacht. Allerdings sollte nach (Weber 2022) von einer Trockenschichtdicke von 0,1 bis 5,0 mm bzw. 100  $\mu\text{m}$  bis 5000  $\mu\text{m}$  ausgegangen werden.

<sup>154</sup> DIN EN 14630:2007-01, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung der Karbonatisierungstiefe im Festbeton mit der Phenolphthalein-Prüfung

<sup>155</sup> DIN EN 1504-2:2005-01, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton

## Visuelle Betrachtung

Für die visuelle Betrachtung wurde die Beurteilung nach Augenschein durchgeführt und über die Verbalbeschreibung festgehalten. Es war dabei ein Abstand von 30 cm zur AGS-beschichteten Prüfplatte einzuhalten, außerdem erfolgte ein Vergleich unter Einbezug einer Referenzplatte (Nullprobe ohne AGS).

So konnte in dieser Stufe die Beurteilung des Einflusses der verwendeten AGS auf den Originaluntergrund erfolgen. Die Abbildung 62 zeigt den Untergrund U1 als unbeschichtete Nullprobe ohne AGS, mit den Imprägnierungen AGS1 und AGS2 sowie den Beschichtungen AGS3 und AGS4 (von links nach rechts).

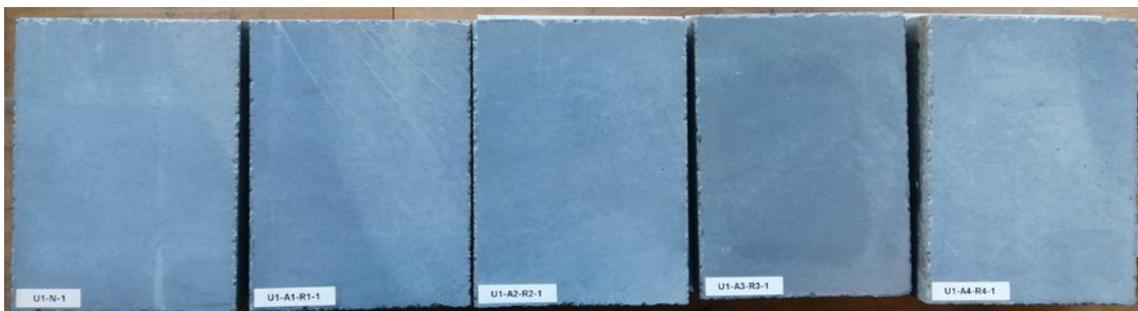


Abbildung 62: Proben U1: ohne AGS, mit AGS1, AGS2, AGS3 und AGS4 (von links nach rechts)

## Glanz und Helligkeit

Die Glanzmessungen an den Prüfkörpern wurden auch nach Auftrag der AGS gemäß DIN EN ISO 2813<sup>156</sup> mit einem auf die Prüfkörper-Oberfläche aufgesetzten Reflektometer definiert. Nach WTA Merkblatt 2-8-04/D<sup>157</sup> wurde die Helligkeit der Betonoberflächen über die CIELab-Methode mit dem Chroma Meter CR – 410 (Minolta Konica) bestimmt. So konnten zusätzlich zur visuellen Betrachtung gemessene Werte für die Beurteilung der optischen Oberflächenveränderung einbezogen werden.

## Benetzungswinkel

Die Benetzungswinkel der behandelten Prüfkörper wurde, wie die unbehandelten Proben, nach DIN EN 828<sup>158</sup> mit einem DataPhysics OCA - Messgerät und dazugehöriger SCA 20 – Software zur Messung und Darstellung des statischen Kontaktwinkels ermittelt.

III	Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung
	Schichtdicke
	Visuelle Betrachtung
	Glanz und Helligkeit
	Benetzungswinkel
	Rauheit
	Wasseraufnahmekoeffizient
	Abreißfestigkeit

III	Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung
	Schichtdicke
	Visuelle Betrachtung
	Glanz und Helligkeit
	Benetzungswinkel
	Rauheit
	Wasseraufnahmekoeffizient
	Abreißfestigkeit

III	Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung
	Schichtdicke
	Visuelle Betrachtung
	Glanz und Helligkeit
	Benetzungswinkel
	Rauheit
	Wasseraufnahmekoeffizient
	Abreißfestigkeit

<sup>156</sup> DIN EN ISO 2813:2015-02, Beschichtungsstoffe - Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85°

<sup>157</sup> WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03, Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)

<sup>158</sup> DIN EN 828:2013-04, Klebstoffe - Benetzbarkeit - Bestimmung durch Messung des Kontaktwinkels und der freien Oberflächenenergie fester Oberflächen

## Rauheit

Nach Auftrag des AGS wurde erneut die mittlere Rauheit  $R_z$  mit dem Keyence Color 3D Laser Scanning Microscope VK 9700 und dazugehöriger Software gemessen und ausgewertet. So konnte ermittelt werden, ob und inwieweit die geometrischen Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche der 120 Prüfkörper durch den Auftrag verändert wurden.

III Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung	
Schichtdicke	
Visuelle Betrachtung	
Glanz und Helligkeit	
Benetzungswinkel	
Rauheit	
Wasseraufnahmekoeffizient	
Abreißfestigkeit	

## Wasseraufnahmekoeffizient

Die Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten erfolgte nach Auftrag der AGS ebenfalls in Anlehnung an die DIN EN ISO 15148<sup>159</sup>. Dadurch konnte festgestellt werden, ob und in welchem Maße die Anti-Graffiti-Systeme Einfluss auf das Saugverhalten der beschichteten Untergründe nahmen.

III Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung	
Schichtdicke	
Visuelle Betrachtung	
Glanz und Helligkeit	
Benetzungswinkel	
Rauheit	
Wasseraufnahmekoeffizient	
Abreißfestigkeit	

Die Auswertung erfolgte in diesem Schritt nach DIN EN 1062-3<sup>160</sup> für die Klasseneinteilung bezogen auf die Wasserundurchlässigkeit der verwendeten Beschichtungssysteme auf den sechs verschiedenen Untergründen.

## Abreißfestigkeit

Für die Bestimmung der Abreißfestigkeiten wurden zusätzlich 72 Prüfkörper mit den jeweiligen AGS beschichtet.

Die Zugfestigkeiten wurden nach Auftrag des AGS auf allen Untergründen mit einem Josef Freundl Easy-M Haftzugprüfgerät (Abb. 63) in Anlehnung an die DIN EN 1542<sup>161</sup> ermittelt. Das Prüfgerät verfügt über eine Kraftanzeige von 0 - 6 kN und einer Genauigkeit der Klasse 1 (1,7 % der Höchstlast)<sup>162</sup> gem. DIN EN ISO 7500-1<sup>163</sup>.

III Nach Auftrag AGS - vor Bewitterung	
Schichtdicke	
Visuelle Betrachtung	
Glanz und Helligkeit	
Benetzungswinkel	
Rauheit	
Wasseraufnahmekoeffizient	
Abreißfestigkeit	

Die Norm sieht pro Instandsetzungsprodukt oder -system eine Abreißprüfung, bestehend aus fünf Teilprüfungen vor. Da für diese Arbeit nur eine begrenzte Anzahl an Prüfkörper zur Verfügung stand, konnten nur drei Teilprüfungen vorgenommen werden. Alle

<sup>159</sup> DIN EN ISO 15148:2018-12, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002 + Amd 1:2016)

<sup>160</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

<sup>161</sup> DIN EN 1542:1999-07, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

<sup>162</sup> Bedienungsanleitung im Gerätekofter: Baustoff-Prüfsysteme Wennigsen GmbH

<sup>163</sup> DIN EN ISO 7500-1:2018-06, Metallische Werkstoffe - Kalibrierung und Überprüfung von statischen einachsigen Prüfmaschinen - Teil 1: Zug- und Druckprüfmaschinen - Kalibrierung und Überprüfung der Kraftmesseinrichtung (ISO 7500-1:2018)

Prüfkörper dieser Reihe waren nach Beendigung der Prüfung zerstört, so dass sie nicht mehr für weitere Prüfungen genutzt werden konnten.

Nach dem Aushärten der Graffitischutzsysteme waren die Prüfkörper zunächst 7 Tage im Normalklima ( $21 \pm 2^\circ\text{C}$ , rel. LF  $60 \pm 10\%$ ) zu lagern. Anschließend wurde mit einem Kernbohrgerät und einer Bohrkronen von 50 mm Innendurchmesser eine Ringnut gebohrt (Bohrtiefe etwa 10 mm), die Fläche von Bohrmehl befreit und der Prüfstempel ( $d = 50\text{ mm}$ ) auf die Prüffläche geklebt (s. Pfeil Abb. 63). Das Aufkleben erfolgte gemäß DIN EN 1542<sup>164</sup> mit einem schnellhärtenden Zweikomponenten-Epoxidkleber. Nach ausreichender Erhärtung des Klebers konnte die Haftzugprüfung bis zum Bruch durchgeführt werden (Abb. 64). Die Abbildung 65 zeigt den Bruch des mit AGS3 beschichteten Untergrundes U3.



Abbildung 63: Easy-M Haftzugprüfmaschine



Abbildung 64: Prüfung der Haftzugfestigkeit



Abbildung 65: Bruch im Untergrund 3 mit AGS3

Die Berechnung und Werteermittlung der Abreißfestigkeit erfolgte direkt durch das Haftzugprüfgerät. Das Bruchbild war nach Augenschein zu beurteilen und protokollarisch festzuhalten.

#### 4.1.4 Stufe IV: Bewitterung

Nach dem Auftrag der AGS und Abschluss aller Prüfungen, wurde auf der Rückseite aller Prüfkörper eine Alu-Verbund-Platte und Edelstahlschrauben als Halterung aufgeklebt (Abb. 66). Anschließend konnten die Prüfkörper (PK) zur Freibewitterung freigegeben und an den Bewitterungsstand der Hochschule Wismar montiert werden.

Im ersten sowie im dritten, fünften und siebten Zyklus wurden die Prüfkörper nach Norden ausgerichtet (Abb. 67).

IV	natürliche Freibewitterung
V	Farbauftrag
VI	Reinigung
VII	Nach Bewitterung und Reinigung
Schichtdicke Visuelle Betrachtung Glanz und Helligkeit Benetzungswinkel Rauheit Wasseraufnahmekoeffizient	

<sup>164</sup> DIN EN 1542:1999-07, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch



Abbildung 66: Halterung auf den Prüfkörpern

Abbildung 67: Teilansicht der montierten Prüfkörper im ersten Zyklus, Ausrichtung nach Norden

In den Zyklen zwei, vier, sechs und acht erfolgte die Ausrichtung nach Süden. So sollte der maximale Witterungseinfluss durch UV-Strahlung und Lufttemperatur sowie Niederschlagsbelastung und Windrichtung gewährleistet werden.

Die zeitliche Abfolge des ersten und des achten Zyklus zeigt die Abbildung 68, im Anhang 1.3, S. 207 und 208 sind alle Zyklen dargestellt.

1. Freibewitterungszyklus					1. Reinigungszyklus				
Probe	Datum		Zeitspanne in Wochen	Proben-ausrichtung	Probe	Datum		Zeitspanne in Wochen	Proben-ausrichtung
	Freigabe Bewitterung	Farbaufrag bzw. Prüfbeginn NP				Farbaufrag bzw. Prüfbeginn der NP	Freigabe Bewitterung		
NP U1-U3	30.01.2019	24.04.2019	12	Nord	NP U1-U3	24.04.2019	08.05.2019	2	Nord
NP U4-U6	13.02.2019	08.05.2019	12		NP U4-U6	08.05.2019	22.05.2019	2	
AGS 1 - R 1	27.02.2019	22.05.2019	12		AGS 1 - R 1	22.05.2019	05.06.2019	2	
AGS 2 - R 2	13.03.2019	05.06.2019	12		AGS 2 - R 2	05.06.2019	19.06.2019	2	
AGS 3 - R 3	27.03.2019	19.06.2019	12		AGS 3 - R 3	19.06.2019	03.07.2019	2	
AGS 4 - R 4	10.04.2019	03.07.2019	12		AGS 4 - R 4	03.07.2019	17.07.2019	2	
8. Freibewitterungszyklus					8. Reinigungszyklus				
Probe	Datum		Zeitspanne in Wochen	Proben-ausrichtung	Probe	Datum		Zeitspanne in Wochen	Proben-ausrichtung
	Freigabe Bewitterung	Farbaufrag bzw. Prüfbeginn NP				Farbaufrag bzw. Prüfbeginn der NP	Freigabe Bewitterung		
NP U1-U3	27.01.2021	07.04.2021	10	Süd	NP U1-U3	07.04.2021	21.04.2021	2	Süd
NP U4-U6	10.02.2021	21.04.2021	10		NP U4-U6	21.04.2021	05.05.2021	2	
AGS 1 - R 1	24.02.2021	05.05.2021	10		AGS 1 - R 1	05.05.2021	19.05.2021	2	
AGS 2 - R 2	10.03.2021	19.05.2021	10		AGS 2 - R 2	19.05.2021	02.06.2021	2	
AGS 3 - R 3	24.03.2021	02.06.2021	10		AGS 3 - R 3	02.06.2021	16.06.2021	2	
AGS 4 - R 4	07.04.2021	16.06.2021	10		AGS 4 - R 4	16.06.2021	30.06.2021	2	

Abbildung 68: Zeitliche Abfolge des ersten und achten Bewitterungs- und Reinigungszyklus

Wie bereits beschrieben, wurden die Prüfkörper in sechs Gruppen aufgeteilt. Am 30.01.2019 begann mit den beschichteten und unbeschichteten Nullproben der Untergründe U1 bis U3 (NP U1-U3) die erste Freibewitterung (Spalte links oben, grün hinterlegt). Die achte und somit letzte natürliche Freibewitterung endete am 30.06.2021 mit

den AGS4-beschichteten Prüfkörpern aller Untergründe U1 bis U6, welche dem Funktionalitätstest unterzogen wurden (Spalte rechts unten, grün hinterlegt).

#### Durchführung und Bewertung der Bewitterung

Am 30.01.2019 konnten die ersten Prüfkörper (PK), unbeschichtete und beschichtete Nullproben U1 bis U3 (NP U1-U3), an den Bewitterungsstand zur natürlichen Bewitterung angebracht werden. Im Abstand von jeweils zwei Wochen folgten die restlichen PK. Der erste Bewitterungszyklus dauerte 12 Wochen, somit wurden die Nullproben am 24.04.2019 das erste Mal aus der Bewitterung genommen, visuell betrachtet und die Prüfparameter bestimmt.

Bei den Prüfkörpern, die für die Bestimmung der Funktionalität vorgesehen waren, erfolgten vorweg noch der Farbauftrag und die Reinigung. Ein Zyklus umfasste hier nicht ausschließlich die Bewitterung und Parameterbestimmung, sondern zusätzlich die Reinigung und Funktionalitätsprüfung. Insgesamt zwei Wochen wurden für den Reinigungszyklus benötigt. Dies wurde für alle acht Zyklen beibehalten. Am 8.05.2019 konnten die Nullproben U1-U3 in den zweiten Bewitterungszyklus gehen. Am 30.06.2021 wurden alle Bewitterungs- und Reinigungszyklen abgeschlossen.

In 2,5 Jahren wurden die Prüfkörper sich ständig ändernden Witterungseinflüssen ausgesetzt. Eine Zusammenfassung der mittleren Messwerte für die Lufttemperatur, den Niederschlag und die Windrichtung befindet sich für den Zeitraum vom 30.01.2019 bis 31.12.2021 im Anhang 1.3, S. 209 bis 211. Diese Datendiagramme entstammen dem Archiv der Wetterstation der Hochschule Wismar und sind in der Tabelle 24 zusammengefasst.

*Tabelle 24: Durchschnittliche und maximale Werte der Lufttemperatur und dem Niederschlag sowie die überwiegende Windrichtung für die Jahre 2019 bis 2021*

Jahr	Lufttemperatur [°C]		Niederschlag [mm]		Windrichtung überwiegend
	Durchschnitt	maximal	Durchschnitt	maximal	
2019	±0,25 – +19,9	+7 – +34	0,2 – 1,3	3 – 19	SSW
2020	+2 – +19	+10 – +30	0,1 – 1,8	3 – 85	S
2021	-1 – +20	+9 – +32	0,4 – 1,3	6 – 22	SSW

Mit einer Mitteltemperatur von etwa 10 °C war das Jahr 2019 zusammen mit dem Jahr 2014 das bisher zweitwärmste in Deutschland seit Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen im Jahr 1881. Alle Jahreszeiten waren wärmer als normal. Hinsichtlich des Niederschlags war das Jahr 2019 trocken.<sup>165</sup> Bereits im Januar 2020 stiegen die Tageshöchstwerte auf ungewöhnlich milde 12 °C. Der Winter verabschiedete sich als wärmster seit Messbeginn im Jahr 1881. Im letzten Märztriertel wurden mit -4 °C die frostigsten Nächte

des Winterhalbjahres beobachtet.<sup>165</sup> Die meisten Niederschläge gab es im Juni mit bis zu 85 mm.<sup>166</sup> Mitte Februar konnte in Wismar eine geschlossene Schneedecke zwischen 10 und 30 cm erreicht werden. Der April war mit Temperaturen zwischen 2,47 und 11,65 °C der kälteste seit 1986 und der Juni der viertwärmste seit Messbeginn.<sup>167</sup>

#### 4.1.5 Stufe V: Farbauftrag

Insgesamt 120 Prüfkörper, 20 je Untergrund, waren in 8 Zyklen dem Farbauftrag und der dazugehörigen Reinigung ausgesetzt. An ungeschützten und geschützten Prüfflächen sollte die Funktionalität der vier Reiniger und der vier AGS beurteilt werden.

In jedem Zyklus kamen vier Farbsprays und ein Permanent-Marker zum Einsatz. Mit Hilfe einer Schablone (Abb. 70 rechts) wurden die Farbmittel aufgetragen und verblieben 12 Stunden auf den Prüfkörpern.

In den Abbildungen 69 bis 71 sind die Bezeichnungen, die verwendeten Farbmittel aus dem ersten Zyklus und der ausgeführte Farbauftrag auf dem Untergrund U1 dargestellt. Eine detaillierte Aufstellung aller verwendeten Farbmittel, deren Eigenschaften sowie eine fotodokumentarische Zusammenfassung aller Zyklen enthält der Anhang 1.4, S. 2012 bis 215.

IV	natürliche Freibewitterung
V	Farbauftrag
VI	Reinigung
VII	Nach Bewitterung und Reinigung
Schichtdicke Visuelle Betrachtung Glanz und Helligkeit Benetzungswinkel Rauheit Wasseraufnahme- koeffizient	

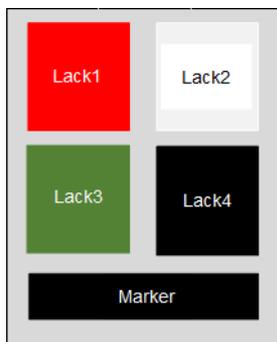


Abbildung 69: Bezeichnung und Darstellung der Farbmittel im 1. Zyklus



Abbildung 70: verwendete Farbmittel des 1. Zyklus und Schablone zum Auftragen

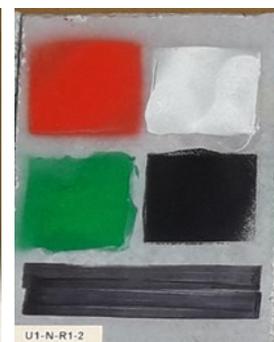


Abbildung 71: Farbmittel im 1. Zyklus auf dem Untergrund U1

Insgesamt 15 verschiedene Aerosolfarbspraydosen wurden in den 8 Zyklen verwendet. Die Auswahl fiel auf Sprays, die speziell als Graffiti-Spray deklariert sind, z.B. der Marke Molotow oder belton. Aber auch Sprays, die für Auto, Hobby oder Industrie Verwendung finden, wurden mit einbezogen.

<sup>165</sup> [https://www.landwetter.info/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83&Itemid=486](https://www.landwetter.info/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=486)

<sup>166</sup> <http://redirect.fiw.hs-wismar.de/wetter/>

<sup>167</sup> [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20211230\\_deutschlandwetter\\_jahr2021\\_news.html](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20211230_deutschlandwetter_jahr2021_news.html)

Dabei handelte es sich um lösemittelhaltige als auch lösemittelfreie Farbsprays. Die Bindemittel variierten u.a. waren Nitro-Alkydal-Verbindungen und Acrylharzlacke enthalten. Als bevorzugtes Lösemittel wurde für alle lösemittelhaltigen Farbsprays Aceton eingesetzt. Die lösemittelfreien Sprays können als Acryl-Sprühfarben auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil) angegeben werden. Alle 15 Farbsprays waren als permanent deklariert. Die Farbpalette war sehr umfangreich (z.B. gold, weiß, blau, rot, gelb, schwarz) und stand in matt oder glänzend zur Verfügung.

Der Permanent-Marker ist ein lösemittelbasierter (Propanol, Ethanol) Filzschreiber zum großflächigen Markieren und Beschriften vieler Materialien wie z.B. Beton, Metall, Glas, Kunststoff und Holz. Die Keilspitze verfügt über eine Strichbreite von 5 - 15 mm. Der Marker ist wasserfest und abriebbeständig auf fast allen Oberflächen.

### Durchführung und Bewertung des Farbauftrags

Die Farbsprays wurden zunächst „geschüttelt“ und konnten dann direkt aufgesprüht werden. Der Auftrag war durchgängig als einfach und gleichmäßig zu beschreiben. Eine besonders starke und schnelle Farbdeckung erreichten die dunklen Farbtöne, wie das Tiefschwarz, Dioxazine Purple, Echtblau oder auch Feuerrot in matt und glänzend.

Auf den rauen und gleichzeitig dunklen Untergründen U3 (gestrahlte, schwarz-graue Fassadenplatte) und U5 (Betongehwegplatte) konnte eine sekundenschnelle Trocknung der Farbsprays festgestellt werden. Außerdem wirkten die Farben auf diesen Untergründen nicht so intensiv, wie auf den glatten oder hellen Untergründen.

Bei den hellen oder glänzenden Farben konnte teilweise eine direkte Reaktion durch das AGS beobachtet werden. Die Abbildung 72 stellt beispielhaft den AGS2-geschützten und ungeschützten Untergrund U1 gegenüber. Die Sprayfarben (rot glänzend, silber und metallic grün) auf den geschützten Untergründen wurden teilweise „abgestoßen“, wohingegen die Farben auf den ungeschützten Prüfflächen gleichmäßig und einheitlich anhafteten.

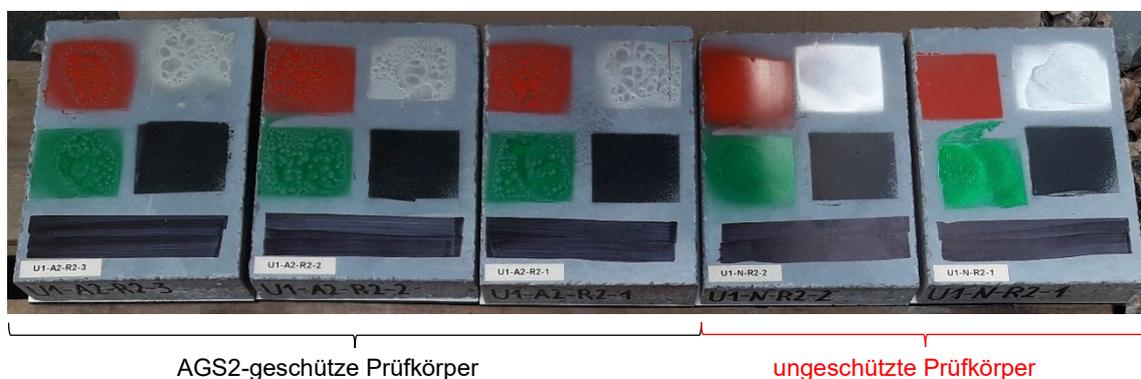


Abbildung 72: Untergrund U1 mit Farbauftrag im ersten Zyklus

Aufgrund der Zusammensetzung (lösemittelhaltig oder auf Wasserbasis) konnte keine Unterschiede in der Anwendung festgestellt werden. Teilweise waren die Caps (Sprühaufsätze) nur für einen Durchgang des Farbmittelauftrags verwendbar, da sie sich mit Farbe zusetzten und eintrockneten.

Der Permanent-Marker war in seiner Handhabung anspruchslos. Auf den glatten Untergründen gelang eine vollständige Benetzung, wohingegen auf den sehr rauen Untergründe U3 und U6 nur teilweise eine Farbbenetzung erreicht wurde.

Auf dem Untergrund U6, der geschalteten Betonplatte, verhinderte die ausgeprägte Oberflächentextur den vollflächigen Auftrag des Markers, da die Markerspitze zu breit war, um alle Bereiche zu erreichen (s. Abb. 73).



Abbildung 73: Untergrund U6 mit Farbauftrag im zweiten Zyklus

#### 4.1.6 Stufe VI: Reinigung

Die Graffiti-Entfernung erfolgte nach Herstellerangaben. Dafür wurden die im Abschnitt 3.1.4 beschriebenen Reinigungsmittel und -methoden eingesetzt. Insgesamt 74 AGS-geschützte Prüfflächen (3 je Untergrund und AGS) standen für den Farbauftrag und die Reinigung zur Verfügung.

Die Abbildungen 74 bis 78 zeigen den Reinigungsablauf des Untergrundes U1 (geschützt mit AGS1) mit dem Reiniger R1.

Zunächst erfolgte der Farbauftrag (Abb. 74), nach 12 Stunden wurde das Reiniger-Gel mit einem Pinsel gleichmäßig auf dem Untergrund verteilt (Abb. 75). Nach einer Einwirkzeit von etwa 20 Minuten (Abb. 76) war die Kontrolle des Lösefortschrittes der Farbmittel (Abb. 77) durchzuführen, indem mit einem Pinsel über die Oberfläche gestrichen wurde. Abschließend konnte die Fläche mit einem Heißwasser-Hochdruckreiniger gesäubert werden (Abb. 78). Für stärkere bzw. hartnäckige Farbmittel, wurden zusätzlich ein Flüssigreiniger und ein Schattenentferner eingesetzt.

IV	natürliche Freibewitterung
V	Farbauftrag
VI	Reinigung
VII	Nach Bewitterung und Reinigung
Schichtdicke Visuelle Betrachtung Glanz und Helligkeit Benetzungswinkel Rauheit Wasseraufnahme- koeffizient	



Abbildung 74:  
Schritt 1 - Farbauftrag



Abbildung 75:  
Schritt 2 - Auftrag AGS



Abbildung 76:  
Schritt 3 - Einwirkzeit



Abbildung 77:  
Schritt 4 - Kontrolle der Lösbarkeit



Abbildung 78:  
Schritt 5 - Abwaschen der Fläche

### Durchführung und Bewertung der Reinigung

Die Reiniger R1 und R2 bestanden aus drei einzelnen Produkten und konnten, mit Ausnahme der Einwirkzeit, auf ungeschützte und geschützte Untergründe gleichermaßen aufgebracht werden (s. Abschnitt 3.1.4).

Zunächst erfolgte der Sprühauftrag des Flüssigreiners, gefolgt vom Gel-Reiniger der mit einem Pinsel eingearbeitet wurde. Nach 10 – 20 Minuten konnten die Oberflächen mit einem Heißwasser-Hochdruckreiniger abgewaschen werden. Im Anschluss wurde auf den nassen Untergrund der Schattenentferner, ebenfalls mit einem Pinsel, aufgetragen. Die Entfernung der Rückstände erfolgte abermals mit dem Hochdruckreiniger.

Mit jedem Zyklus, merkbar ab dem 4. Zyklus, erschwerte sich der Abwaschprozess, da mehr als ein Reinigungsdurchgang notwendig war, um die Farbe von den PK zu lösen. Von Beginn an ließen sich die ungeschützten Untergründe schwieriger reinigen als die geschützten.

Der Reiniger R3 umfasste ebenfalls drei Einzelprodukte. Der Graffitientferner sowie der Schattenentferner wurden mit einem weichen Pinsel aufgetragen. Die Einwirkzeiten für ungeschützte PK betragen 3 – 10 Minuten, für geschützte 3 – 5 Minuten. Anschließend konnten nur die ungeschützten PK mit einem Hochdruckreiniger gesäubert werden. Für die geschützten Untergründe waren die Farbmittelreste mit einem weichen Tuch und warmen Wasser aufzunehmen. Anschließend konnte auf den nassen Untergrund die Bleiche mittels Kunststoffspachtel verteilt werden.

Die Reinigung der ungeschützten PK war zunächst mühelos, ab dem 4. Zyklus wurde diese durch Mehrfachanwendungen aufwendiger. Bei den geschützten Untergründen reichte vom ersten bis zum letzten Zyklus immer ein Reinigungsdurchgang aus. Trotzdem war die Säuberung mit dem Tuch aufwändig und erforderte viel Nacharbeit (Reinigung der Tücher). Außerdem musste fortlaufend warmes Wasser bereitstehen.

Für den Reiniger R4 gab es keine Zusatzprodukte. Auch hier sorgte eine Sprühflasche für einen einfachen und gleichmäßigen Auftrag. Die Einwirkzeiten waren mit 1 – 2

Minuten für geschützte bzw. 1 – 5 Minuten für ungeschützte Untergründe sehr gering. Mit einer Perlonbürste konnte der Reiniger nachträglich noch verrieben werden. Die Reinigung erfolgte mit Bürste und Wasser.

Zusammenfassend betrachtet, hatten alle Verfahren Vor- und Nachteile. Der Auftrag mit einer Sprühflasche und die Reinigung mittels Hochdruckreiniger zeichneten sich als beste Option der Graffiti-Entfernung, mit einem geringen Arbeitsaufwand, aus.

#### 4.1.7 Stufe VII: Prüfungen nach Bewitterung und Reinigung

Die Stufe VII beinhaltete vier Phasen, die sich siebenmal wiederholten. Diese vier Phasen bildeten einen Zyklus. Sie bestanden aus der Freibewitterung (Stufe IV), dem Farbauftrag (Stufe V), der Reinigung (Stufe VI) und den abschließenden Prüfungen der Parameter (Stufe VII). Insgesamt konnten 7 Bewitterungs- und Reinigungszyklen herangezogen und insgesamt 32.535 Einzelwerte ausgewertet werden (Tab. 25).

IV	natürliche Freibewitterung
V	Farbauftrag
VI	Reinigung
VII	Nach Bewitterung und Reinigung
	Schichtdicke Visuelle Betrachtung Glanz und Helligkeit Benetzungswinkel Rauheit Wasseraufnahmekoeffizient

Neben den Ergebnissen aus 7 Zyklen wurden auch die Ausgangswerte vor der Freibewitterung einbezogen, um mögliche Veränderungen durch den Witterungseinfluss festzustellen.

Tabelle 25: Aufstellung der Einzelmesswerte der Zyklen 1 bis 7

Parameter	Schichtdicke	Visuelle Betrachtung	Glanz	Helligkeit	Benetzungswinkel	Rauheit	Wasseraufnahmekoeffizient
EW	720	3395	5075	3045	6090	3045	11165
<b>Einzelmesswerte Zyklen 1 – 7: 32.535</b>							

Wie bereits in der Stufe III: Nach Auftrag AGS – Vor Bewitterung, wurde nach jedem Zyklus die Visuelle Betrachtung vorgenommen, die Schichtdicke, der Glanz und die Helligkeit, der Benetzungswinkel, die Rauheit sowie der Wasseraufnahmekoeffizient ermittelt. Die visuelle Betrachtung erfolgte gemäß TP-AGS-Beton<sup>168</sup> zur Beurteilung der Funktionalität F (Reinigungsleistung) im Schulnotensystem von 0 bis 5.

Prüfkörper, die bereits durch die Visuelle Betrachtung den Funktionstest nicht bestanden haben, wurden aussortiert. Laut TP-AGS-Beton<sup>168</sup> erfüllen Prüfkörper mit einer Gesamtfunktionalität (alle Farbfelder)  $F > 10$  bzw. einer Einzelfarbfeld-Funktionalität  $F_i > 3$  nicht die Anforderungen.

<sup>168</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

Somit wurde beispielsweise am Untergrund U1 an den zwei unbeschichteten und acht beschichteten Nullproben (2 je AGS) jeder Parameter bestimmt. Die zwölf beschichteten Prüfkörper (3 je AGS) und die acht unbeschichteten Prüfkörper (2 je Reiniger (R)) erhielten zunächst einen Farbauftrag, 24 Stunden später konnten sie gereinigt werden und anschließend die Funktionalität und weitere Parameter bestimmt werden.

Für alle 180 Prüfkörper, 30 je Untergrund ( $n_u = 30$ ), konnten so in jedem Zyklus insgesamt 930 Einzelwerte aus den Prüfungen erzielt werden. Die Durchführung ist uneingeschränkt identisch mit der Stufe III.

#### 4.1.8 Stufe VIII: Nach 8 Bewitterungs- und Reinigungszyklen

Nach dem achten Bewitterungs- und Reinigungszyklus sind gleichermaßen die Parameter der Stufe VII ermittelt worden. Nach 2,5 Jahren der Freibewitterung erfolgte für alle Prüfkörper, die bis dahin den Funktionalitätstest bestanden hatten, ein letzter Prüfdurchgang. Die 4536 ermittelten Einzelwerte (Tab. 26) dieses Durchgangs dienten dem Vergleich mit den Originalprüfkörpern und den beschichteten Nullproben.

VIII Nach 8 Bewitterungs- und Reinigungszyklen	
Visuelle Betrachtung	
Glanz und Helligkeit	
Benetzungswinkel	
Rauheit	
Wasseraufnahmekoeffizient	
Abreißfestigkeit	

Der Einfluss durch die Bewitterung bzw. durch die Bewitterung und der zusätzlichen Reinigung nach Farbauftrag konnten verglichen werden. Das war für die Beurteilung der Funktionalität und die Dauerhaftigkeit ausschlaggebend.

Tabelle 26: Aufstellung der Einzelmesswerte im 8. Zyklus

Parameter	Visuelle Betrachtung	Glanz	Helligkeit	Benetzungswinkel	Rauheit	Wasseraufnahmekoeffizient	Abreißfestigkeit
EW	480	660	396	792	396	1452	360
<b>Einzelmesswerte im achten Zyklus: 4536</b>							

Neben den Parametern der Stufe VII erfolgte, wie in Stufe III, nochmals die Bestimmung der Abreißfestigkeit.

#### Abreißfestigkeit

Nach Beendigung des achten Bewitterungs- und Reinigungszyklus und der damit verbundenen Prüfungen, konnte abschließend an allen Proben die Abreißfestigkeit bestimmt werden. Diese umfassten die beschichteten Proben: Nullproben mit AGS – ohne Farbauftrag und Reinigung sowie die Prüfkörper mit AGS – mit Farbauftrag und Reinigung.

VIII Nach 8 Bewitterungs- und Reinigungszyklen	
Visuelle Betrachtung	
Glanz und Helligkeit	
Benetzungswinkel	
Rauheit	
Wasseraufnahmekoeffizient	
Abreißfestigkeit	

Insgesamt 360 Einzelwerte konnten für die Bestimmung der mittleren Abreißfestigkeit erfasst und ausgewertet werden. Prüfkörper, die bereits in vorherigen Zyklen aufgrund mangelnder Ergebnisse in der Funktionalitätsprüfung aussortiert wurden, flossen ebenfalls in die Prüfung ein.

Die Veränderungen der Festigkeiten waren nur im Vergleich mit den Ergebnissen der 72 Extraproben (siehe Abschnitt 4.1.3) aufzuzeigen, da es sich um eine zerstörende Prüfung handelt, in der die Probe nach der Prüfung nicht mehr verwendbar ist. Deshalb konnten keine Zwischenprüfungen (in den einzelnen Zyklen) erfolgen.

## 5 Untersuchungsergebnisse

### 5.1 Kubatur und Rohdichte

#### 5.1.1 Prüfkörper im Originalzustand

Im Anhang 2.1, S. 216 bis 218 sind 1080 Einzeldaten zur Ermittlung der Rohdichte für 180 Prüfkörper, 30 je Untergrund ( $n_U = 30$ ), tabellarisch erfasst. Nach DIN EN 12390-7<sup>169</sup> wurden die mittleren Rohdichten und die dazugehörigen Standardabweichungen ( $MW \pm s$ ) in  $\text{kg/m}^3$  bestimmt (Tabelle 27).

Die DIN EN 206<sup>170</sup> unterteilt Beton nach seiner Rohdichte in drei Arten: Normal-, Leicht- oder Schwerbeton. Rohdichten von  $\geq 800 \text{ kg/m}^3$  bis  $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$  für Leichtbeton,  $> 2000 \text{ kg/m}^3$  bis  $\leq 2600 \text{ kg/m}^3$  für Normalbeton und  $\geq 2600 \text{ kg/m}^3$  für Schwerbeton werden vorgegeben.

Tabelle 27: Mittlere Rohdichten und dazugehörige Standardabweichungen ( $MW \pm s$ ) der Untergründe U1 bis U6 sowie Anforderungen (Anf.) nach DIN EN 206<sup>170</sup>

Untergrund	U1	U2	U3	U4	U5	U6
MW $\pm$ s	2440 $\pm$ 0,06	2480 $\pm$ 0,01	2460 $\pm$ 0,02	2370 $\pm$ 0,03	2320 $\pm$ 0,08	2150 $\pm$ 0,09
Anforderungen	Normalbeton über 2000 $\text{kg/m}^3$ höchstens 2600 $\text{kg/m}^3$					

Da alle Betonprüfkörper Rohdichten zwischen 2000  $\text{kg/m}^3$  und 2600  $\text{kg/m}^3$  erreichten, konnten sie als Normalbeton eingestuft werden.

Die hochfesten Fassadenplatten U1, U2 und U3 zeigten hierbei die höchsten Rohdichten, gefolgt von der Mauerscheibe (U4) und der Gehwegplatte (U5). Die geringste Rohdichte erreichte die geschalte Betonplatte U6.

Aufgrund der geringen relativen Standardabweichungen (RSD) von 0,36 % (0,01  $\text{kg/m}^3$  für U2) bis 4,14 % (0,09  $\text{kg/m}^3$  für U6) kann von sehr reproduzierbaren Ergebnissen ausgegangen werden.

<sup>169</sup> DIN EN 12390-7:2021-01, Prüfung von Festbeton - Teil 7: Rohdichte von Festbeton

<sup>170</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

## 5.2 Druckfestigkeit

### 5.2.1 Prüfkörper im Originalzustand

Die Druckfestigkeitsprüfung erfolgte in Anlehnung an die DIN EN 1015-11<sup>171</sup>. An 18 Prüfkörpern ( $n_U = 3$ ) wurde die Bruchlast bestimmt.

Aus 108 Einzelwerten (Anhang 2.2, S. 219) konnten über die *Gleichung 1 Seite 57* die Mittelwerte ( $MW \pm s$ ) in  $N/mm^2$  berechnet und daraus die Druckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206<sup>172</sup> bestimmt werden (Tab. 28).

*Tabelle 28: Mittlere Druckfestigkeiten und Standardabweichungen ( $MW \pm s$ ), Einordnung der Betonuntergründe im getesteten Zustand und Anforderungen nach 28 Tagen*

Untergrund	U1	U2	U3
MW $\pm$ s	76,80 $\pm$ 0,26	75,80 $\pm$ 0,06	69,80 $\pm$ 0,11
Klasse	C60/75	C60/75	C55/67
Anforderungen <sub>28T</sub> <sup>1)</sup>	C55/67 - C80/95	C55/67 - C80/95	C55/67 - C80/95
Untergrund	U4	U5	U6
MW $\pm$ s	47,70 $\pm$ 0,35	41,60 $\pm$ 0,30	34,70 $\pm$ 0,36
Klasse	C35/45	C30/37	C25/30
Anforderungen <sub>28T</sub> <sup>1)</sup>	C35/45	keine	C20/25

<sup>1)</sup> Anf.<sub>28T</sub> = Anforderungen im Alter von 28 Tagen nach DIN EN 206<sup>172</sup>

Die hochfesten Fassadenplatten (U1, U2, U3) erfüllten mit C60/75 bzw. C55/67 die geforderten Druckfestigkeitsklassen für hochfesten Beton nach DIN EN 206<sup>172</sup>. Außerdem erreichten sie von allen Untergründen die höchsten Festigkeitswerte zwischen 69,80 und 76,80  $N/mm^2$ .

Für die Mauerscheibe (U4) ergab sich mit einer Festigkeit von 47,70  $N/mm^2$  die Klasse C35/45, wie vom Hersteller angegeben. Die Betongehwegplatte (U5) erlangte mit 41,60  $N/mm^2$  die Druckfestigkeitsklasse C30/37. Da es sich hierbei um ein Produkt für die begehbare oder befahrbare Flächengestaltung handelt, werden nach Norm nur Bruchlasten und keine Druckfestigkeiten, vorgegeben.

Der Untergrund U6 (geschalte Betonplatte) erlangte mit 34,70  $N/mm^2$  die niedrigste Festigkeit, konnte aber mit der Klasse C25/30 die Anforderungen übertreffen.

<sup>171</sup> DIN EN 1015-11:2020-01, Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk - Teil 11: Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel

<sup>172</sup> DIN EN 206:2021-06, Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

## 5.3 Visuelle Begutachtung

Zunächst fand eine visuelle Begutachtung aller Originalprüfkörper und eine Erfassung in Verbalbeschreibung statt. Auffälligkeiten wie Oberflächenveränderungen oder Schäden am Prüfkörper wurden zusätzlich bildlich festgehalten (Anhang 2.3, S. 219).

Für die Prüfkörper, welche mit einem AGS versehen wurden, musste nach der Trocknung der Systeme eine erneute visuelle Begutachtung vorgenommen werden, um den Einfluss der Systeme auf die Oberflächeneigenschaften, wie Glanz, Helligkeit oder Oberflächentextur, festzuhalten.

Ab dem ersten Zyklus, nach Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung, erfolgte die visuelle Bewertung, um die Funktionalität (Farbmittelentfernung) zu bestimmen. Nach TP AGS-Beton<sup>173</sup>, WTA-Merkblatt 2-8-04/D<sup>174</sup> sowie ReGG III<sup>175</sup> war hierbei die Beurteilung der Farbmittelentfernung aus 30 cm Abstand zur Prüfplatte durchzuführen.

Jeder Farbfläche wurde eine Kennzahl als Maß der Funktionalität zugeordnet (Anhang 4.2, S. 234 bis 236, Beispiel AGS1 – Zyklen 1 und 7), diese erfolgte nach Anhang B der TP AGS-Beton<sup>173</sup> im Schulnotensystem von 0 (keine erkennbaren Farbmittelrückstände) bis 5 (keine wahrnehmbare Farbmittelentfernung).

Nach TP AGS-Beton<sup>173</sup> müssen für die Funktionalitätsprüfung folgende Bedingungen erfüllt sein: Die Gesamtfunktionalität (F) aller Fest- und Wechselfelder muss  $F \leq 10$  und die Einzelfunktionalität jedes Einzelfeldes  $F_i \leq 3$  sein.

Die Funktionalitätsprüfung bezieht sich ausschließlich auf die Reinigungsleistung, deshalb war es erforderlich, zusätzlich eine Verbalbeschreibung sowie eine Fotodokumentation aller Prüfkörper zu erstellen. So konnten weitere Einflüsse, wie Witterung, Verschmutzungen oder Schädigungen mit einbezogen werden (Anhang 3.2, S. 226 und 227, Beispiel AGS4).

### 5.3.1 Prüfkörper im Originalzustand

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) im Originalzustand

Wie bereits im Abschnitt 3.1.1 ausführlich beschrieben, soll die nachfolgende Tabelle 29 einen zusammenfassenden Überblick der sechs verwendeten Betonprüfkörper, die sich in ihrem Verwendungszweck, der Betonart, der Oberflächentextur und -farbe unterscheiden, geben.

---

<sup>173</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme, Anhang B: Kennwerte zum Bewerten der Ergebnisse von Farbmittelentfernungen

<sup>174</sup> WTA Merkblatt 2-8-04/D:2004-03, Bewertung der Wirksamkeit von Anti-Graffiti-Systemen (AGS)

<sup>175</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffitiprophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

Tabelle 29: Übersicht der verwendeten Betonprüfkörper

Untergrund	U1	U2	U3
			
<b>Verwendung</b>	Fassadenplatte	Fassadenplatte	Fassadenplatte
<b>Betonart</b>	hochfester Normalbeton	hochfester Normalbeton	hochfester Normalbeton (faserverstärkt)
<b>Oberfläche</b>	schalungsglatt	glattgeschliffen	sandgestrahlt
<b>Farbe</b>	hellgrau	matt-schwarz	schwarz-grau
Untergrund	U4	U5	U6
			
<b>Verwendung</b>	Mauerscheibe	Betongehwegplatte	Betonplatte Brettschaloptik
<b>Betonart</b>	faserverstärkter Normalbeton	Normalbeton	Normalbeton
<b>Oberfläche</b>	Sichtbeton-glatt	offenporig-rau	sägerau
<b>Farbe</b>	hellbeige	betongrau	hellgrau

In der Tabelle 30 ist die visuelle Beschreibung nach Augenschein für alle Originalprüfkörper zusammengefasst.

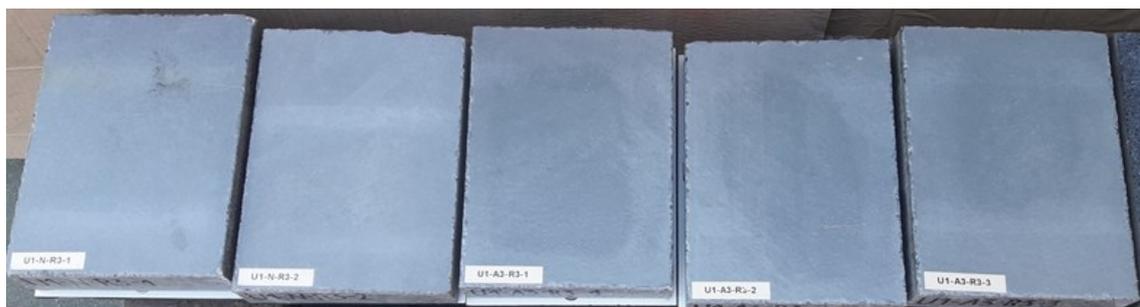
Die Untergründe U1, U2 und U4 konnten unpräzise als glatt, die Untergründe U3, U5 und U6 als rau beschrieben werden. Die Oberflächen der Betonprüfkörper U1, U4 und

U6 waren fragmentarisch als hell und die Betonoberflächen U2, U3 und U5 als dunkel einzuordnen.

*Tabelle 30: Visuelle Beschreibung der Betonoberflächen*

Untergrund	Visuelle Beschreibung
U1	glatt, keine Poren, matt hellgrau, keine Fehlstellen an der Oberfläche, leichte Farbwolken
U2	sehr glatt, geschliffen, keine Poren, hochwertige matt-schwarze Oberfläche, keine Fehlstellen
U3	sehr rau, keine Poren, matt schwarz-grau, keine Fehlstellen an der Oberfläche
U4	glatt, wenig Poren, matt hellbeige, keine Fehlstellen an der Oberfläche
U5	rau, offenporig, grobe Oberfläche, betongrau, keine groben Fehlstellen (einzelne Kratzer)
U6	rau bis sehr rau, teils viele Poren, Optik der Holzverschalung deutlich erkennbar, Farbunterschiede je nach Struktur vorhanden

Die schalungsglatten Fassadenplatte (U1) zeigten teilweise deutliche „Farbwolken“ auf der Oberfläche (Abb. 79). Diese müssen bereits bei der Herstellung der Fassadenplatte entstanden sein.



*Abbildung 79: Unterschiede in der farblichen Oberfläche (Wölkchen) des Untergrundes U1*

Auf den Oberflächen der Betongehwegplatten (U5) waren einzelne „Kratzspuren“ vorhanden, die transportbedingt entstanden sein könnten und keinen Mangel darstellten. Alle anderen Prüfkörper zeigten keine Unregelmäßigkeiten in ihrer Oberfläche.

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Der Einfluss der Bewitterung führte bei allen unbeschichteten Originalprüfkörper zu einer ähnlichen Entwicklung. Nachdem im 1. Zyklus leichte Algenansätze an den Prüfkörpern festgestellt wurden, traten diese in den weiteren Zyklen nicht mehr auf. Für alle Prüfkörper, außer der Betonplatte in Brettschaloptik (U6), waren in den ersten beiden Zyklen Farbveränderungen festzustellen. Diese können für die hochfesten Fassadenplatten (U1 bis U3) und der Sichtbeton-Mauerscheibe (U4) als Glanzverlust beschrieben werden. Die Oberflächen wirkten etwas matter. Für die Betongehwegplatte (U5) zeigten sich deutlichere Farbverluste, sie wirkte sichtlich heller und ausgewaschener.

Über den gesamten Zeitraum der Zyklen 3 bis 8 ergaben sich keine weiteren Veränderungen nach Augenschein. Die Farbgebung blieb stabil und es traten keine Verschmutzungen oder Schädigungen auf (Anhang 5.1, S. 246).

#### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Farbauftrag: Eine detaillierte Aufstellung der verwendeten Farbmittel ( $F_{\text{Lack}}$ ,  $F_{\text{Marker}}$ ), deren Eigenschaften sowie eine fotodokumentarische Zusammenfassung aller Zyklen enthält der Anhang 1.4, S. 212 bis 215 (s. a. Abschnitt 4.1.5)

Reinigung: Im Abschnitt 3.1.4 (Tabelle 8: Gegenüberstellung der Reiniger R1 bis R4) sind die hier aufgeführten Reinigungsmethoden und Reiniger R1 bis R4 umfassend beschrieben.

Die unbeschichteten Prüfkörper, welche neben der Bewitterung auch dem Farbauftrag und der Reinigung unterzogen wurden, zeigten in den ersten drei Zyklen ebenfalls geringe Veränderungen in der Farbgebung, sie verloren an Farbtiefe.

Durch den Farbauftrag und die anschließende Entfernung mit den verschiedenen Reinigern (R1 bis R4) konnten ab dem 1. Zyklus Reste von Farbmitteln bzw. Farbschatten auf allen Untergründen beobachtet werden. Diese führten während des 4. Zyklus zu ersten Ausfällen, d.h., die Bedingungen der Funktionalität (F) wurden aufgrund schlechter Reinigungsergebnisse nicht mehr erfüllt.

Beispielhaft sind die Bewertungen für die Gesamtfunktionalität (F) aller sechs Untergründe für die Reiniger R1 und R2 in Tabelle 31 zusammengefasst (Anhang 5.1, S. 249, R3 und R4). Hierbei stehen hinter der Gesamtfunktionalität F jeweils 5 Einzelfunktionalitäten ( $F_i$ ).

Positiv zeigte sich der Untergrund U1, die schalungsglatte, hellgraue, hochfeste Fassadenplatte. Nach acht Zyklen wies sie ohne einen Graffitienschutz beste Reinigungsergebnisse auf. Die höchste Gesamtfunktionalität betrug  $F = 2$ . Diese setzte sich für den Reiniger R1 im 4. Zyklus aus den Einzelfunktionalitäten  $F_{\text{Lack16}} = 1$  und  $F_{\text{Marker}} = 1$  zusammen. Die 1 steht nach TP AGS-Beton Anhang B <sup>176</sup> für eine „ausgeprägte Farbmittelentfernung“. Mit dem Reiniger R3 konnten in den ersten sechs Zyklen Einzelwerte von  $F_i = 0$  bzw. 1 erreicht werden. Im 7. Zyklus wurde für das Einzelfeld des Markers nur eine Einzelfunktionalität von  $F_{\text{Marker}} = 4$  (gerade wahrnehmbare Farbmittelentfernung) erzielt, diese erfüllte nicht die Anforderungen der Funktionalität mit  $F_i \leq 3$ . Der Reiniger R4 konnte über acht Zyklen eine ausreichende Reinigungsleistung erbringen.

---

<sup>176</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme; Anhang B: Kennwerte zum Bewerten der Ergebnisse von Farbmittelentfernungen

Für den Untergrund U2, der geschliffenen, schwarzen, hochfesten Fassadenplatte, zeigten die Reiniger R1 und R2 erst im 8. Zyklus eine ungenügende Gesamtfunktionalität. Mit  $F \geq 10$  erfüllten sie die Anforderungen nach TP AGS Beton nicht mehr. Die Gesamtfunktionalitäten des Reinigers R2 ergaben  $F = 11$  (rot hinterlegt). Diese setzten sich aus den Einzelfunktionalitäten  $F_{Lack29} = 1$ ,  $F_{Lack30} = 3$ ,  $F_{Lack31} = 1$ ,  $F_{Lack32} = 3$  und  $F_{Marker} = 3$  zusammen. Die Reiniger R3 und R4 konnten über acht Zyklen für U2 die Vorgaben der Funktionalitätsprüfung erfüllen, wengleich auch hier eine Verschlechterung in den letzten drei Zyklen zu beobachten war.

Für die rauen Untergründe U3 (sandgestrahlte, hochfeste Fassadenplatte) und U5 (Betongehwegplatte) ergaben sich im 4. Zyklus für alle Prüfkörper, die mit den Reinigern R1, R2 und R4 gereinigt wurden, unzureichende Gesamtfunktionalitäten (R1 und R2 rot hinterlegt). Diese Prüfkörper standen ab dem 5. Zyklus für weitere Prüfungen nicht mehr zur Verfügung. Der Reiniger R3 erfüllte für den Untergrund U3 bis zum 6. Zyklus die Vorgaben nach TP AGS Beton Anhang B<sup>177</sup>.

Tabelle 31: Ergebnisse der Funktionalitätsbewertung für alle Untergründe (U) – gereinigt mit den Reiniger R1 und R2

R	U	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Reiniger R1	U1	U1-N-R1-1	0	0	1	2	1	0	1	1
		U1-N-R1-2	0	0	1	2	2	0	1	1
	U2	U2-N-R1-1	0	0	1	2	0	2	2	12
		U2-N-R1-2	0	0	1	2	0	2	2	11
	U3	U3-N-R1-1	2	2	5	11				
		U3-N-R1-2	2	2	5	11				
	U4	U4-N-R1-1	1	1	1	3	1	1	2	5
		U4-N-R1-2	1	1	1	3	1	1	2	5
	U5	U5-N-R1-1	2	5	7	13				
		U5-N-R1-2	3	5	5	12				
	U6	U6-N-R1-1	2	2	5	3	0	4	8	5
		U6-N-R1-2	3	3	7	5	4	8		

R	U	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Reiniger R2	U1	U1-N-R2-1	0	0	1	1	0	1	1	1
		U1-N-R2-2	0	0	0	1	0	1	2	1
	U2	U2-N-R2-1	0	2	2	3	2	3	3	11
		U2-N-R2-2	0	1	2	3	1	3	3	11
	U3	U3-N-R2-1	0	1	5	11				
		U3-N-R2-2	0	1	4	11				
	U4	U4-N-R2-1	2	4	3	4	2	5	5	3
		U4-N-R2-2	1	2	2	2	2	4	5	3
	U5	U5-N-R2-1	3	5	7	13				
		U5-N-R2-2	3	5	6	13				
	U6	U6-N-R2-1	4	7	5	7	4	11		
		U6-N-R2-2	5	7	7	8	4	12		

- 11 Probenausfall, da  $F > 10$  (Gesamtfunktionalität)
- 8 Probenausfall, da  $F_i > 3$  (Einzelfunktionalität)

Durch unzureichende Reinigungsergebnisse wurden Einzelwerte der Funktionalität von  $F_{Lack16} = 4$  bis 5 (gerade wahrnehmbare bzw. keine wahrnehmbare Farbmittelentfernung) erreicht, insgesamt ergaben sich dadurch für die Gesamtfunktionalität F-Werte von  $> 10$  (rot hinterlegt). Obwohl dieses Spray (Liquitex Spray Paint Acryllackes in Dioxazine Purple) bereits im vorherigen Zyklus auf einem anderen Wechselfeld genutzt wurde, führte es erst im 4. Zyklus zu Verlusten bei der Funktionalitätsbeurteilung. Auch die Einzelwerte

<sup>177</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme; Anhang B: Kennwerte zum Bewerten der Ergebnisse von Farbmittelentfernungen

des Permanentmarkers  $F_{\text{Marker}}$  bewirkten eine Überschreitung der Einzel- bzw. Gesamtfunktionalität.

Auf dem Untergrund U4, der Mauerscheibe in Sichtbetonqualität, zeigten die Reiniger R1 und R2 über alle Zyklen eine ausreichende Gesamtfunktionalität. Der Höchstwert lag bei  $F = 5$  (blau hinterlegt) und war auf die geringen Einzelwerte  $F_i$  zwischen 0 und 3 zurückzuführen. Die Reiniger R3 und R4 konnten im 7. Zyklus die Anforderungen an die Einzelfunktionalität nicht mehr erfüllen, der Marker erreichte mit  $F_{\text{Marker}} = 4$  nur eine gerade wahrnehmbare Farbmittelentfernung.

Auf dem Untergrund U6, der Betonplatte in Brettschaloptik, konnte keine einheitliche Entwicklung beobachtet werden. Je nach Ausbildung der Oberflächenstruktur erreichten alle vier Reiniger unterschiedliche Ergebnisse. Der Reiniger R1 konnte auf einer Probe in allen acht Zyklen die Forderungen der Funktionalität erfüllen, wohingegen auf der zweiten Probe bereits im sechsten Zyklus die Einzelfunktionalität  $F_{\text{Marker}} = 4$  zum Ausfall der Probe führte. Der Reiniger R2 unterlag mit  $F_i = 1$  bis 4 sowie der Gesamtfunktionalität von  $F \geq 10$  (rot hinterlegt) den Anforderungen. Ähnliche Ergebnisse erbrachten die Reiniger R3 und R4 auf dem Untergrund U6.

Aufgrund der nicht bestandenen Funktionalitätsprüfung konnten für die ungeschützten Prüfkörper in acht Zyklen insgesamt über 60 % Ausfälle (Verluste) verzeichnet werden, das entsprach 29 von 48 Prüfkörpern. Diese Betonproben konnten für weitere Untersuchungen nicht mehr eingesetzt werden.

Für die Zyklen 5 und 6 ergaben sich für die Reiniger R1 bis R3 gleiche Verluste (33 %), der Reiniger R4 wies eine geringfügig höhere Ausfallquote von 42 % auf.

Im 7. Zyklus stiegen die Ausfälle für die Reiniger R1 bis R3 leicht an. Im 8. Zyklus lagen die Verluste für die Reiniger R3 und R4 deutlich über den Reinigern R1 und R2. Vor allem der Reiniger R3 ragt mit 83 % Ausfällen hervor.

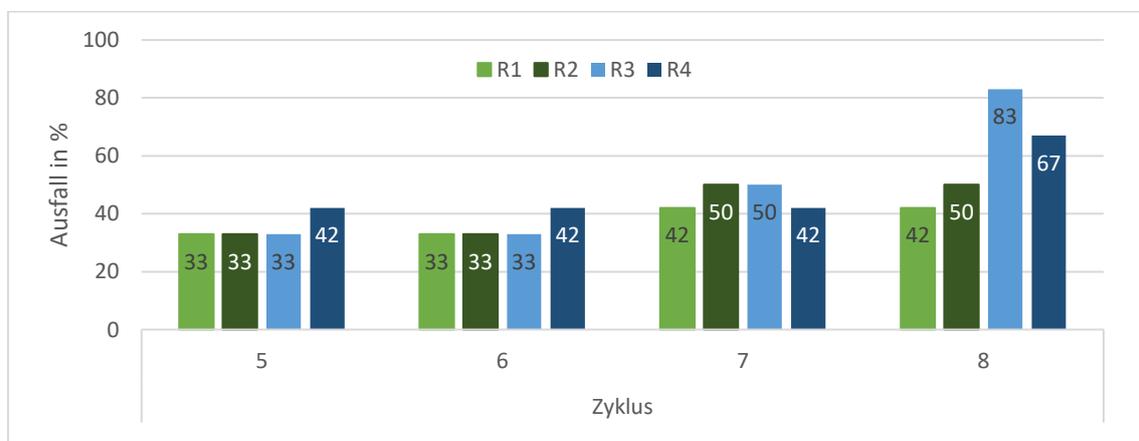


Abbildung 80: Ausfälle der unbeschichteten Prüfkörper ab dem 5. Zyklus in %

Drastisch waren die Probenausfälle für die rauen Untergründe. Bereits im 5. Zyklus erfüllten alle Betongehwegplatten (U5) nicht mehr die Ansprüche der Funktionalitätsprüfung, unabhängig vom Reiniger. Auch der Untergrund U3 (hochfeste, gestrahlte Fassadenplatte), welcher mit den Reinigern R1, R2 und R4 gesäubert wurde, war im 5. Zyklus von Verlusten betroffen. Die Reiniger R3 und R4 konnten auch auf dem Untergrund U6 keine ausreichenden Reinigungsergebnisse vorweisen, was ebenfalls zu Teilausfällen im 5. Zyklus führte.

Im 6. Zyklus gab es keine Veränderungen. Weitere Einbußen folgten im 7. Zyklus bei den Reinigern R1 und R2 auf dem Untergrund U6 sowie bei dem Reiniger R3 auf dem Untergrund U3.

Erste Defizite bei den glatten Untergründen (U1, U2 und U4) stellten sich im 8. Zyklus ein. Die Reiniger R3 und R4 führten zu Verlusten bei der Mauerscheibe (U4) und der Reiniger R3 zusätzlich bei der schalungsglatten Fassadenplatte (U1).

### **5.3.2 Prüfkörper mit AGS**

#### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Für die visuelle Betrachtung gemäß TP AGS-Beton<sup>178</sup>, wurden die AGS-beschichteten Betonoberflächen den Originalprüfkörpern gegenübergestellt. Es bildeten sich für die Untergründe U1 bis U6 je nach aufgetragenem System unterschiedliche Wahrnehmungen aus (Anhang 3.2, S. 226 und 227, Beispiel AGS4).

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1+AGS2)*

Durch die Applikation der hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 und AGS2 war kein Einfluss auf die Oberflächeneigenschaften (Textur und Farbe) erkennbar.

#### *Beschichtungen (AGS3+AGS4)*

Das AGS3 führte auf den hellen und glatten Untergründen U1 (schalungsglatte Fassadenplatte) und U4 (Sichtbeton-Mauerscheibe) ausschließlich zu einem leicht matten Glanz. Auf dem hellen, aber rauen Untergrund U6 (Betonplatte in Brettschaloptik) war neben einem leicht matten Glanz auch eine deutlich glattere Oberfläche zu beobachten. Bei dem glatten und dunklen Prüfkörper U2 (geschliffene Fassadenplatte) fiel neben dem leicht matten Glanz eine starke Farbbetonung auf. Der Untergrund wirkte durch das AGS3 tief und strahlend schwarz. Die dunklen und rauen Untergründe U3 (gestrahlte Fassadenplatte) und U5 (Betongehwegplatte) konnten als matt glänzend, mit einer drastisch glatteren Oberflächenstruktur sowie einer starken Farbbetonung beschrieben werden.

---

<sup>178</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

Der Untergrund U3 (hochfeste, sandgestrahlte Fassadenplatte) wirkte statt mattschwarz (Abb. 81) strahlender und tiefschwarz (Abb. 82). Für die Gehwegplatte (U5) konnte die betongraue, matte Originaloberfläche (Abb. 83) ebenfalls als deutlich strahlender und farbintensiver wahrgenommen werden (Abb. 84).

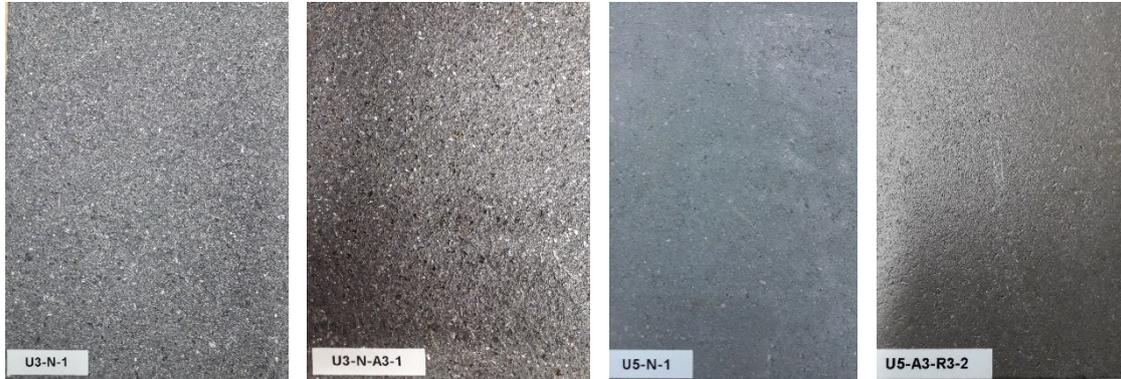


Abbildung 81: Originalprüfkörper U3 ohne AGS (NP)

Abbildung 82: Mit AGS3 beschichteter Prüfkörper U3

Abbildung 83: Originalprüfkörper U5 ohne AGS (NP)

Abbildung 84: Mit AGS3 beschichteter Prüfkörper U5

Das AGS4 erzeugte auf allen Untergründen einen sehr starken Glanz. Außerdem erlangten die dunklen Untergründe U2 (Abb. 85 und 86), U3 (Abb. 87 und 88) und U5 eine erhebliche Farbvertiefung.

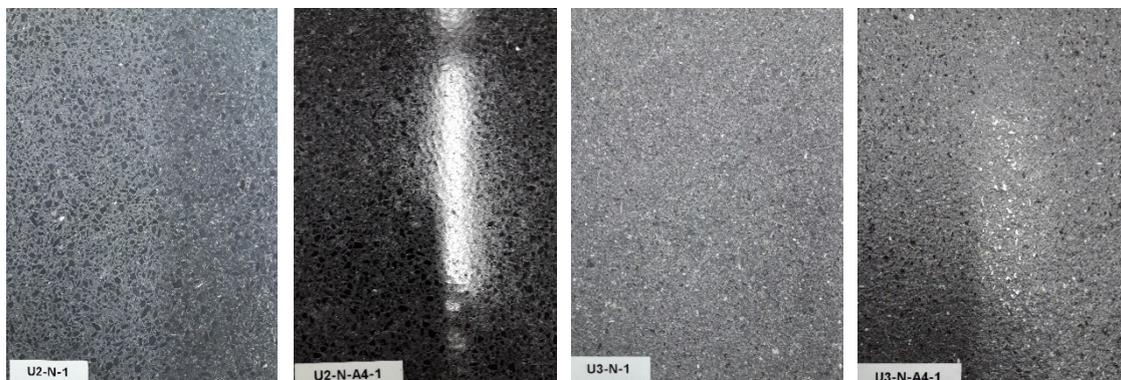


Abbildung 85: Originalprüfkörper U2 ohne AGS (NP)

Abbildung 86: Mit AGS4 beschichteter Prüfkörper U2

Abbildung 87: Originalprüfkörper U3 ohne AGS (NP)

Abbildung 88: Mit AGS4 beschichteter Prüfkörper U3

Wie zuvor das AGS3, bewirkte auch das AGS4 auf den rauen Untergründen eine Veränderung der Oberflächenstruktur, die Untergründe waren deutlich glatter.

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Der Einfluss der Bewitterung für die beschichteten Nullproben wurde mit den unbeschichteten Nullproben (Originalprüfkörper OP) verglichen (Anhang 5.1, S. 246).

Den durch die hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 und AGS2 geschützten Untergründen konnten nahezu gleiche Farbveränderungen (Glanz und Helligkeit)

nachgewiesen werden, wie den unbeschichteten Originalprüfkörper. Farbverluste, welche an den Originalprüfkörpern zu beobachten waren, traten hier gleichermaßen auf.

Dadurch besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass diese Systeme auch nach mehreren Jahren auf der Oberfläche optisch nicht in Erscheinung treten und sich folglich die geschützten Bereiche nicht von den ungeschützten Bereichen abheben werden.

Auffällig waren, wie bereits direkt nach dem AGS Auftrag, die Unterschiede der AGS3 und AGS4-beschichteten Prüfkörper im Vergleich zu den Originalprüfkörpern. Hier ergaben sich für die geschützten Prüfkörper über den Zeitraum von acht Zyklen (2,5 Jahre) deutliche Farbtiefen und ein matter bzw. starker Glanz, welcher bei den Originalprüfkörpern nicht zu beobachten war.

Die entstandene Farbtiefe auf der Oberfläche bewirkte dauerhaft ein neuwertiges Aussehen und war als matt bzw. stark glänzend zu beschreiben. Ein solches System trennt die geschützten und ungeschützten Oberflächen farblich voneinander. Nach optischer Beurteilung ist anzunehmen, dass der Einfluss der Bewitterung auf die Originaloberfläche durch die Beschichtungen stark verringert bzw. unterbunden wird.

#### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Die mit AGS geschützten Prüfkörper erzielten weitaus bessere Funktionalitätsergebnisse als die ungeschützten Prüfkörper.

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1+AGS2)*

Beeinträchtigungen bildeten sich überwiegend bei den Prüfkörpern mit einer hydrophobierenden Imprägnierung aus. Hier konnten die Untergründe U3 (gestrahlte Fassadenplatte) und U5 (Betongehwegplatte), wie bei den unbeschichteten Prüfkörpern, der Reinigung nur bis zum 4. Zyklus standhalten. Die Verwendung eines solchen Schutzsystems brachte in diesen Fällen keine Vorteile gegenüber den ungeschützten Untergründen. Auch hier waren die schlechten Ergebnisse der Einzelfunktionalität von F<sub>Lack16</sub> (Liquitex Spray Paint Acryllackes in Dioxazine Purple) sowie dem Permanentmarker (F<sub>Marker</sub>) mit F<sub>i</sub> = 5 ursächlich.

Im Anhang 5.1, S. 249 sind die erreichten Gesamtfunktionalitäten aller Untergründe mit den hydrophobierenden Imprägnierungen über acht Zyklen dargestellt.

#### *Beschichtungen (AGS3+AGS4)*

Positive Ergebnisse wurden für die Beschichtungen AGS3 und AGS4 ersichtlich. Die offenbar wirksamere Reinigungsleistung konnte visuell eindeutig wahrgenommen werden. Allerdings blieb auch der matte bzw. starke Glanz und die Farbtiefe erhalten, was sie dadurch konstant von den unbeschichteten Originalprüfkörpern abhob.

Die Tabelle 32 zeigt die Ergebnisse aus der visuellen Betrachtung für die Beurteilung der Funktionalität beider Beschichtungen auf.

Das AGS3 stellte eine prägnante Ausnahme dar, über acht Zyklen konnten alle Farbmittel vollständig entfernt werden und waren zumindest nach Augenschein, nicht mehr erkennbar. Für das AGS4 waren im 7. Zyklus durch Einzelfunktionalitäten von  $F_i \leq 4$  erste Probenverluste für die rauen Untergründe U3 und U5 festzustellen. Hier erzeugte vorrangig der Marker „gerade wahrnehmbare Farbmittelentfernungen“ mit  $F_{\text{Marker}} = 4$ . Die Gesamtfunktionalitäten lagen immer unter der Grenze von  $F \geq 10$  (orange hinterlegt).

Tabelle 32: Ergebnisse der Funktionalitätsbewertung für alle Untergründe (U) – geschützt mit AGS3 und AGS4, gereinigt mit den Reiniger R3 und R4

AGS	U	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
AGS3	U1	U1-A3-R3-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U1-A3-R3-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U1-A3-R3-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U2	U2-A3-R3-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U2-A3-R3-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U2-A3-R3-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U3	U3-A3-R3-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U3-A3-R3-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U3-A3-R3-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U4	U4-A3-R3-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U4-A3-R3-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U4-A3-R3-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U5	U5-A3-R3-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U5-A3-R3-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U5-A3-R3-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U6	U6-A3-R3-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U6-A3-R3-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U6-A3-R3-3	0	0	0	0	0	0	0	0
AGS4	U1	U1-A4-R4-1	0	0	0	0	0	0	0	0
		U1-A4-R4-2	0	0	0	0	0	0	0	0
		U1-A4-R4-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U2	U2-A4-R4-1	0	0	0	0	0	1	1	1
		U2-A4-R4-2	0	0	0	0	0	1	1	1
		U2-A4-R4-3	0	0	0	0	0	1	1	1
	U3	U3-A4-R4-1	0	0	0	1	1	4	5	
		U3-A4-R4-2	0	0	0	1	1	5	4	
		U3-A4-R4-3	0	0	0	1	1	4	4	
	U4	U4-A4-R4-1	0	0	0	0	0	0	1	1
		U4-A4-R4-2	0	0	0	0	0	0	2	1
		U4-A4-R4-3	0	0	0	0	0	1	1	1
	U5	U5-A4-R4-1	0	0	0	1	2	2	6	
		U5-A4-R4-2	0	0	1	5	3	8	9	
		U5-A4-R4-3	0	0	2	3	2	5	7	
	U6	U6-A4-R4-1	0	0	0	0	0	0	1	1
		U6-A4-R4-2	0	0	0	0	0	0	1	1
		U6-A4-R4-3	0	0	0	0	0	2	1	1

5

Probenausfall, da  $F_i > 3$  (Einzelfunktionalität)

#### Probenverluste (AGS1 bis AGS4)

Insgesamt waren die Verluste der geschützten Prüfkörpern erheblich geringer als bei den ungeschützten (Anhang 5.1, S. 247 und 248, Zusammenfassung aller verbliebenen PK im 8. Zyklus). Von insgesamt 72 Prüfkörpern fielen über 8 Zyklen 19 Prüfkörper aus (26,39 %). Mit einer Ausfallquote von 44 % im 8. Zyklus wies das AGS2, vor den AGS1 und AGS4 mit jeweils 33 %, die schlechtesten Resultate auf (Abb. 89). Die Beschichtung AGS3 zeigte mit 0 % Verlusten herausragende Ergebnisse.



Abbildung 89: Ausfälle der beschichteten Prüfkörper ab dem 5. Zyklus in %

Wie bei den ungeschützten Prüfkörpern, konnten auch hier erste Defizite bei den rauen Untergründen U3 (gestrahlte Fassadenplatte) und U5 (Betongehwegplatte) festgestellt werden. Dies betraf im 5. Zyklus alle Proben, die mit einer hydrophobierenden Imprägnierung (AGS1+AGS2) versehen waren. Im 7. und 8. Zyklus folgten für den Untergrund U6 (geschalte Betonplatte) die AGS2-geschützten Untergründe.

Erst im 8. Zyklus konnten erste Einbußen für das AGS4 (Beschichtung) festgestellt werden. Auch hier betraf das die rauen Untergründe U3 und U5. Die glatten Untergründe sowie die AGS3-geschützten Untergründe zeigten bis Ende des Prüfzeitraumes keine Ausfälle.

Die Abbildungen 90 bis 93 veranschaulichen zusammenfassend für die Betongehwegplatte (U5) die Unterschiede in der Reinigungsleistung (Funktionalität) während des 4. Zyklus.

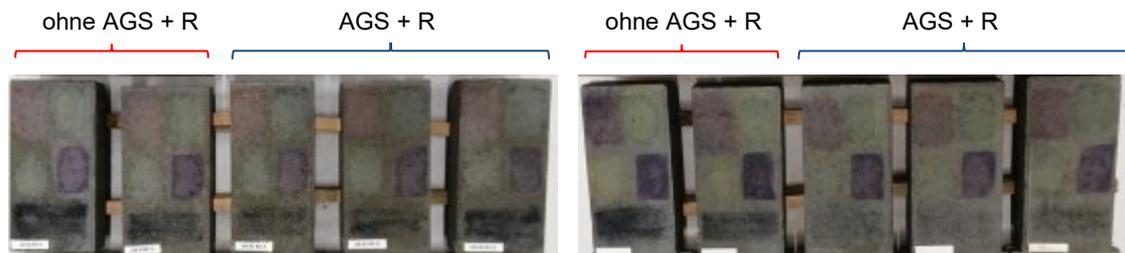


Abbildung 90: PK-Reihe U5 mit AGS1

Abbildung 91: PK-Reihe U5 mit AGS2



Abbildung 92: PK-Reihe U5 mit AGS3

Abbildung 93: PK-Reihe U5 mit AGS4

Die ungeschützten Prüfkörper (Abb. 90 – 93 mit ohne AGS + R gekennzeichnet) sowie die AGS1 und AGS2-geschützten Prüfkörper erzielten unzureichende Reinigungsergebnisse, die Farbstoffe waren nach der Reinigung noch deutlich auf der Oberfläche erkennbar (Abb. 90 und 91 mit AGS + R gekennzeichnet).

Die mit einer Beschichtung (AGS3 und AGS4) versehenen Prüfkörper zeigten bessere Ergebnisse (Abb. 92 und 93 mit AGS + R gekennzeichnet). Der Schutz des AGS3 ermöglichte eine vollständige Entfernung aller Farbmittel ohne jegliche Farbrückstände bzw. -schatten (Abb. 92).

Fazit:

- Die ungeschützten Prüfkörper zeigten bereits im vierten Reinigungszyklus unzureichende Reinigungsergebnisse, vor allem bei den rauen Untergründen.
- Auf den ungeschützten rauen Untergründen führte kein Reiniger zu dauerhaft erfolgreicher Reinigungsleistung.
- Reiniger alle auf Lösemittelbasis: Reiniger R1 bis R3 umfassen jeweils 3 Produkte (Kombianwendung) bestehend aus Graffiti-Entferner, Flüssigreiniger, Schattentferner und/oder Bleiche, Reiniger R4 lediglich ein Produkt zur Reinigung – für die Reinigung ungeschützter Flächen waren alle Reiniger nur bedingt geeignet.
- Auch das Farbmittel beeinflusste maßgeblich die Reinigungsleistung. Permanentmarker stellten hierbei die größte Herausforderung dar.
- Die Reiniger der Imprägnierungen (R1 und R2) erzielten auf rauen Untergründen (U3 und U5) nur geringfügig bessere Reinigungsergebnisse als auf den ungeschützten Prüfkörpern.
- Die Reinigungsleistung stand nicht in Bezug zur Festigkeit des Betons, sondern vielmehr der Oberflächenbeschaffenheit – je glatter die Oberfläche, desto besser die Reinigungsergebnisse.
- Anti-Graffiti-Systeme beeinflussten die Oberflächentextur (Rauheit) und die Oberflächeneigenschaften (Glanz, Farbe).
- Anti-Graffiti-Systeme verbesserten die Reinigungsleistung.
- Imprägnierungen waren als Schutzsystem auf den Betonoberflächen wenig bis gar nicht wahrnehmbar, Beschichtungen traten auf allen Betonoberflächen deutlich hervor und beeinflussten die Oberflächentextur sowie die -eigenschaften.
- Mit den Beschichtungen konnten auf allen rauen und glatten Untergründen mit Abstand bessere Reinigungsergebnisse erzielt werden.
- Das AGS3 führte auf allen geschützten Untergründen zu hervorragenden Reinigungsergebnissen, alle Prüfkörper konnten über acht Zyklen vollständig (ohne Rückstände) gereinigt werden.

## 5.4 Glanz

### 5.4.1 Prüfkörper im Originalzustand

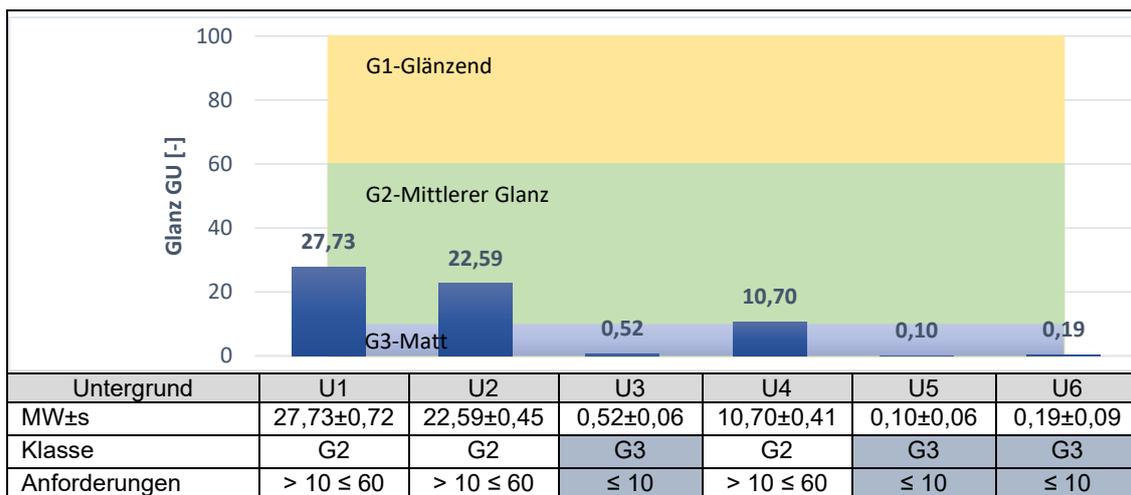
#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) im Originalzustand

Die Einstufung des Glanzwertes GU [-] erfolgte nach DIN EN 1062-1<sup>179</sup> in die Klassen G1 – Glänzend, G2 – Mittlerer Glanz und G3 – Matt (s. Tabelle 12, S. 55).

Über die Berechnung der Mittelwerte ( $n_U = 30$ ) konnten die Untergründe der entsprechenden Glanzklasse (Tabelle 33) zugeordnet werden. Eine Aufstellung der 1440 Einzelwerte befindet sich in Anhang 2.4, S. 220.

Keiner der verwendeten Betonuntergründe im Originalzustand war als glänzend einzu-  
stufen. Die glatten Oberflächen (U1, U2, U4) waren der Klasse G2 – Mittlerer Glanz, die  
rauen Oberflächen (U3, U5, U6) der Klasse G3 – Matt (blau hinterlegt) zuzuordnen. Die  
Einstufung des Untergrundes U4 in die Klasse G2 mit + 0,7 GU lag nahe an der Grenze  
zur Klasse G3.

*Tabelle 33: Mittlere Glanzwerte, dazugehörige Standardabweichungen (MW±s) und Klassen-  
einteilung der Untergründe U1 bis U6*



Für die glatten Untergründe U1, U2 und U4 lagen die relativen Standardabweichungen (RSD) mit 1,99 % (0,45 GU für U2), 2,61 % (0,72 GU für U2) und 3,80 % (0,41 GU für U4) im niedrigen Bereich.

Die relativen Standardabweichungen (RSD) der rauen Untergründe U3, U5 und U6 waren mit 11,34 % (0,06 GU für U3) 64,31 % (0,06 GU für U5) und 46,61 % (0,09 GU für U6) sehr hoch.

Die visuelle Betrachtung ergab für die glatten Untergründe eine glänzendere Oberfläche, die Messungen des Glanzes bestätigten diese Wahrnehmung. Die rauen Untergründe

<sup>179</sup> DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung

wirkten hingegen matter und erreichten auch bei den Glanzmessungen eindeutig geringere Messwerte.

Diese Erkenntnisse wiesen darauf hin, dass ein Einfluss der Oberflächentextur auf den Glanz bestand. Des Weiteren ließ sich der Glanz der glatten Untergründe (U1, U2, U4) exakter messen, was die relativen Standardabweichungen verdeutlichten.

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Bereits nach dem ersten Bewitterungszyklus zeigte sich, dass alle Originalprüfkörper, mit Ausnahme des Untergrundes U6, stark an Glanz verloren (Abb. 94). Die geschalte Betonplatte (U6) nahm etwas an Glanz zu, allerdings war hier bereits vor der Bewitterung ein geringer Anfangswert zu beobachten.

Die rauen Untergründe zeigten von Beginn an sehr geringe Glanzwerte (0,10 bis 0,52 GU). Durch die Bewitterung reduzierten sich diese für die rauen, dunklen Untergründe, U3 (gestrahlte Fassadenplatte) sowie U5 (Gehwegplatte) weiter bis zu einem Wert von 0,00 GU.

Die glatten Untergründe (U1, U2 und U4) verloren unabhängig von ihrer Farbgebung alle an Glanz. Nach acht Zyklen wurden Glanzwerte von 0,20 – 0,42 GU erreicht.

Somit kann für alle Untergründe ein starker Einfluss auf deren Glanzwerte durch die Bewitterung bestätigt werden. Sie entsprachen nach der Bewitterung alle der Klasse G3 – matt.

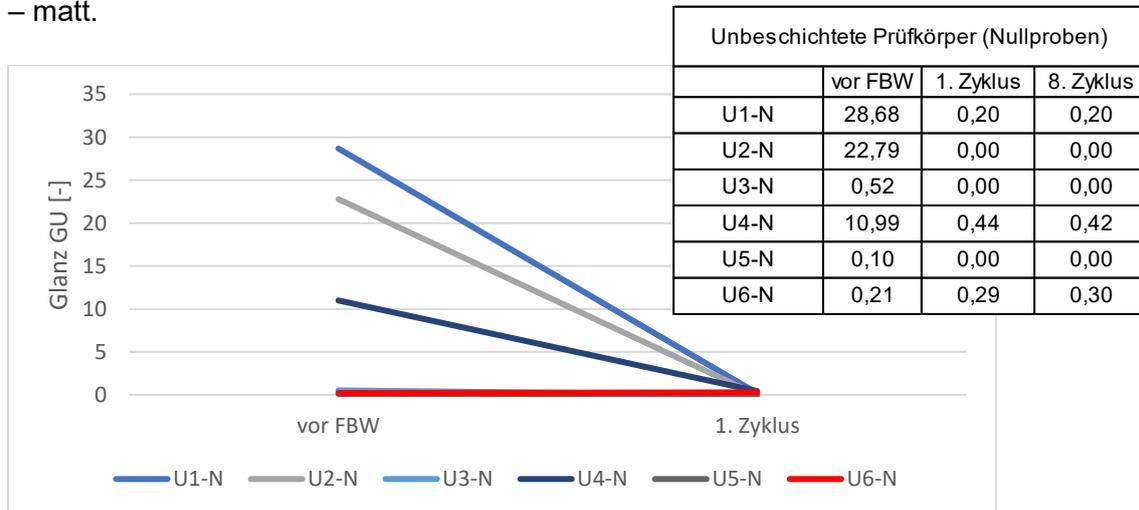


Abbildung 94: Glanzveränderungen der unbeschichteten Prüfkörper unter Einfluss der Bewitterung

#### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Für die unbeschichteten Prüfkörper, welche neben der Bewitterung auch dem Farbauftrag und der Reinigung ausgesetzt waren, konnte zunächst für alle Betonplatten eine Reduzierung des Glanzwertes festgestellt werden. Ab dem 4. Zyklus waren für die glatten Untergründen (U1, U2 und U4) teils leichte Zunahmen der Glanzwerte erkennbar. Allerdings waren diese so gering, dass sie weiterhin als matt eingestuft werden konnten.

Die Abbildung 95 gibt beispielhaft die Veränderungen aller Untergründe, welche mit dem Reiniger R1 gereinigt wurden, wieder.

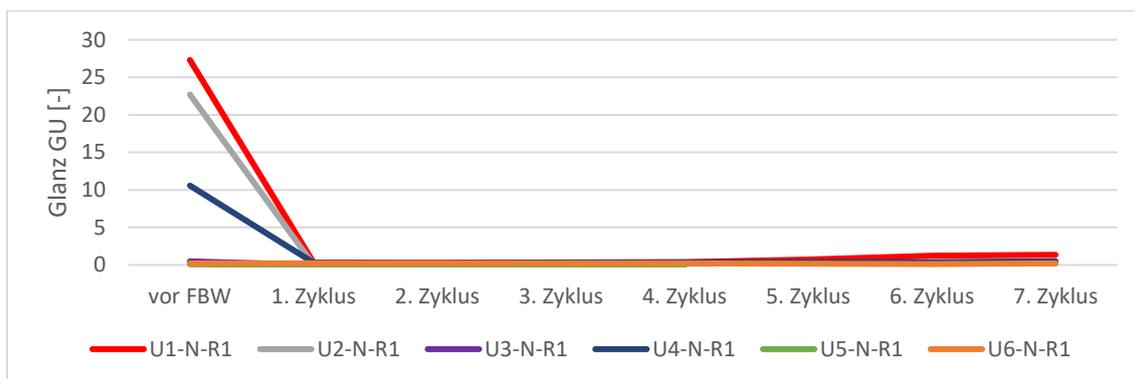


Abbildung 95: Entwicklung der Glanzwerte aller Untergründe am Beispiel des Reiniger R1

Die Reduzierung der Glanzwerte nach der ersten Bewitterungsphase ist klar erkennbar und entspricht den Werten der Originalprüfkörper. Hier kann davon ausgegangen werden, dass zunächst die Bewitterung einen größeren Einfluss auf die Veränderungen des Glanzes nahm. Mit zunehmenden Reinigungszyklen konnte für den Glanz auch ein Einfluss durch verbliebene Farbreste auf der Oberfläche bzw. durch die Reinigung festgestellt werden.

## 5.4.2 Prüfkörper mit AGS

### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Nach dem Auftrag der AGS wurde deren Einfluss auf den Glanzwert bemessen und den Ergebnissen der Originalproben gegenübergestellt (Anhang 3.3, S. 229), um mögliche Veränderungen in der Oberfläche aufzuzeigen (Tab. 34).

Tabelle 34: Darstellung der mittleren Glanzwerte sowie der Glanzklassen im Originalzustand und nach dem Auftrag der AGS

Untergrund	U1				U2				U3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
AGS	11,87	56,19	48,24	85,81	10,59	39,40	50,10	82,94	0,78	4,11	18,54	9,47
MW n. A. <sup>1)</sup>												
MW OP <sup>2)</sup>	27,73				22,59				0,52			
Klasse n. A. <sup>3)</sup>	G2	G2	G2	G1	G2	G2	G2	G1	G3	G3	G2	G3
Klasse o. <sup>4)</sup>	G2				G2				G3			
Untergrund	U4				U5				U6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
AGS	9,60	31,43	48,91	88,84	0,52	0,16	25,63	13,43	0,20	0,19	23,10	23,82
MW n. A. <sup>1)</sup>												
MW OP <sup>2)</sup>	10,70				0,10				0,19			
Klasse n. A. <sup>3)</sup>	G3	G2	G2	G1	G3	G3	G2	G2	G3	G3	G2	G2
Klasse o. <sup>4)</sup>	G2				G3				G3			

<sup>1)</sup> MW n. A. = Mittelwert nach Auftrag der AGS

<sup>2)</sup> MW OP = Mittelwert der Originalprüfkörper

<sup>3)</sup> Klasse n. A. = Klasse nach Auftrag der AGS

<sup>4)</sup> Klasse o. = Klasse original (Betonprüfkörper im Originalzustand)

Der Untergrund U1 wurde klassentechnisch nur durch den Auftrag des AGS4 beeinflusst, es erfolgte eine Veränderung von der Klasse G2 – mittlerer Glanz in die Klasse G1 – glänzend (gelb hinterlegt). Allerdings war durch die Applikation aller AGS eine Veränderung des Glanzes eingetreten. Durch den Auftrag des AGS1 nahm der Glanz des Untergrundes U1 um 57 % ab. Das AGS2 verursachte eine Glanzsteigerung von 103 %, das AGS3 von 74 % und das AGS4 209 %.

Die Einteilung in die Klassen, als auch die Glanzänderungen des Untergrundes U2 sind fast identisch mit dem Untergrund U1. Auch hier veränderte nur das AGS4 die Klasseneinteilung von G2 – mittlerer Glanz in G1 – glänzend (gelb hinterlegt).

Der Untergrund U3 war vor Auftrag der AGS der Klasse G3 – matt zuzuordnen, durch den Auftrag des AGS3 erfolgte die Einteilung in die Klasse G2 – mittlerer Glanz (grün hinterlegt). Das AGS3 führte zu einer Zunahme des Glanzes um 3465 %, statt einem Wert von 0,52 GU betrug der Wert hier 18,54 GU.

Auch der Untergrund U3 verlor durch den Auftrag des AGS1 50 % an Glanz. Die AGS2 bis AGS4 sorgten wiederum für eine Verstärkung des Glanzes. Das AGS2 um 690 % und das AGS4 um 1721 %, was jedoch keinen Einfluss auf die Klassenzuteilung hatte. Vor Auftrag der AGS entsprach der Untergrund U4 der Klasse G2 – mittlerer Glanz. Nur die Aufträge der AGS2 und AGS3 konnten diese Klasse beibehalten, allerdings mit einer Zunahme des Glanzes um 194 % bzw. 357 %.

Der Auftrag des AGS1 bewirkte eine Einstufung in die Klasse G3 – matt (blau hinterlegt), wobei die Differenz des Glanzunterschiedes zum Originalprüfkörper mit einer Abnahme um 10 % sehr gering ausfiel. Die größte Glanzsteigerung wurde mit 833 % durch das AGS4 hervorgerufen und erfüllte die Anforderungen der Klasse G1 – glänzend (gelb hinterlegt).

Der Klasse G3 – matt entsprach der Untergrund U5 vor Auftrag der AGS. Durch die Applikation der Imprägnierungen (AGS1 + AGS2) wurde die Klasse G3 bestätigt. Beide AGS führten zu einer Zunahme des Glanzes (AGS1 um 420 %, AGS2 um 60 %).

Der Einfluss der Beschichtungen (AGS3 + AGS4) war um ein Vielfaches größer. Beide Systeme ließen den Untergrund U5 durch Steigerungen von 25.530 % (AGS3) bzw. 13.330 % (AGS4) in die Klasse G2 – mittlerer Glanz (grün hinterlegt) fallen.

Die Klasseneinteilung des Untergrundes U6 erfolgte ebenfalls in G3 – matt bevor ein AGS aufgetragen wurde. Auch hier konnte die Klasse durch den Auftrag der AGS1 und AGS2 beibehalten werden. Die hydrophobierenden Imprägnierungen beeinflussten den Glanz kaum: bei dem AGS1 um 5 %, das AGS2 nahm keinen Einfluss. Auch hier war die Veränderung des Glanzes durch die Beschichtungen deutlich höher. Das AGS3 (Glanzzunahme um 12.058 %) und das AGS4 (Glanzzunahme um 12.437 %) führten

durch den Auftrag auf den Untergrund U6 folglich zu einer Einstufung in die Klasse G2 – mittlerer Glanz (grün hinterlegt).

Die Abbildung 96 stellt die Wechselwirkung des Glanzes aller Untergründe durch den Auftrag der AGS1 bis AGS4 gegenüber den Originalprüfkörpern (OP) ohne AGS dar. Auffällig waren die starken Veränderungen der Betonoberflächen durch die Beschichtungen (AGS3 und AGS4). Glanzsteigerungen von 73 % bis 25.530 % (siehe Kästchen Abb. 96) unterstützen die visuelle Einschätzung.

Die glatten Untergründe (U1, U2 und U4) zeigten bereits im Originalzustand einen stärkeren Glanz, als die rauen Untergründe. Nach dem Auftrag der AGS blieben die enormen Glanzunterschiede zwischen den glatten und rauen Untergründen erkennbar und messbar. Zwar sorgte die Applikation des AGS1 für eine geringe Reduzierung der Glanzwerte bei den glatten Untergründen, sie hoben sich dennoch deutlich von den rauen Untergründen ab.

Für die Beschichtungen (AGS3+AGS4) war trotz stärkerer prozentualer Glanzzunahme bei den rauen Untergründen (U3, U5, U6) ein beachtlicher Abstand zu den glatten Untergründen erkennbar. Somit zeigte sich auch hier, dass der Glanz durch die Oberflächentextur beeinflusst wurde.

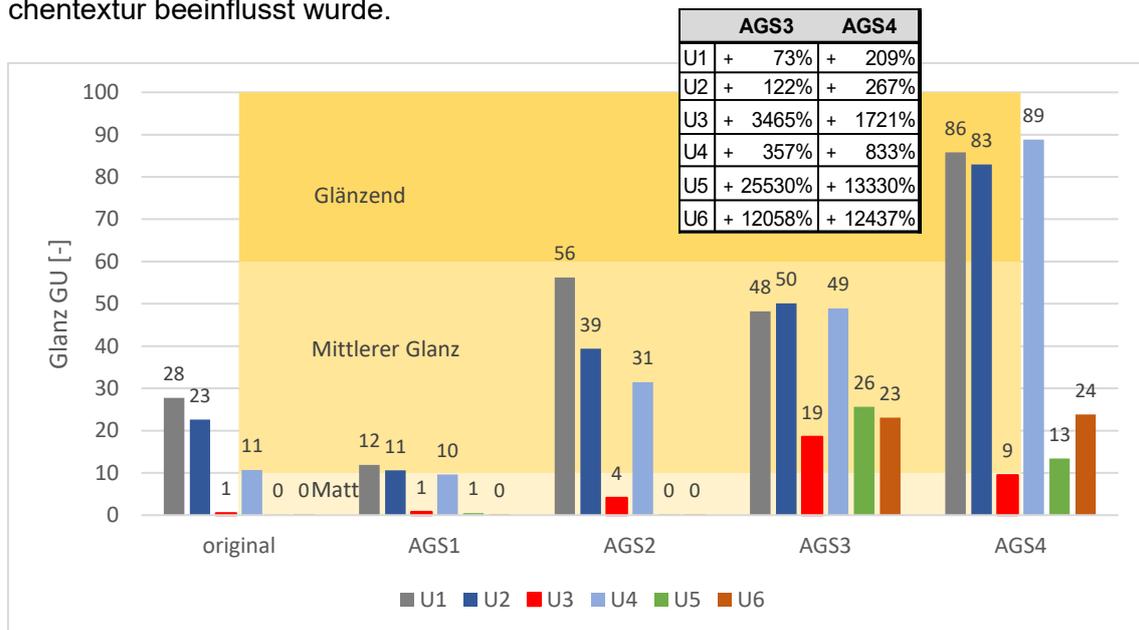


Abbildung 96: Gegenüberstellung der Glanzänderungen der Originalprüfkörper und den beschichteten Prüfkörpern

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Auch hier erfolgte der Vergleich der unbeschichteten Originalprüfkörper mit den beschichteten Nullproben. Die Abb. 97 und 98 zeigen beispielhaft die Entwicklung für die Untergründe U1 und U4. Weitere Vergleiche sind im Anhang 4.3, S.238 dargestellt.

Die Originalprüfkörper (rot dargestellt) wiesen eine homogene Entwicklung auf, alle Untergründe verloren unter dem Einfluss der Bewitterung an Glanz. Bereits im ersten

Bewitterungszyklus reduzierten sich die Glanzwerte soweit, dass die Prüfkörper von der Klasse G2 – mittlerer Glanz in die Klasse G3 – matt herabgestuft wurden.

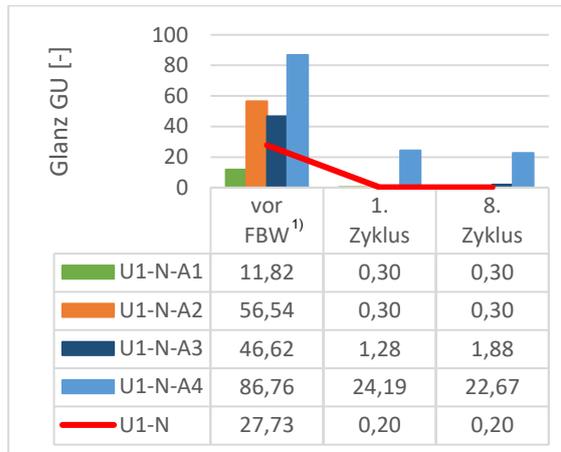


Abbildung 97: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und unbeschichteten NP U1

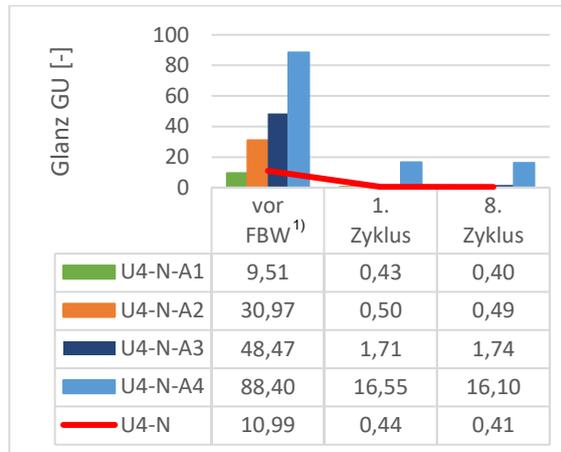


Abbildung 98: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und unbeschichteten NP U4

<sup>1)</sup> FBW: Freibewitterung

Ein äquivalenter Verlauf konnte für die hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 (grün) und AGS2 (orange) festgestellt werden. Dabei wurde deutlich, dass sie durch die Applikation vorübergehend den Glanzwert der Untergründe veränderten, sich aber schon nach dem 1. Zyklus identische Resultate wie bei den ungeschützten Originalprüfkörpern entwickelten. Unabhängig von der Farbgebung und der Textur der Oberfläche, konnten hier annähernd gleiche Ergebnisse ermittelt werden.

Anders verhielten sich die Untergründe mit einer Beschichtung. Das AGS3 (dunkelblau) wies bspw. für den Untergrund U1 bis in den achten Zyklus Glanzwerte vor, die 530 % über denen der Originalprüfkörper lagen. Noch ausgeprägter war der Oberflächenglanz durch das AGS4 (hellblau). Für den Untergrund U1 wurden über den gesamten Prüfzeitraum Glanzwerte ermittelt, die 11.235 % höher waren als die der OP.

Für den Einsatz auf einer Fassade oder einem Fassadenabschnitt muss somit bei der Verwendung von Beschichtungen mit deutlichen, farblichen Abgrenzungen gerechnet werden, denn die Originalprüfkörper verloren an Glanz und die Beschichtungen folgten dem nicht in gleicher Konsequenz. Es bestätigte sich der visuelle Eindruck, des matten und sehr starken Glanzes.

#### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Neben dem Einfluss der Bewitterung lag hier zusätzlich eine Beeinflussung durch Farbaufträge und Reinigung vor.

Aufgrund der mittleren Glanzwerte waren, mit Ausnahme der AGS4-beschichteten Prüfkörper, alle Prüfkörper bereits nach dem ersten Zyklus bis zum Abschluss der Versuche

der Klasse G3 – Matt zuzuordnen. Für die AGS4-beschichteten Prüfkörper der rauen Untergründe U3, U5 und U6 erfolgte ebenfalls die Einteilung in die Klasse G3, für die glatten Untergründe U1, U2 und U4 in die Klasse G2 – mittlerer Glanz. Die Abbildungen 99 und 100 zeigen beispielhaft die Entwicklung der Untergründe U2 und U4.

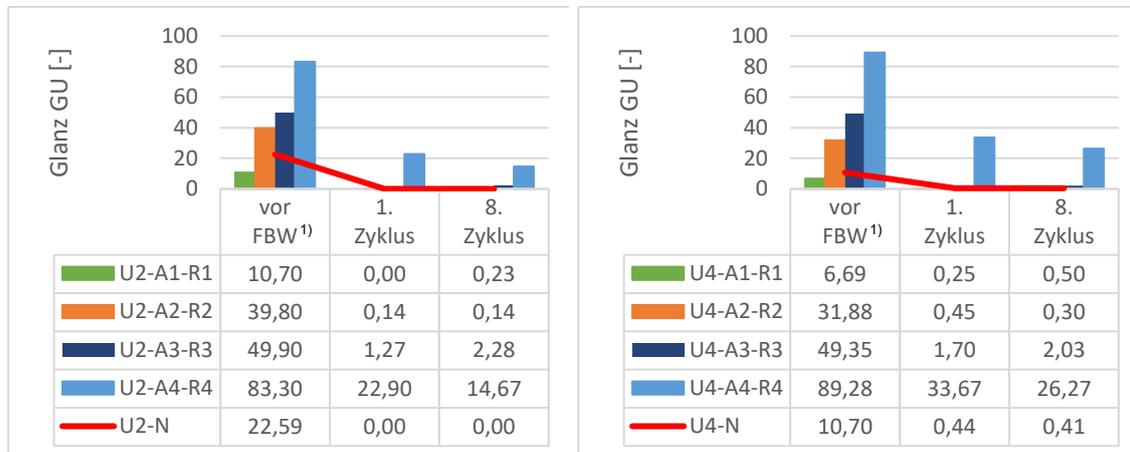


Abbildung 99: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und gereinigten Prüfkörper U2 bis zum 8. Zyklus

Abbildung 100: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und gereinigten Prüfkörper U4 bis zum 8. Zyklus

<sup>1)</sup> FBW: Freibewitterung

Auch unter der zusätzlichen Belastung durch Farbauftrag und Reinigung verhielten sich die Untergründe mit einer hydrophobierenden Imprägnierung (grün und orange) ähnlich den Originalprüfkörpern (rot).

Erneut lagen die Glanzwerte für die Untergründe mit den Beschichtungen unverkennbar über denen der Originalprüfkörper. Für den Untergrund U4 (Abb. 100), der Mauer-scheibe, ergaben sich nach acht Zyklen Glanzmessungen, die 395 % (AGS3) bzw. 6307 % (AGS4) über den OP lagen. Diese Ergebnisse bestätigten ergänzend die visuelle Betrachtung.

Fazit:

- Die glatten Oberflächen der Originalprüfkörper konnten (U1, U2, U4) der Klasse G2 – Mittlerer Glanz, die rauen Oberflächen (U3, U5, U6) der Klasse G3 – Matt zugeordnet werden.
- Der Auftrag der AGS beeinflusste die Glanzwerte der Betonoberflächen. Wobei diese bei den Imprägnierungen (AGS1+AGS2) mit Veränderungen von -57 % bis +690 % deutlich geringer ausfielen, als bei den Beschichtungen (AGS3+AGS4). Hier konnten Glanzzunahmen von 74 % bis 25.530 % ermittelt werden, welche bereits durch die visuelle Begutachtung festgestellt wurden.
- Die Glanzklassen wiesen eine sehr weite Spannbreite für die Glanzwert – Anforderungen auf. Sie schlossen bspw. die matt glänzenden AGS3-beschichteten

Prüfkörper in die Klasse G3 – Matt ein ( $GU \leq 10$ ). Durch die deutliche Farbtiefe und den matten Glanz konnten sie nach Augenschein eher als glänzend wahrgenommen werden.

- Die Bewitterung hat auf alle unbeschichteten und beschichteten Prüfkörper erheblich Einfluss genommen. Nach dem ersten Bewitterungszyklus zeigten sich unabhängig von den Oberflächeneigenschaften oder dem Schutzsystem stark reduzierte Glanzwerte.
- Dem Farbauftrag und der Reinigung konnte nur eine geringe Einwirkung auf die Glanzentwicklung nachgewiesen werden.
- Die Ergebnisse der gemessenen Glanzgrade und insbesondere die der visuellen Begutachtung verdeutlichten, dass Beschichtungen einen Film auf dem Untergrund bildeten, der diesen vor Witterungseinflüssen (z.B. UV-Strahlung) schützen kann. Allerdings muss auf einer teilweise geschützten Fassade mit optischen Beeinträchtigungen gerechnet werden. Die hydrophobierenden Imprägnierungen verändern den Untergrund hingegen wenig bis gar nicht.

## 5.5 Helligkeit

### 5.5.1 Prüfkörper im Originalzustand

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) im Originalzustand

Von allen 180 Prüfkörpern ( $n_U = 30$ ) wurde der Helligkeitsgrad  $L^*$  [-] bestimmt. Aus 540 Einzelwerten (Anhang 2.5, S. 221) konnten die Mittelwerte (MW) und die Standardabweichungen (s) für jeden Untergrund ermittelt werden (Tab. 35).

*Tabelle 35: Mittlere Helligkeitswerte und Standardabweichung ( $MW \pm s$ ) der Betonuntergründe im Originalzustand*

Untergrund	U1	U2	U3	U4	U5	U6
MW $\pm$ s	25,75 $\pm$ 0,54	8,56 $\pm$ 0,35	45,22 $\pm$ 0,27	69,14 $\pm$ 0,41	48,03 $\pm$ 0,48	32,61 $\pm$ 3,80
Zuordnung	0 = reines Schwarz		← bis →		100 = reines Weiß	

Die Einteilung der Helligkeit  $L^*$  [-] wird von 0 = reines Schwarz bis 100 = reines Weiß vorgenommen (DIN 5033-1<sup>180</sup>). Die Probenreihe U4 (hellbeige Mauerscheibe) erreichte mit 69,14 den höchsten Helligkeitswert. Mit 8,56 lag der Untergrund U2 (matt-schwarze Fassadenplatte) dem reinen Schwarz am nächsten.

Auffallend war die relative Standardabweichung (RSD) des Untergrundes U6 mit 11,64 % ( $s = 3,80$ ). Diese ergab sich aus der vielseitigen Optik und Haptik des Untergrundes.

<sup>180</sup> DIN 5033-1:2017-10, Farbmessung - Teil 1: Grundbegriffe der Farbmessung

Die Abbildung 101 zeigt beispielhaft drei der insgesamt 30 Prüfkörper der U6-Reihe (geschalte Betonplatte). Die unterschiedliche Oberflächenstruktur, der verwendeten Holzschalung, zeichnete sich deutlich ab.



Abbildung 101: Unterschiede in der Oberflächenstruktur des Untergrundes U6

Für die Untergründe U1 bis U5 lagen die relativen Standardabweichungen (RSD) hingegen mit 0,59 % (s = 0,41 für U5) bis 4,14 % (s = 0,35 für U2) im niedrigen Bereich.

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Durch die Bewitterung zeigten die Prüfkörper im Originalzustand (OP) insbesondere nach dem ersten Zyklus teils starke Veränderungen des Helligkeitsgrades. Mit einer Zunahme der Helligkeit von 344 % für den Untergrund U2 (Abb. 102, grau dargestellt), 124 % für den Untergrund U6 (Abb. 102, orange dargestellt) und 120 % für den Untergrund U1 (Abb. 102, rot dargestellt) konnten hier beträchtliche Steigerungen ermittelt werden. Geringfügig beeinflusst wurden die Untergründe U3 (-2 %), U4 (-5 %) und U5 (+4 %).

Nach diesen Veränderungen während des ersten Bewitterungszyklus konnte für alle Prüfkörper in den folgenden Zyklen eine relativ gleichbleibende Helligkeit beobachtet werden (Abb. 102).

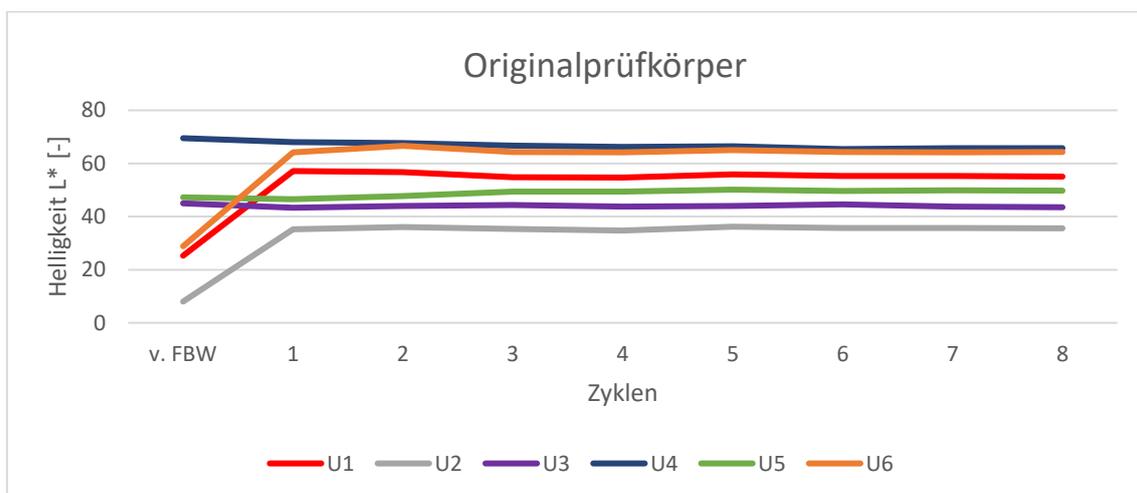


Abbildung 102: Veränderungen der Helligkeitsgrade der Originalprüfkörper durch Bewitterung in acht Zyklen

### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Die Helligkeitsveränderungen der ungeschützten Prüfkörper konnten zunächst ausschließlich den Bewitterungseinflüssen zugeordnet werden. Erst ab dem 4. Zyklus beeinflussten zusätzlich der Farbauftrag und die Reinigung die Helligkeit.

Wobei die Beobachtungen keinen eindeutigen Zusammenhang mit der Oberflächenfarbe oder -textur ergaben. Eine gleichmäßige Entwicklung war nicht erkennbar. Ein ständiger Wechsel von Zu- und Abnahmen der Helligkeit wurde für alle Untergründe ermittelt.

Die Abbildungen 103 und 104 zeigen die Schwankungen an den Beispielen der Reiniger R2 und R4. Der stärkste Einflussfaktor war auch hier die Bewitterung, denn zu keinem Zeitpunkt erfolgten stärkere Veränderungen, als im 1. Zyklus, noch vor dem ersten Farbauftrag und der ersten Reinigung.

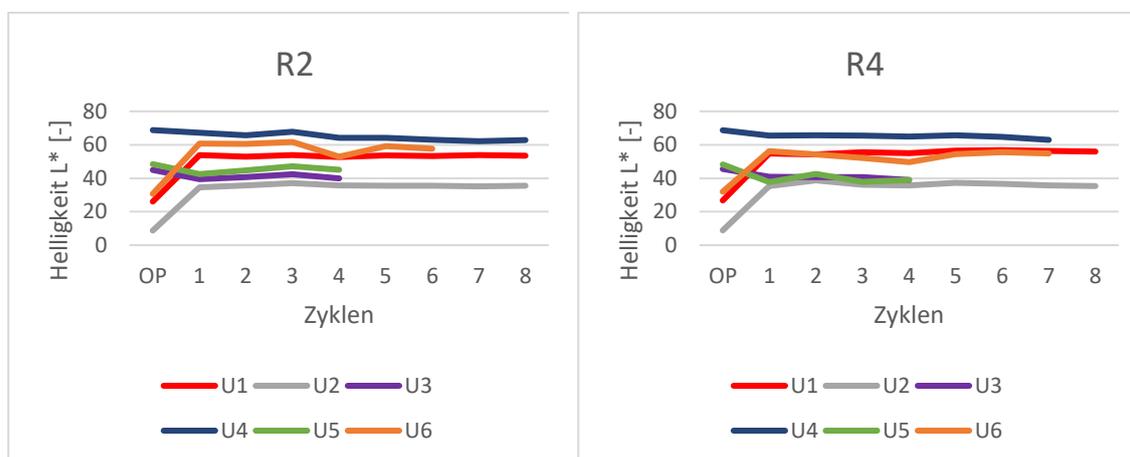


Abbildung 103: Helligkeitsveränderungen der unbeschichteten Untergründe des Reinigers R2  
Abbildung 104: Helligkeitsveränderungen der unbeschichteten Untergründe des Reinigers R4

### **5.5.2 Prüfkörper mit AGS**

#### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Wie der Glanz, wurde auch die Helligkeit der Untergründe der Originalprüfkörper (OP) durch den AGS-Auftrag verändert (Anhang 3.4, S. 228), hier jedoch mit Reduzierungen.

Die größten Einwirkungen durch die Applikation erfuhr die sandgestrahlte matt-schwarze Fassadenplatte U3. Zwischen 74 % und 76 % nahm die Helligkeit ab. Ähnliche Veränderungen konnten für den Untergrund U5, der Gehwegplatte, ermittelt werden. Die Helligkeit reduzierte sich um 70 % bis 75 %.

Der glatte Untergrund U4 (hellbeige Mauerscheibe) verlor etwa die Hälfte seiner Helligkeit. Mit 50 % bzw. 49 % verursachten die hydrophobierenden Imprägnierungen sogar einen etwas stärkeren Helligkeitsverlust als die Beschichtungen mit 43 % bzw. 40 %.

Diese Ergebnisse bestätigten nur teilweise die visuelle Begutachtung, welche eine starke Farbbetonung/Farbtiefe für die Beschichtungen AGS3 und AGS4 erbrachte. Dagegen war der Einfluss durch die Applikation der hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 und AGS2 nach Augenschein nicht ersichtlich.

Die Abbildungen 105 und 106 zeigen repräsentativ für alle Systeme die Entwicklungen der Helligkeit. Unverkennbar traten die starken Helligkeitsverluste der Untergründe U3, U4 und U5 hervor, wohingegen die Helligkeit der Untergründe U1, U2 und U6 sehr konstant verblieb. Pauschal ließen sich die Veränderungen weder auf die Oberflächenstruktur noch -farbe projizieren.

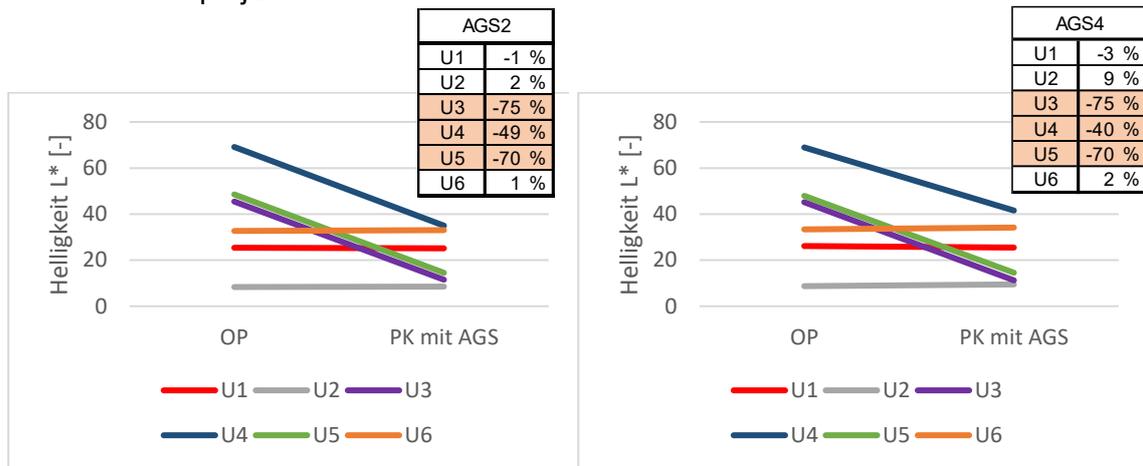


Abbildung 105: Veränderungen der Helligkeit durch Auftrag des AGS2

Abbildung 106: Veränderungen der Helligkeit durch Auftrag des AGS4

Wie in den Literaturangaben gefordert, wurden die Oberflächeneigenschaften durch den Auftrag der hydrophobierenden Imprägnierungen kaum bis wenig beeinflusst. Gerade in der Beurteilung nach Augenschein ließen sich keine Veränderungen feststellen. Die Ergebnisse aus den messtechnischen Untersuchungen ergaben zwar teils deutliche Änderungen, doch stehen dem die weitaus dominierenden Ergebnisse für die Beschichtungen entgegen. Diese konnten visuell als auch messtechnisch nachgewiesen werden.

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Durch den Auftrag der AGS konnte zunächst vorherrschend eine Abnahme der Helligkeit beobachtet werden, wie die Abbildung 107 am Beispiel des AGS1 zeigt (Anhang 4.4, S. 239 bis 240, AGS2 bis AGS4). Eine Ausnahme bildete der Untergrund U6 (geschalte Betonplatte). Diese verzeichnete durch den Auftrag aller vier Systeme eine Zunahme der Helligkeit.

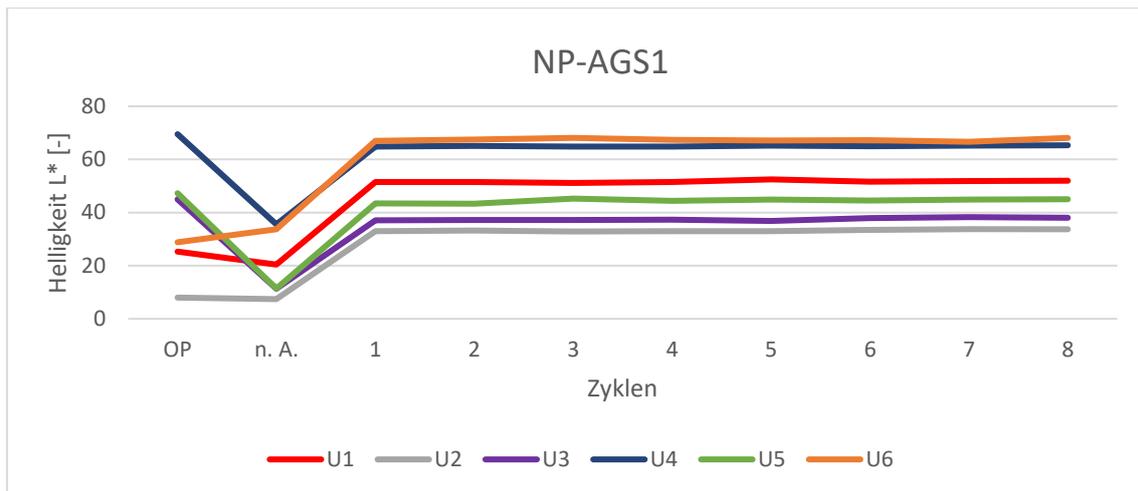


Abbildung 107: Veränderungen der Helligkeit durch Auftrag (n. A.) des AGS1 und dem Bewitterungseinfluss über acht Zyklen

Während des ersten Bewitterungszyklus nahmen alle Prüfkörper an Helligkeit zu. Es ergaben sich für die Untergründe U1, U2 und U6 die stärksten Helligkeitszunahmen, welche bis zu 470 % über den Ausgangswerten der Originalprüfkörper lagen.

Die Helligkeitssteigerungen der Untergründe U3, U4 und U5 erfolgte soweit, dass sie annähernd den Ausgangswerten der Originalprüfkörper entsprachen.

Im weiteren Bewitterungsverlauf konnten für alle Untergründe überwiegend konstante Werte ermittelt werden.

#### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Bei den geschützten Untergründen, die dem Farbauftrag und der Reinigung ausgesetzt waren, wurden die größten Helligkeitssteigerungen bei den dunklen Untergründen U2, U3 und U5 gemessen.

Die Abbildungen 108 und 109 verdeutlichen die Veränderungen der Helligkeit beispielhaft für das AGS1 und das AGS3 (Anhang 4.4, S. 241 bis 242, AGS2 und AGS4). Unverkennbar stieg in der ersten Bewitterungsphase die Helligkeit aller Untergründen an. Demnach schien neben dem AGS-Auftrag die Bewitterung einen größeren Einfluss auf die Helligkeit zu nehmen, als die Reinigung. Im weiteren Verlauf konnten für alle Prüfkörper über die Zyklen 1 bis 8 überwiegend stabile und einheitliche Werte gemessen werden. Für den Untergrund U6 (Abb. 108, orange) behandelt mit AGS1 sowie den Untergrund U1 (Abb. 109, rot) geschützt mit AGS3 waren geringe Schwankungen in den Helligkeitswerten (Zu- und Abnahmen) zu beobachten. Diese könnten auf den Farbauftrag und/oder die Reinigung zurückzuführen sein.

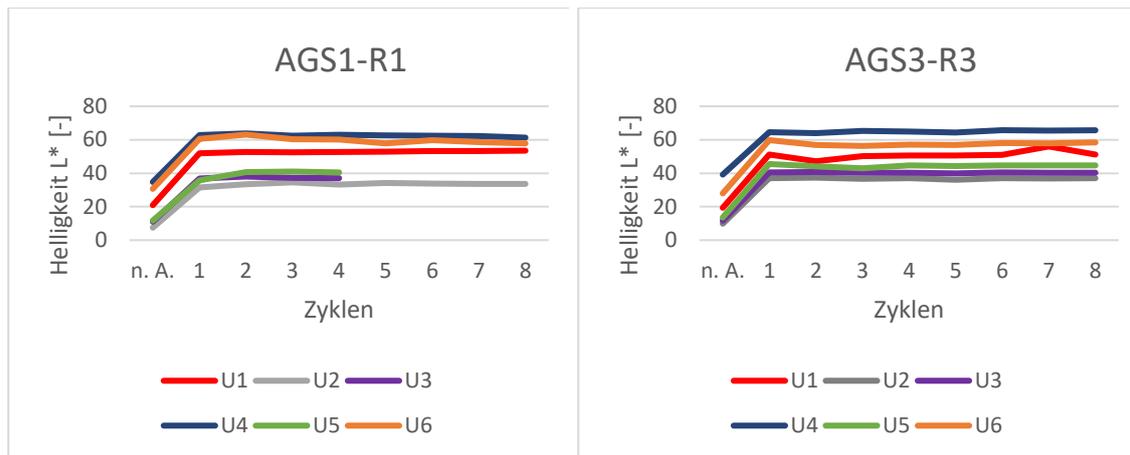


Abbildung 108: Veränderungen der Helligkeit aller Untergründe mit AGS1, gereinigt mit Reiniger R1

Abbildung 109: Veränderungen der Helligkeit aller Untergründe mit AGS3, gereinigt mit Reiniger R3

#### Fazit:

- Von den Originalprüfkörpern konnte die hellbeige Mauerscheibe (U4 mit 69,14 GU) als hellster und die matt-schwarze Fassadenplatte (U2 mit 8,56 GU) als dunkelster Untergrund bestimmt werden.
- Durch die Bewitterung erfuhren die Originalprüfkörper des Untergrundes U2 (glatt, dunkel) eine weitere Helligkeitszunahme, ebenso die Untergründe U1 (glatt, hell) und U6 (rau, hell). Ein Einfluss der Oberflächentextur und/oder -farbe auf die Helligkeit konnte nicht explizit nachgewiesen werden.
- Für die unbeschichteten Betonprüfkörper mit Farbauftrag und Reinigung konnten die Helligkeitsveränderungen zunächst ebenfalls nur auf den Witterungseinfluss eingegrenzt werden. Ab dem 4. Zyklus waren auch durch die Reinigung Veränderungen erkennbar.
- Die Applikation der vier AGS bewirkte bei allen Untergründen eine Abnahme der Helligkeit.
- Durch die Bewitterung erfuhren die AGS-geschützten Prüfkörper eine Zunahme der Helligkeit. Dabei verloren die dunkleren Untergründe (U2, U3 und U5) an Farbe und sie wurden heller (Verlust der Farbpigmente). Das bestätigte die visuelle Begutachtung. Bei den helleren Untergründen waren diese Veränderungen gemessen als auch visuell deutlich geringer.
- Die Helligkeit wurde, entgegen dem Glanz, nicht durch das aufgetragene AGS beeinflusst. Hier waren die Veränderungen und Einflüsse durch den Auftrag der hydrophobierenden Imprägnierungen und Beschichtungen in etwa identisch. Vielmehr konnte der Bewitterung der stärkste Einfluss nachgewiesen werden.

## 5.6 Benetzungswinkel

### 5.6.1 Prüfkörper im Originalzustand

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) im Originalzustand

Für die Benetzungswinkel ( $\varphi$ ) in [°] an den Originalproben ( $n_U = 30$ ) konnten aus 360 Einzelmessungen (Anhang 2.6, S. 222) nach DIN EN 828<sup>181</sup> die Mittelwerte ( $MW \pm s$ ) gebildet und die Prüfkörper der Benetzungsgruppe zugeordnet werden (Tab. 36).

*Tabelle 36: Mittlere Benetzungswinkel und Standardabweichungen ( $MW \pm s$ ), Einordnung der Betonuntergründe im Originalzustand und Anforderungen an den Benetzungswinkel ( $\varphi$ )*

Untergrund	U1	U2	U3	U4	U5	U6
MW $\pm$ s	13,63 $\pm$ 0,99	33,79 $\pm$ 0,31	0 $\pm$ 0	7,53 $\pm$ 0,63	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
Benetzungsgruppe	Hydrophilie	Hydrophilie	Spreitung	Hydrophilie	Spreitung	Spreitung
Anforderungen	$0 < \varphi < 90^\circ$	$0 < \varphi < 90^\circ$	$\varphi = 0^\circ$	$0 < \varphi < 90^\circ$	$\varphi = 0^\circ$	$\varphi = 0^\circ$

Die rauen Untergründe U3, U5 und U6 waren der Spreitung zuzuordnen, sie konnten vollständig benetzt werden. Die Klassifizierung der glatten Oberflächen (U1, U2, U4) entsprach der Hydrophilie, sie waren nicht vollständig benetzbar, aber wasserliebend (grün hinterlegt).

Mit Bezug auf die Literaturangaben (Goretzki 1998) erfüllten somit alle Untergründe die Voraussetzungen einer guten Haftung bzw. Benetzbarkeit für Graffiti-Schutzsysteme, da die Benetzungswinkel unter 90° lagen.

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Durch die Bewitterung zeigten die Originalprüfkörper, mit Ausnahme des Untergrundes U4 (Abb. 110, blau dargestellt), fast gleichbleibende Benetzungswinkel und Benetzungseigenschaften über den gesamten Versuchszeitraum. Die rauen Untergründe U3, U5 und U6 konnten dabei mit einem konstanten Benetzungswinkel von 0° während der acht Zyklen als voll benetzbar eingestuft werden (Abb. 110).

Der Untergrund U1 (Abb. 110, rot dargestellt) nahm über den gesamten Prüfzeitraum etwa 8 % an Benetzbarkeit ab und der Prüfkörper U2 um 11 % zu. Charakteristisch ergaben sich hier keine Wechsel, sie konnten durchgängig als hydrophil beschrieben werden.

<sup>181</sup> DIN EN 828:2013-04, Klebstoffe - Benetzbarkeit - Bestimmung durch Messung des Kontaktwinkels und der freien Oberflächenenergie fester Oberflächen

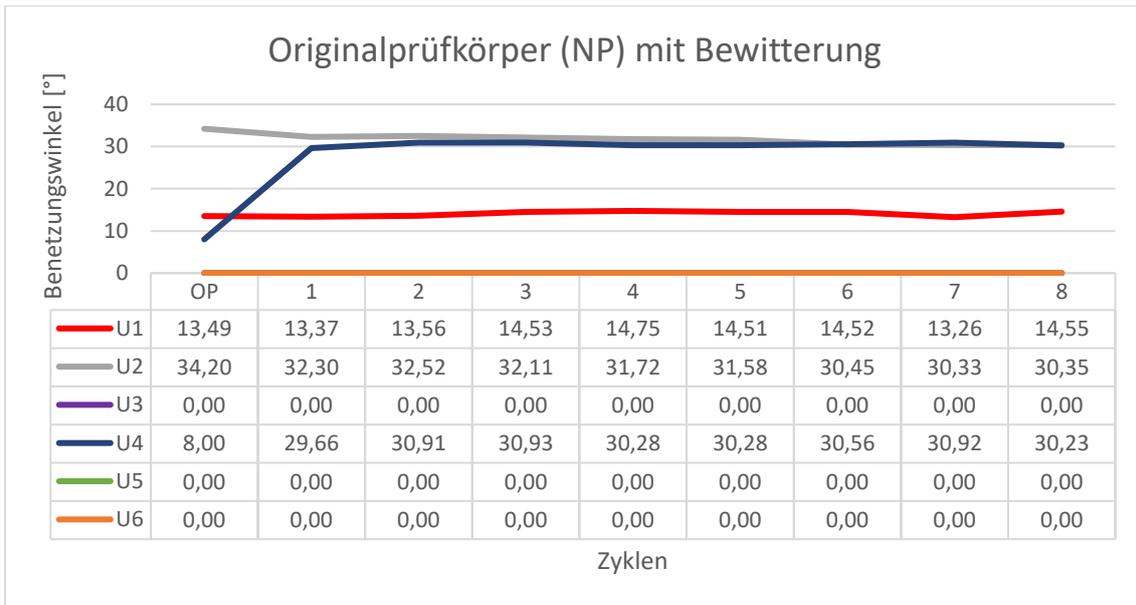


Abbildung 110: Veränderungen der Benetzungswinkel der Originalprüfkörper durch Bewitterung in acht Zyklen

Die stärksten Einwirkungen stellten sich für den Untergrund U4, die Mauerscheibe in Sichtbetonoptik, ein. Ursprünglich lag der mittlere Benetzungswinkel bei 8°. Nach acht Bewitterungszyklen betrug dieser 30°, was einer Zunahme von 278 % entsprach. Somit hatte die Benetzbarkeit stark abgenommen, die Charakterisierung als hydrophil änderte sich dadurch nicht.

Warum gerade der Untergrund U4 diese Veränderungen zeigte, kann nur vermutet werden. Infolge von Schmutzanhäufungen kann es zu einer Abnahme der Benetzbarkeit gekommen sein. Durch die visuelle Betrachtung konnte dieser Effekt jedoch nicht festgestellt werden.

#### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Die unbeschichteten Prüfkörper, die der Bewitterung, dem Farbauftrag und der Reinigung ausgesetzt waren, zeigten keine konstanten Veränderungen (Anhang 4.5, S. 243, Diagramme). Teilweise konnten in einem Zyklus Zunahmen und im darauffolgendem wieder Abnahmen der Benetzbarkeit festgestellt werden. Aufgrund der hohen Ausfälle, bezogen auf die Funktionalitätsprüfung, waren für den 8. Zyklus keine bis wenige Ergebnisse vorzuweisen. Auf alle Betonprüfkörper schienen die Farbmittel einen starken Einfluss auf die Benetzbarkeit zu nehmen.

Durch den Verbleib von Farbresten konnte punktuell von einem Porenverschluss ausgegangen werden, dieser führte zu einer Abnahme der Benetzbarkeit. Dementgegen standen einzelne Zunahmen der Benetzbarkeit, welche mit der Reinigung zusammenhängen könnten. Es war anzunehmen, dass hier die Oberfläche der ungeschützten PK durch die Reinigung geschädigt wurde und sich somit offener zeigte. Die unbeständigen

Ergebnisse waren in Anbetracht beider Einflüsse – Farbmittelreste und Reinigung – zu begründen.

## 5.6.2 Prüfkörper mit AGS

### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Die Tabelle 37 stellt die Mittelwerte (MW in °) der ursprünglichen Benetzbarkeit der sechs Untergründe der ermittelten Benetzbarkeit nach Auftrag der AGS gegenüber. Die vier Systeme veränderten, wie zu erwarten, die Benetzbarkeit aller Untergründe (Anhang 3.5, S. 229).

*Tabelle 37: Benetzungswinkel der Untergründe im Originalzustand sowie nach Auftrag der AGS*

	Untergrund U1				Untergrund U2				Untergrund U3			
BG <sub>o</sub> <sup>1)</sup>	Hydrophilie				Hydrophilie				Spreitung			
AGS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MW <sub>A</sub> <sup>2)</sup>	118,75	110,49	62,51	77,92	116,53	112,23	81,84	70,56	116,12	98,27	61,63	61,28
MW <sub>o</sub> <sup>3)</sup>	13,63				33,79				0,00			
BG <sub>A</sub> <sup>4)</sup>	Hydrophobie		Hydrophilie		Hydrophobie		Hydrophilie		Hydrophobie		Hydrophilie	
Anf. <sup>5)</sup>	90 < φ < 180		0 < φ < 90		90 < φ < 180		0 < φ < 90		90 < φ < 180		0 < φ < 90	
	Untergrund U4				Untergrund U5				Untergrund U6			
BG <sub>o</sub> <sup>1)</sup>	Hydrophilie				Spreitung				Spreitung			
AGS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MW <sub>A</sub> <sup>2)</sup>	117,16	113,73	77,93	81,33	112,18	116,78	73,29	76,65	102,32	107,86	81,04	80,28
MW <sub>o</sub> <sup>3)</sup>	7,53				0,00				0,00			
BG <sub>A</sub> <sup>4)</sup>	Hydrophobie		Hydrophilie		Hydrophobie		Hydrophilie		Hydrophobie		Hydrophilie	
Anf. <sup>5)</sup>	90 < φ < 180		0 < φ < 90		90 < φ < 180		0 < φ < 90		90 < φ < 180		0 < φ < 90	

<sup>1)</sup> BG<sub>o</sub> = Benetzungsgruppe der Originalprüfkörper

<sup>2)</sup> MW<sub>A</sub> = Mittelwert des Benetzungswinkels nach Auftrag der AGS

<sup>3)</sup> MW<sub>o</sub> = Mittelwert des Benetzungswinkels der Originalprüfkörper

<sup>4)</sup> BG<sub>A</sub> = Benetzungsgruppe der Prüfkörper nach Auftrag der AGS

<sup>5)</sup> Anf. = Anforderungen an den Benetzungswinkel (gemäß der Benetzungsgruppe)

### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1+AGS2)*

Durch die Applikation der beiden hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 und AGS2 nahm die Benetzbarkeit aller Untergründe stark ab, so dass diese als hydrophob zu bewerten waren.

Bei den glatten Untergründen lag bereits im Originalzustand keine volle Benetzbarkeit vor. Diese reduzierte sich durch den Auftrag der AGS für den Untergrund U1 um weitere 762 % (AGS1) bzw. 719 % (AGS2). Für den Untergrund U2 ergaben sich Reduzierungen von 263 % (AGS1) bzw. 247 % (AGS2). Die größte Abnahme der Benetzbarkeit konnte auf dem Untergrund U4 mit 1501 % (AGS1) bzw. 1349 % (AGS2) gemessen werden.

Die Originalprüfkörper der rauen Untergründe (U3, U5 und U6) wiesen eine vollständige Benetzbarkeit auf (MW 0°), durch den Auftrag der hydrophobierenden Imprägnierungen reduzierte sich diese um 100 %.

Die Benetzungswinkel (MW) aller Untergründe U1 bis U5 lagen nach der Applikation für das AGS1 zwischen 113° und 119°, für den Untergrund U6 (geschalte Betonplatte) bei 102°. Für das AGS2 konnten Benetzungswinkel zwischen 98° und 117° ermittelt werden.

Die hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) sorgten somit auf allen Untergründen für gleiche Benetzungseigenschaften (Abb. 111).

Bei den AGS1 und AGS2 handelt es sich um eine Silan-Siloxan-Fluoracrylat-Copolymer-Imprägnierung und ein fluormodifiziertes Imprägnat, welche als hydrophob wirkende Graffiti-Schutzsysteme deklariert werden. Sie erfüllten für alle Untergründe diese Charakterisierung und konnten dadurch eine schädigende Wasser-, Salz- oder Ölaufnahme verhindern. Zudem sollte so ebenfalls das Eindringen von Farbmitteln und Farbpigmenten in die Betonoberfläche reduziert werden.

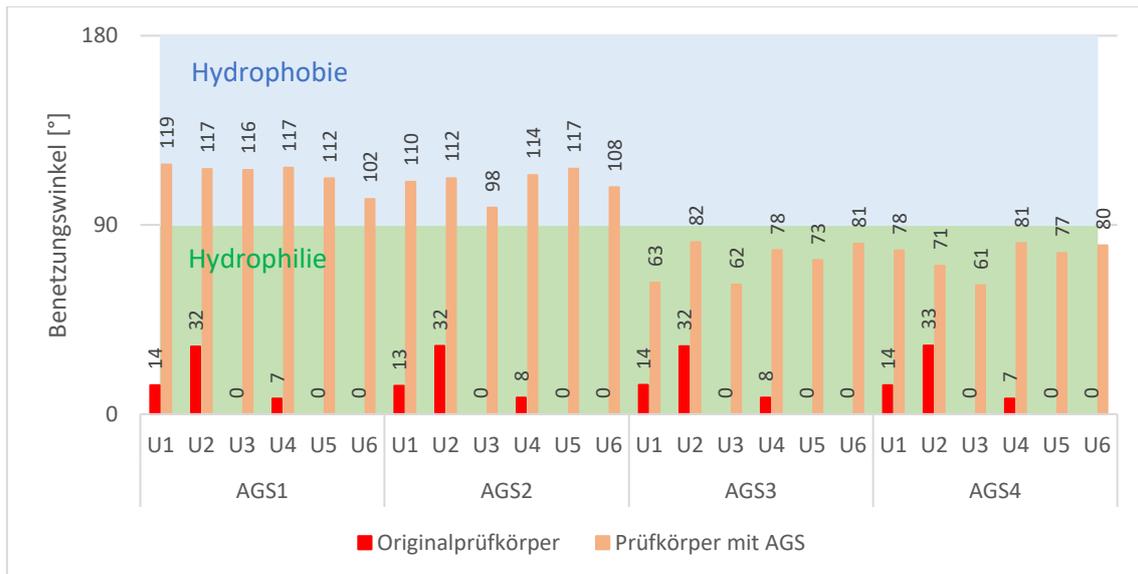


Abbildung 111: Veränderung der Benetzungswinkel aller Untergründe durch den Auftrag der vier AGS

#### Beschichtungen (AGS3+AGS4)

Auch der Auftrag der Beschichtungen AGS3 und AGS4 beeinflusste die Benetzbarkeit aller Untergründe (Abb. 111). Allerdings waren die glatten Untergründe (U1, U2, U4) weiterhin als hydrophil (wasserliebend) einzustufen. Das AGS3 sorgte für Reduzierungen der Benetzbarkeit um 348 % (U1), 154 % (U2) und 897 % (U4). Abnahmen der Benetzbarkeit um 467 % (U1), 117 % (U2) und 995 % (U4) ergaben sich durch die Applikation des AGS4.

Auf den rauen Untergründen (U3, U5 und U6) wurden Minderungen der Benetzbarkeit um 100 % erreicht und sie konnten nach der Beschichtung der Benetzungsgruppe Hydrophilie zugeordnet werden.

Durch den Schutz der Beschichtungen wurden auf den Betonoberflächen Benetzungswinkel zwischen 61° und 82° erreicht, diese lagen etwa 31 – 38 % unter denen der hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2).

Die AGS3 und AGS4 waren 2-Komponenten-Polyurethan-Beschichtung auf Wasserbasis. Sie bildeten keinen hydrophoben Schutz aus. Alle Untergründe wiesen nach der

Applikation hydrophile Eigenschaften auf. Allerdings konnten auch die Beschichtungen die Reduzierung der Wasseraufnahme der Originalprüfkörper gewährleisten.

Inwieweit die hydrophobe bzw. hydrophile Benetzbarkeit aller Systeme aufrechterhalten werden konnte, sollte sich nach Durchführung der acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen zeigen.

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Die AGS-beschichteten Prüfkörper, welche nur der Bewitterung und nicht dem Farbauftrag und der Reinigung ausgesetzt waren, wiesen für die hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) stärkere Veränderungen auf, als für die Beschichtungen (AGS3+AGS4) (Anhang 4.5, S. 242, Diagramme AGS1 bis AGS4). Mit einer Abnahme des Benetzungswinkels und der damit verbundenen Zunahme der Benetzbarkeit ergaben sich mit 30 % (AGS1) bzw. 40 % (AGS2) für den Untergrund U5, der Betongehwegplatte und ebenso deutlich mit 28 % bzw. 29 % für den Untergrund U4, der größte Einfluss durch die Bewitterung.

Bei den Beschichtungen (AGS3+AGS4) trafen diese Änderungen nicht zu. Der Untergrund U2 (glattgeschliffene hochfeste Fassadenplatte) erfuhr hier eine 11%ige Zunahme der Benetzbarkeit für das AGS3 und eine 6%ige Abnahme für das AGS4. Für den Untergrund U1 (schalungsglatte hochfeste Fassadenplatte) verringerten sich die Benetzungswinkel um 3 bis 4 %. Alle anderen Untergründe zeigten keine bis sehr geringe Veränderungen.

#### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Nachdem die Prüfkörper mit AGS, welche zusätzlich zur Bewitterung dem Farbauftrag und der Reinigung ausgesetzt waren, durch den Auftrag der AGS deutlich an Benetzbarkeit verloren, nahmen sie im Laufe der acht Zyklen wieder an Benetzbarkeit zu. Wobei die Veränderungen auch hier bei den hydrophobierenden Imprägnierungen deutlich höher lagen.

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1 und AGS2)*

Bei den AGS1-beschichteten Prüfkörpern konnte für die Benetzbarkeit eine Zunahme zwischen 21 und 86 % beobachtet werden.

Die Abbildung 112 stellt die Veränderungen des Benetzungswinkels (BW) für die Untergründe U1 bis U6 dar. Der Untergrund U5 (Betongehwegplatte, Abb. 112 grün dargestellt), zeigte im 4. Zyklus bereits eine 86%ige Abnahme des Benetzungswinkels. Vor dem Auftrag konnte die Betongehwegplatte U5 als vollständig benetzbar charakterisiert werden ( $\varphi=0$ ). Nach Auftrag des AGS wies sie eine hydrophobe Oberfläche mit  $\varphi = 112,18^\circ$  auf. Der BW nahm stetig ab und erreichte im 4. Zyklus  $15,98^\circ$ , was als hydrophil ( $0 < \varphi < 90^\circ$ ) einzustufen war.

Es ist davon auszugehen, dass das AGS1 durch die wiederholte Reinigung an Wirksamkeit verloren hat, denn die Ergebnisse der Funktionalität bestätigen diese Annahme. Auch die gestrahlte Fassadenplatte (U3), zeigte deutliche Veränderungen, wenngleich nicht in dem Umfang wie U5. Für die Untergründe U1 mit 40 %, U2 mit 38 % sowie U4 mit 36 % konnten ebenfalls gesteigerte Benetzbarkeiten nachgewiesen werden.

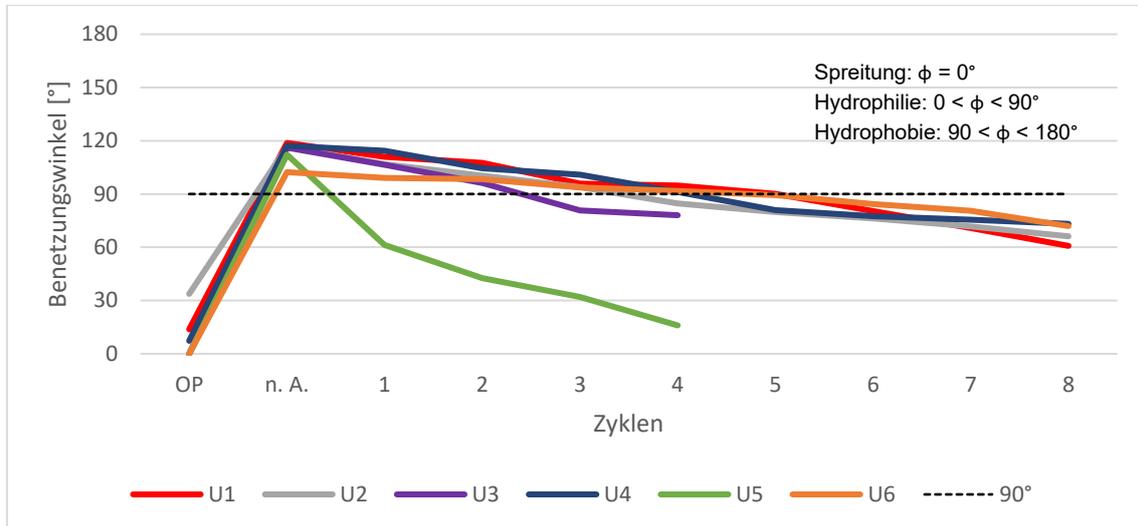


Abbildung 112: Veränderungen der Benetzungswinkel der AGS1-beschichteten Prüfkörper durch Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung in 8 Zyklen

Bei den AGS2-geschützten Prüfkörpern lag die Zunahme der Benetzbarkeit aller Proben zwischen 23 und 25 %. Ausnahme bildeten auch hier die rauen Untergründe U3 und U5. Sie erreichten im 4. Zyklus einen Benetzungswinkel von 90° (U3) und 73° (U5).

Alle Untergründe der AGS1- und AGS2-beschichteten Prüfkörper verloren nach acht Zyklen ihre hydrophoben Eigenschaften und waren demnach als hydrophil zu einzustufen.

#### Beschichtungen (AGS3 und AGS4)

Für die AGS3-beschichteten Prüfkörper waren geringe Veränderungen in ihrer Benetzbarkeit (Abb. 113) messbar. Der Untergrund U2, die glattgeschliffene, hochfeste Fassadenplatte wies mit 20 % Zunahme, die größten Veränderungen auf. Für die Untergründe U5 bis U6 lagen diese zwischen 7 und 12 %.

Im Gegensatz zu den hydrophobierenden Imprägnierungen konnten nach der Applikation alle Prüfkörper als hydrophil eingestuft werden, diese Charakterisierung blieb über acht Zyklen stabil.

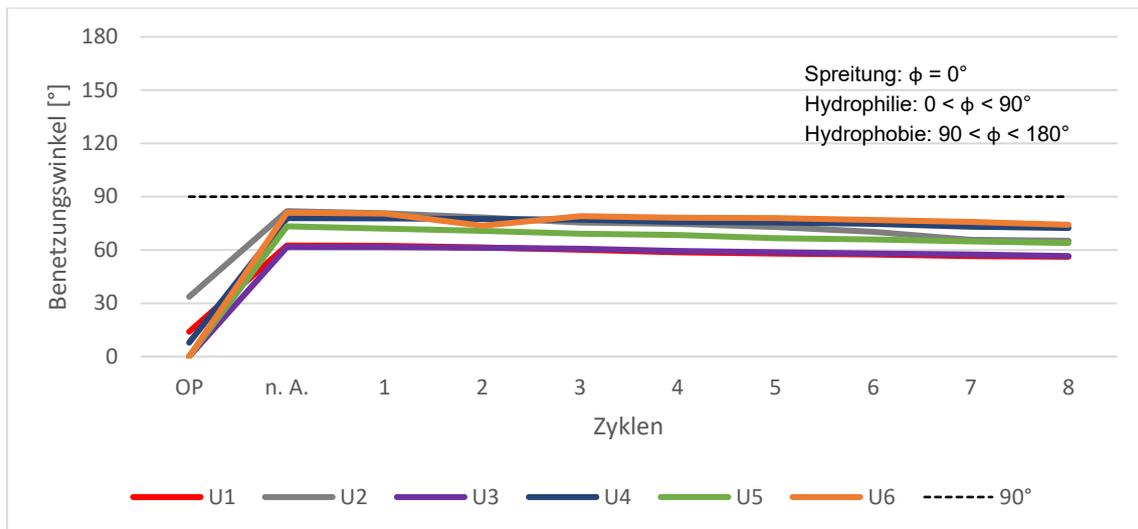


Abbildung 113: Veränderungen der Benetzungswinkel der AGS3-beschichteten Prüfkörper durch Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung in 8 Zyklen

Bei den AGS4-beschichteten PK konnten für den Untergrund U4 mit 34%iger und für den U2 mit 29%iger Zunahme die stärksten Veränderungen der Benetzbarkeit ermittelt werden. Auch hier ergaben sich für die Charakterisierung keine Veränderungen, sie konnten durchgängig als hydrophil beschrieben werden.

Zusammenfassend war festzustellen, dass sich nach acht Zyklen die Oberflächeneigenschaften aller Betonprüfkörper verändert haben. Wenngleich die Prüfkörper mit den hydrophobierenden Imprägnierungen die größten Veränderungen aufwiesen, lagen sie mit  $\varphi = 61 - 84^\circ$  über den Beschichtungen mit  $\varphi = 45 - 74^\circ$ . Allerdings zeigten diese, vor allem das AGS3, eine deutlich konstantere Entwicklung.

Fazit:

- Alle glatten Originalprüfkörper (U1, U2 und U4) zeigten von Beginn an bis über den gesamten Zeitraum von acht Zyklen hydrophile (wasserliebende) Eigenschaften, die rauen Untergründe (U3, U5 und U6) waren als vollständig benetzbar einzuordnen. Die Bewitterung nahm wenig bis keinen Einfluss.
- Durch den Auftrag der AGS zeigte sich bei allen Untergründen eine klare Abnahme der Benetzbarkeit. Die Einflüsse durch die hydrophobierenden Imprägnierungen waren allerdings deutlich höher, als die der Beschichtungen.
- Durch den Schutz der Imprägnierungen (AGS1+AGS2) wurden auf den Betonoberflächen, unabhängig von der Oberflächentextur, Benetzungswinkel zwischen  $98^\circ$  und  $119^\circ$  erreicht. Alle Betonoberflächen konnten als hydrophob eingestuft werden.
- Durch den Schutz der Beschichtungen (AGS3+AGS4) wurden auf den Betonoberflächen, ebenfalls unabhängig von der Oberflächentextur, Benetzungswinkel

zwischen 61° und 82° erreicht. Die Betonprüfkörper erreichten alle eine hydrophile Oberfläche.

- Für die mit einer hydrophobierenden Imprägnierung beschichteten Nullproben konnte ein Einfluss der Bewitterung festgestellt werden. Hier waren auf den Untergründen U4 (Mauerscheibe, Sichtbeton glatt) und U5 (Betongehwegplatte) starke Zunahmen der Benetzungswinkel zu beobachten. Alle Untergründe mit einer Beschichtung erzielten über den gesamten Prüfzeitraum konstante Ergebnisse.
- Den AGS1- und AGS2-geschützten Untergründen konnte ein Einfluss durch die Reinigung nachgewiesen werden. Mit zunehmender Reinigungsbelastung nahm auch die Benetzbarkeit zu, vor allem für den Untergrund U5. Hier war von einem Verschleiß bzw. einer Schädigung des Systems auszugehen.
- Die mit einer Beschichtung (AGS3+AGS4) geschützten Prüfkörper wiesen über den gesamten Prüfzeitraum der Funktionalität konstante Ergebnisse vor. Sie erwiesen sich ab Auftrag der AGS bis Ende des Prüfzeitraums als hydrophil.

## 5.7 Rauheit

### 5.7.1 Prüfkörper im Originalzustand

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) im Originalzustand

Die gemittelte Rautiefe  $R_z$  [ $\mu\text{m}$ ] wurde für alle 180 Originaluntergründe ( $n_u = 30$ ) bestimmt. Die Berechnung der Mittelwerte ( $MW \pm s$ ) erfolgte aus insgesamt 540 Einzelwerten. Dabei wurde aus 5 Einzelmessstrecken softwaretechnisch die gemittelte Rautiefe in  $\mu\text{m}$  bemessen (Tab. 38). Dieser Vorgang erfolgte dreifach, um einzelne Messfehler herauszufiltern (Anhang 2.7, S. 223).

*Tabelle 38: Mittlere Rautiefen  $R_z$  und Standardabweichungen ( $MW \pm s$ ) für die Originaluntergründe*

Untergrund	U1	U2	U3	U4	U5	U6
MW $\pm$ s	110,78 $\pm$ 0,89	100,19 $\pm$ 0,59	339,72 $\pm$ 56,94	125,11 $\pm$ 1,01	374,60 $\pm$ 45,19	241,77 $\pm$ 103,14
Anforderungen	Richtlinien/Merkblätter: keine Anforderungen Literaturangaben: „gewisse“ Rauheit erwünscht					

In den Literaturangaben lassen sich keine genauen Forderungen bzw. Empfehlungen für den Rauheitswert  $R_z$  finden. Nach (Momber, Schulz 2006) und (Szyminski 1993) ist jedoch eine gewisse Rauheit des Untergrundes für den Verbund mit Beschichtungen erwünscht, weil sich dadurch die spezifische Kontaktfläche vergrößert und die Verbundfestigkeit zu nimmt.

Erwartungsgemäß erreichten die glatten Untergründe (grün hinterlegt) mit  $110,78 \mu\text{m}$  für U1,  $100,19 \mu\text{m}$  für U2 und  $125,11 \mu\text{m}$  für U4 deutlich geringere, minimal streuende (RSD zwischen  $0,59$  und  $0,81 \%$ ) und reproduzierbare Ergebnisse, als die raueren Untergründe. Aufgrund seiner glattgeschliffenen Oberfläche wies der Untergrund U2 die geringsten Oberflächenunregelmäßigkeiten und somit die kleinsten Rauheitswerte auf. Mit gemittelten Rautiefen von  $339,72 \mu\text{m}$  für U3,  $374,60 \mu\text{m}$  für U5 und  $241,77 \mu\text{m}$  für U6 zeigten die raueren Untergründe stärkere Oberflächenunregelmäßigkeiten. In Anbetracht dieser Abweichungen überraschten die starken Streuungen (RSD zwischen  $12,06$  und  $42,66 \%$ ) der Ergebnisse nicht.

Mit einer Standardabweichung von  $103,14 \mu\text{m}$  (RSD =  $42,66 \%$ ) kann die hohe Streuung am Untergrund U6 (sägerauen Betonplatte in Brettschaloptik) konkret begründet werden. Die Abbildung 114 zeigt beispielhaft 5 von 30 Prüfkörpern der U6-Reihe.

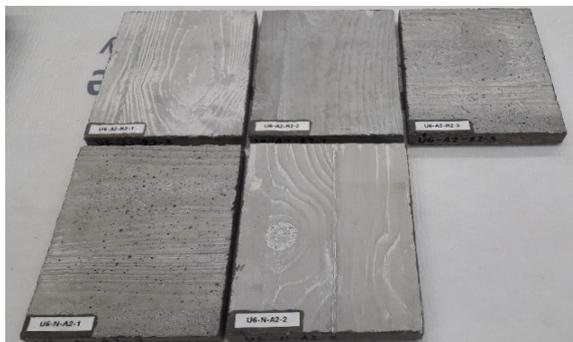


Abbildung 114: Prüfkörper der U6-Reihe

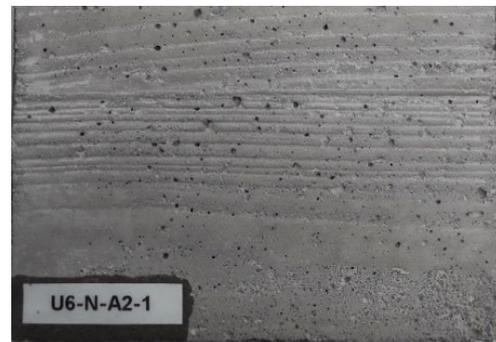


Abbildung 115: Nahaufnahme des Prüfkörpers U6-N-A2-1 mit poriger Oberfläche

Farb- und Oberflächenunterschiede waren klar erkennbar. Die Prüffläche U6-N-A2-2 (Abb. 114 unten, rechts) konnte als eher glatt beschrieben werden, wenngleich die Brettstruktur der Schalung deutlich sichtbar war. Das gemittelte Rauheitsprofil für diese Platte betrug  $123,88 \pm 7,18 \mu\text{m}$  und erzielte somit Werte wie der glatte Untergrund U4. Dagegen wurden für die Prüfplatte U6-N-A2-1 (Abb. 114 unten links) Rauheitswerte von  $434,18 \pm 7,17 \mu\text{m}$  erreicht. In der Nahaufnahme (Abb. 115) sind deutlich die Poren erkennbar, welche für die Gestaltabweichung (Textur) gegenüber der glatteren Platte ursächlich waren.

Die ermittelten Werte bestätigten die Erkenntnisse aus der visuellen Betrachtung.

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Für alle glatten Originalprüfkörper konnte eine gleichbleibende Rauheit festgestellt werden (Abb. 116). Einen starken Rauheitsverlust von  $42 \%$  verzeichnete die sandgestrahlte, hochfeste Fassadenplatte U3 (Abb. 116, lila dargestellt). Demgegenüber standen die geschalte Betonplatte U6 (Abb. 116, orange) mit  $6 \%$  und die Gehwegplatte U5 (Abb. 116, grün) mit lediglich  $0,55 \%$  Verlust.

Es ist davon auszugehen, dass an der gestrahlten Fassadenplatte U3 Schmutz- und Feinstpartikel auf der Oberfläche anhafteten und diese teilweise verschlossen. Aufgrund seiner hohen Dichte und der geringen Porosität sowie dem daraus resultierenden Widerstand gegen äußere Einflüsse, konnten sich Schmutzpartikel auf der Oberfläche des Prüfkörpers U3 sammeln und nicht in den Beton eindringen.

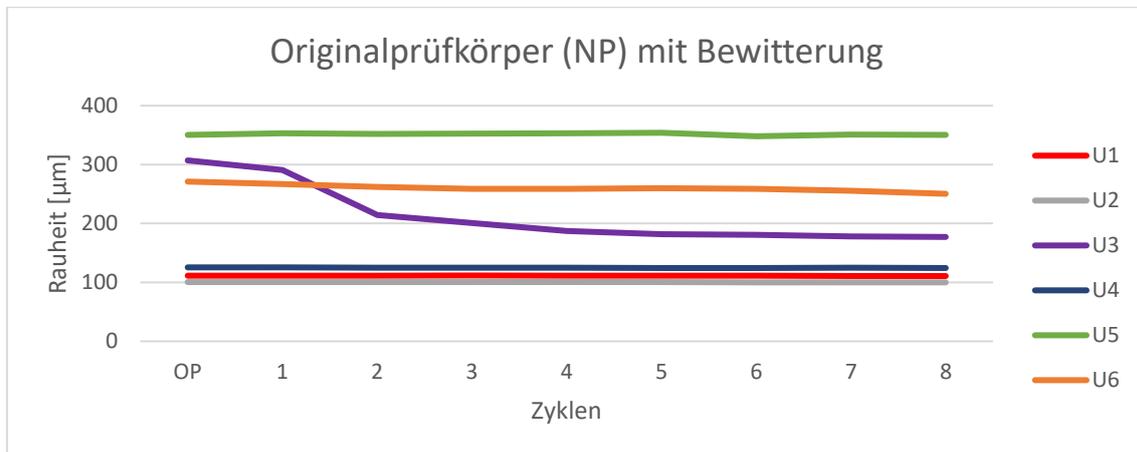


Abbildung 116: Veränderungen der Rauheit der Originalprüfkörper durch Bewitterung in acht Zyklen

#### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Für die ungeschützten Prüfkörper, die der Funktionalitätsprüfung unterzogen wurden, waren hinsichtlich der mittleren Rauheit keine konstanten Ergebnisse zu ermitteln (Anhang 4.6, S. 244, Beispiel R2). Die raue Betongehwegplatte U3 erreichte eine Steigerung der Rauheit von 4 bis 30 %. Bei den rauen Untergründen U5 und U6 stellten sich indes durchweg Reduzierungen der Rauheit zwischen 5 und 35 % ein.

Ähnlich verhielt es sich bei dem glatten Untergrund U4, der Sichtbeton Mauerscheibe. Die Verringerung der Rauheit betrug 6 bis 26 %. Die glatten Untergründe U1 und U2 zeigten teils Zu- oder Abnahmen zwischen -45 und +11 %, welche nicht Systemrelevant zuzuordnen waren.

#### **5.7.2 Prüfkörper mit AGS**

##### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Nach ReGG III<sup>182</sup> wird die Bestimmung der Oberflächenbeschaffenheit mit Hilfe eines Laser-Tastschnittverfahren empfohlen, um Änderungen, welche durch den Auftrag eines AGS verursacht werden, zu ermitteln. Für alle 120 beschichteten PK ( $n_u = 30$ ) wurden erneut jeweils drei Einzelmesswerte bestimmt und daraus die mittlere Rauheit  $R_z$  berechnet (Anhang 3.6, S. 230).

<sup>182</sup> ReGG III (2007): Regelwerk für die Bewertung von Verfahren, Technologien und Materialien zur Graffiti-entfernung und Graffitiprophylaxe (ReGG) der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.

Für die hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 (Abb. 117) und AGS2 ergaben sich nur geringfügige Abweichungen der maximalen Rautiefe  $R_z$  von +1 % bis -4%. Da die hydrophobierenden Imprägnierungen nicht in die Poren eindrangen, bildeten sie keinen sichtbaren Film an der Oberfläche des Betons und veränderten das Porengefüge wenig bis gar nicht.

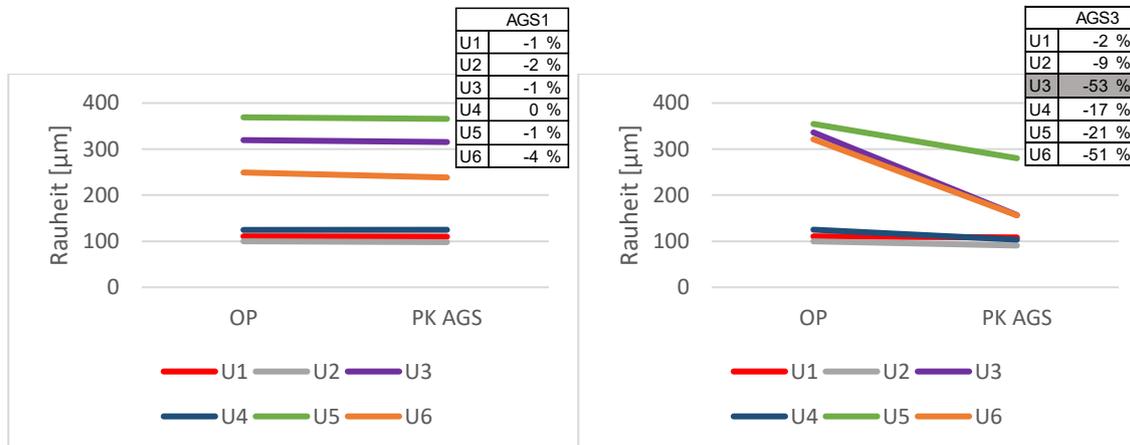


Abbildung 117: Veränderungen der Rauheit durch Auftrag des AGS1

Abbildung 118: Veränderungen der Rauheit durch Auftrag des AGS3

Die Beschichtungen AGS3 (Abb. 118) und AGS4 hingegen wiesen deutliche Veränderungen der Oberflächenbeschaffenheit durch die Applikation auf. Die Prüfkörper erreichten Reduzierungen der Rauheit von 2 % bis 53 %.

Für den Untergrund U3, der gestrahlten Fassadenplatte, konnten mit -53 % (Abb. 118, grau hinterlegt) für das AGS3 und -23 % für das AGS4 die beträchtlichsten Änderungen ermittelt werden. Die Beschichtungen führten auf der Betonoberfläche zu einem geschlossenen, dichten Film und füllten die Poren ganz oder teilweise aus.

Die rechnerischen Ergebnisse der mittleren Rautiefen  $R_z$  bestätigten die visuellen Betrachtungen, hier konnte ein geschlossener Film auf der Oberfläche beschrieben werden.

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Für die beschichteten Prüfkörper, die nur der Bewitterung ausgesetzt waren, ergaben sich mehrheitlich leichte Abnahmen der mittleren Rauheit. Der Untergrund U6, der geschalteten Betonplatte, konnten das AGS1 mit 3 %, das AGS2 mit 12 % und das AGS4 mit 2 % die stärksten Reduzierungen gemessen werden.

Auffällig war jedoch der AGS3-geschützte Untergrund U3. Hier ergab sich durch den Auftrag des AGS bereits eine 55%ige Verminderung der Rauheit und während der acht Bewitterungszyklen ein weiterer Verlust von 37 %. Die Begründungen können denen der Originalprüfkörper gleichgesetzt werden (Anhaftung von Schmutz- und Feinstpartikel auf der Oberfläche).

Alle anderen Untergründe der AGS3-Reihe zeigten mit -0,12 bis +0,15 % äußerst geringe Veränderungen (Anhang 4.6, S. 244). Aus der visuellen Betrachtung gingen diese Abweichungen nicht hervor.

### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1 und AGS2)*

Durch den Auftrag der hydrophobierenden Imprägnierungen wurden wenig bis keine Veränderungen in Bezug auf die Rauheit festgestellt. Wie in der Abbildung 119 erkennbar, konnte diese Konstanz für die glatten AGS1-geschützten Untergründe (U1, U2 und U4), die der Bewitterung und zusätzlich dem Reinigungsprozess ausgesetzt waren, aufrechterhalten werden.

Der raue Untergrund U3 (Abb. 119, lila dargestellt) konnte eine Steigerung der mittleren Rauheit von 16 % (AGS1) und 9 % (AGS2) erlangen. Für den Untergrund U5 erfolgte über acht Zyklen eine Senkung der Rauheit von 11 % (AGS1) bzw. 13 % (AGS2). Am stärksten fiel die Reduzierung der Rauheit auf dem Untergrund U6 (Abb. 119, orange dargestellt) mit dem AGS2 von 35 % aus. Für das AGS1 lag diese bei 15 %.

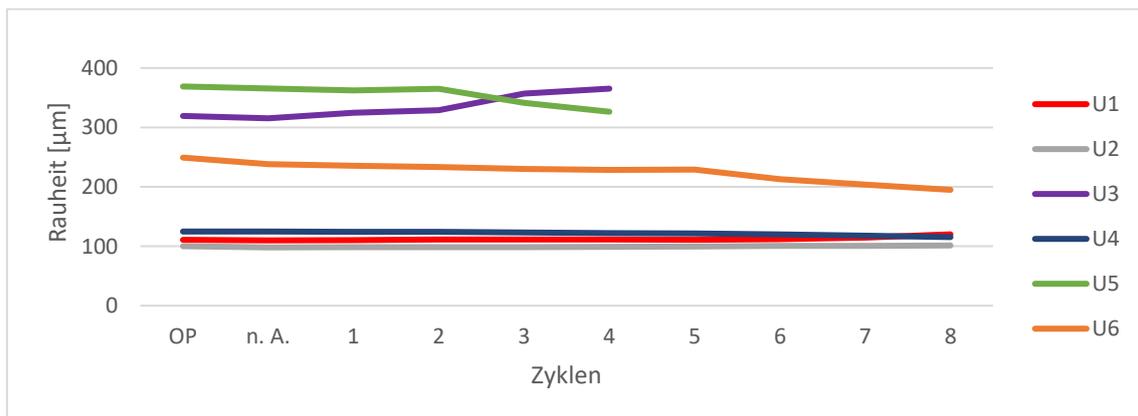


Abbildung 119: Veränderungen mittlere Rauheit der AGS1-beschichteten Prüfkörper über acht Zyklen

#### *Beschichtungen (AGS2 und AGS3)*

Nachdem die Beschichtungen zunächst nach der Applikation zu einer deutlichen Reduzierung der mittleren Rauheit auf allen Untergründen führten, konnten im ersten Zyklus geringere Veränderungen durch die Einflüsse aus Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung festgestellt werden.

Die AGS3-geschützten Oberflächen zeigten Zu- bzw. Abnahmen der Rauheit von -4 bis +8 %. Lediglich der Untergrund U3 erreichte auch hier eine stärkere Zunahme um 16 %. Bei den AGS4-beschichteten Prüfkörpern konnte wiederum für den Untergrund U4, der sichtbeton-glatte Mauerscheibe, mit +18 % der stärkste Zuwachs ermittelt werden (Abb. 120, blau dargestellt). Dieser trat erst ab dem 5. bis in den 8. Zyklus auf. Für die

geschalte Betonplatte U6 war ab dem 5. Zyklus eine Reduzierung erkennbar (Abb. 119, orange dargestellt), diese betrug bis in den 8. Zyklus 18 %.

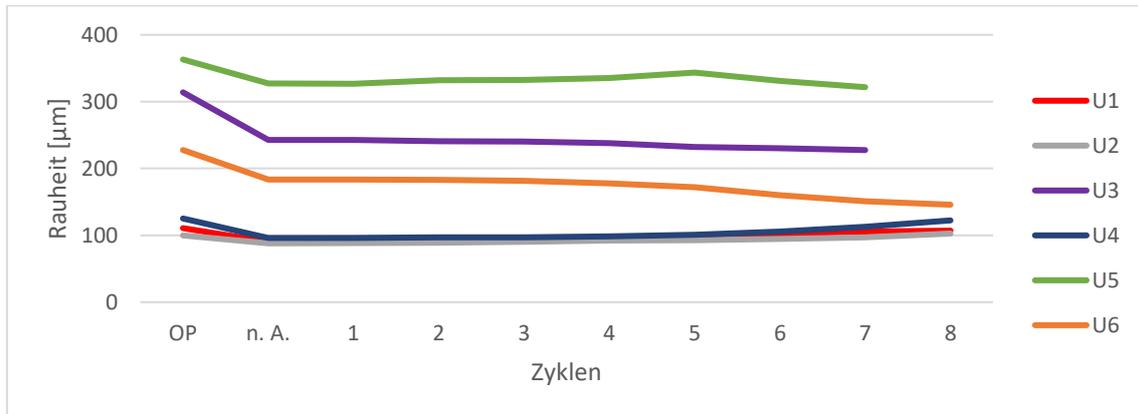


Abbildung 120: Veränderungen mittlere Rauheit der AGS4-beschichteten Prüfkörper über acht Zyklen

Fazit:

- Erwartungsgemäß zeigten die glatten Originalprüfkörper (U1, U2 und U4) deutlich geringere Rautiefen als die rauen Untergründe (U3, U5 und U6).
- Durch die acht Bewitterungszyklen wurde die Rautiefe der glatten Untergründe nicht beeinflusst. Für die rauen Untergründe war eine Abnahme der Rautiefe, vermutlich durch Anhaftung von Kleinst- und Schmutzpartikeln, zu verzeichnen.
- Die ungeschützten Prüfkörper mit Farb- und Reinigungsbelastung zeigten auch bezüglich der Rautiefe unbeständige Ergebnisse.
- Durch den Auftrag der hydrophobierenden Imprägnierungen wurde die Rautiefe aller Untergründe wenig bis gar nicht verändert, sie drangen in den Untergrund ein, ohne Einfluss auf die Oberflächentextur zu nehmen.
- Der Auftrag der Beschichtungen erbrachte klare Abnahmen der Rautiefe aller Untergründe. Durch die Filmbildung auf der Oberfläche konnte für die rauen Untergründe (U3, U5 und U6) eine Minderung der Rautiefe von 21 % bis 53 % und somit eine mess- und sichtbare Veränderung der Oberflächentextur erzielt werden.
- Der Witterungseinfluss auf die beschichteten Prüfkörper konnte als sehr gering eingestuft werden. Lediglich für den Untergrund U3 mit dem AGS3 ergab sich über acht Zyklen eine weitere Abnahme der Rautiefe was auch hier aufgrund von Schmutzanhaftungen erfolgt sein könnte.
- Die geschützten Prüfkörper, welche dem Farbauftrag und der Reinigung unterzogen wurden, erreichten über den gesamten Prüfzeitraum nur geringe Änderungen in der Rautiefe. Die Oberflächentexturen blieben relativ konstant, wobei die

Prüfkörper mit den Beschichtungen (AGS3+AGS4) ihre Rautiefen nach Auftrag beibehielten.

→ Die Rautiefen wurden beinahe ausschließlich vom AGS beeinflusst und weniger durch die Bewitterung bzw. dem Farbauftrag mit der Reinigung.

## 5.8 Wasseraufnahmekoeffizient

### 5.8.1 Prüfkörper im Originalzustand

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) im Originalzustand

Die Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten (w-Wert) erfolgte gemäß DIN EN ISO 15148<sup>183</sup>. Aus den Einzelwerten jedes Untergrundes ( $n_u = 30$ ) konnte der mittlere w-Wert [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ] mit Standardabweichung ( $\text{MW} \pm s$ ) gebildet werden (Anhang 2.8, S. 224). Anschließend erfolgte nach DIN 4108-3<sup>184</sup> die Zuordnung in die Klassen I bis IV (Tab. 39). Diese kennzeichnen die Intensität der kapillaren Saugfähigkeit von Oberflächenbeschichtungen, in Hinblick auf die Beurteilung der Regenschutzwirkung.

*Tabelle 39: Mittlere Werte des Wasseraufnahmekoeffizienten und Zuordnung der jeweiligen Klasse nach DIN 4108-3<sup>184</sup>*

Untergrund	U1	U2	U3	U4	U5	U6
MW±s	0,023±0,003	0,058±0,003	0,083±0,009	0,011±0,001	0,546±0,017	0,286±0,011
Klasse	III				II	III
Anforderungen	$w \leq 0,5$				$w \leq 2,0$	$w \leq 0,5$

Die drei hochfesten Fassadenplatten (U1, U2 und U3), der Untergrund U4 (Mauerwinkel, Sichtbeton) sowie die geschalte Betonplatte U6 entsprachen der Klasse III: wasserabweisend. Die w-Werte lagen in dem vorgegebenen Bereich von  $\leq 0,5$  und  $> 0,001$   $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ .

Nach Weber (2007) war für den Fassadenbereich ein w-Wert gegen Null anzustreben. Der Mauerwinkel in Sichtbetonqualität U4 nahm über die Saugfläche  $0,011 \text{ l}/\text{m}^2$  Wasser in einer Stunde auf und zeigte damit das geringste Saugverhalten. Auch die hochfesten Fassadenplatten U1, U2 und U3 erreichten w-Werte, die gegen Null laufen. In den Literaturangaben nach Momber, Schulz (2006) wird davon ausgegangen, dass ein dichtes Gefüge keine nennenswerten bzw. sehr geringe Wassermengen über die Oberfläche aufnehmen kann.

<sup>183</sup> DIN EN ISO 15148:2018-12, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten - Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen

<sup>184</sup> DIN 4108-3:2018-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

Der Flüssigkeitstransport im Beton ist somit abhängig von der Porosität (Porenstruktur) und dem Anteil an Kapillar- und Gelporen. Je höher die Porosität, umso größer die Wasseraufnahme. Da die Hochleistungsbetone niedrige Porositäten aufweisen, nehmen die Eindringtiefe und die Eindringmenge an Flüssigkeiten ebenso ab (Thienel 2017).

Für den Untergrund U5 (Tab. 39, blau hinterlegt), der Betongehwegplatte, ergab sich ein deutlich höherer w-Wert von 0,546 l/m<sup>2</sup> pro Stunde und somit die Zuordnung in die Klasse II: wasserhemmend. Gegenüber dem Mauerwinkel (U4), nahm die Gehwegplatte (U5) 396 % mehr Wasser auf. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Betongehwegplatte eine höhere Porosität besitzt. Außerdem stellt der ursprüngliche Einsatz als Weg- bzw. Terrassenbelag andere Anforderungen an die Wasseraufnahme, hier kann das Wasser i.d.R. an den Untergrund abgegeben werden, was bei einer Fassade aus bauphysikalischer Sicht nicht gewünscht ist.

#### Unbeschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Für alle Originalprüfkörper konnten aufgrund der Bewitterung keine bzw. nur geringfügige Einflüsse auf den Wasseraufnahmekoeffizienten festgestellt werden. Die Untergründe U2 bis U6 wiesen minimale Abweichungen von -1 bis +1 % auf. Der Untergrund U1 erzielte im 4. Zyklus eine Abnahme des w-Wertes um 5 % (0,0008 kg/(m<sup>2</sup>·h<sup>0,5</sup>)). Folglich wurde durch den Untergrund U1 weniger Wasser aufgenommen als vor der Bewitterung. Hierfür könnten abermals Schmutz- und Kleinstpartikel, die sich auf der Oberfläche abgesetzt haben, verantwortlich sein.

Grundsätzlich bestätigten diese Veränderungen über einen Zeitraum von 2,5 Jahren keinen bzw. einen sehr schwachen Einfluss der Witterung auf den w-Wert der Betonuntergründe.

#### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Bei den ungeschützten Prüfkörpern, die der Funktionalitätsprüfung (Farbauftrag und Reinigung) unterzogen wurden, überwogen die Reduzierungen des Saugverhaltens. Diese lagen nach vier Zyklen für die Prüfkörper der Reiniger R1 und R2 zwischen -15 % und -81 % und für die Reiniger R3 und R4 zwischen -3 % und -78 % im Vergleich zu den Messwerten vor der Freibewitterung. Für den Reiniger R4 wurde für den Untergrund U2 eine Erhöhung um 6 % gemessen.

Eine deutliche Ausnahme bildete der Untergrund U6 (Abb. 121), die geschalte Betonplatte, hier konnte im ersten Zyklus eine Zunahme der Wasseraufnahme um 68 % durch die Anwendung des Reiniger R3 ermittelt werden. Ab dem zweiten Zyklus war auch hier ein Rückgang des Saugverhaltens erkennbar, im vierten Zyklus lag dieser bei -11 % zum Messwert vor der Bewitterung.

Dafür könnte einerseits die ungleiche Oberflächentextur (raue und glatte Flächenanteile) andererseits auch die Reinigungsmethode verantwortlich sein. Der Reinigungsprozess kann zu Schäden auf der Oberfläche geführt und folglich das Saugverhalten beeinflusst haben.

Für die Reiniger R1, R2 und R4 ergaben sich auf dem Untergrund U6 über alle vier Zyklen Reduzierungen des Saugverhaltens von 33 % (R1), 54 % (R2) und 42 % (R4). Grund könnten verbliebenen Farbreste auf der Oberfläche sein. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass Farbreste und Reinigungsmittel einen Film auf der ungeschützten Oberfläche bildeten, welcher die Oberflächentextur beeinflusste.

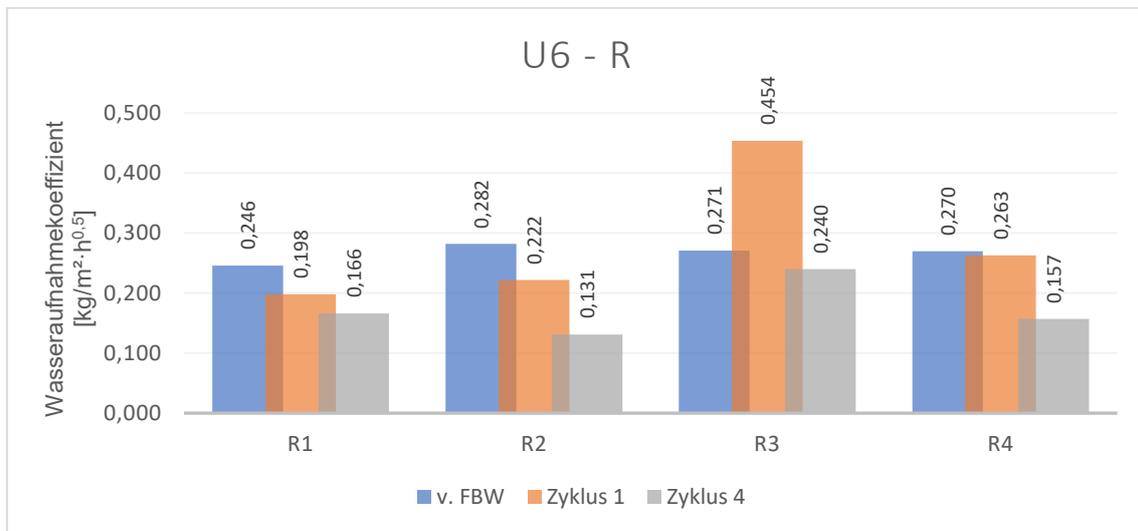


Abbildung 121: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der ungeschützten PK des Untergrundes U6 und deren Entwicklung vor der Freibewitterung (v. FBW) bis in den 4. Zyklus

Alle ungeschützten Oberflächen waren über den gesamten Prüfzeitraum der Klasse III: wasserabweisend zuzuordnen. Aufgrund der unzureichenden Reinigungsergebnisse durch starke Farbanhaftungen konnten für die rauen Probekörper teilweise nur über vier Zyklen die Entwicklung der Wasseraufnahme bestimmt werden.

### 5.8.2 Prüfkörper mit AGS

#### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Nach Auftrag der AGS wurde der w-Wert der beschichteten Prüfkörper bestimmt und eine Einteilung nach ihrem Saugvermögen gemäß DIN 4108-3<sup>185</sup> vorgenommen. Zusätzlich erfolgte eine Beurteilung nach DIN EN 1062-3<sup>186</sup>, in die Klassen W<sub>0</sub> bis W<sub>3</sub> (Tab.

<sup>185</sup> DIN 4108-3:2018-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

<sup>186</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

40). Anhand dieser lässt sich der Widerstand des Beschichtungssystems gegen das Eindringen von Wasser beurteilen (DIN EN 1062-3<sup>187</sup>).

Durch den Auftrag der AGS konnten alle Prüfkörper eine deutliche Senkung des mittleren w-Wertes (MW in  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ ) erreichen (Anhang 3.7, S. 230 und 231). Für die Beschichtungen AGS3 und AGS4 ließen sich dabei die stärksten Reduzierungen ermitteln, alle Untergründe erzielten einen w-Wert zwischen 0,004 bis 0,009  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  (Tab. 40). Die hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 und AGS2 erreichten w-Werte zwischen 0,005 und 0,054  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  (Tab. 40).

Tabelle 40: Mittlere w-Werte und Einteilung nach dem Saugverhalten (DIN 4108-3<sup>188</sup>) sowie der Wasserundurchlässigkeit (DIN EN 1062-3<sup>187</sup>)

	Untergrund											
	U1				U2				U3			
AGS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MW <sub>o</sub> <sup>1)</sup>	0,023				0,058				0,083			
MW <sub>A</sub> <sup>2)</sup>	0,008	0,014	0,006	0,006	0,005	0,008	0,006	0,005	0,011	0,014	0,009	0,006
K <sub>SV</sub> <sup>3)</sup>	III (wasserabweisend)											
K <sub>WU</sub> <sup>4)</sup>	W <sub>3</sub>											
	Untergrund											
	U4				U5				U6			
AGS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
MW <sub>o</sub> <sup>1)</sup>	0,011				0,546				0,286			
MW <sub>A</sub> <sup>2)</sup>	0,009	0,009	0,008	0,004	0,008	0,054	0,008	0,004	0,009	0,012	0,009	0,004
K <sub>SV</sub> <sup>3)</sup>	III (wasserabweisend)											
K <sub>WU</sub> <sup>4)</sup>	W <sub>3</sub>											

<sup>1)</sup> MW<sub>o</sub>: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der Originalprüfkörper in  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$

<sup>2)</sup> MW<sub>A</sub>: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient nach Auftrag AGS in  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$

<sup>3)</sup> K<sub>SV</sub>: Klasse nach DIN 4108-3<sup>188</sup>, Saugverhalten

<sup>4)</sup> K<sub>WU</sub>: Klasse nach DIN EN 1062-3<sup>187</sup>, Wasserundurchlässigkeit für Beschichtungsstoffe

Der Untergrund U4 (Mauerscheibe, WU-Beton), erlangte durch die Applikation der AGS die geringsten Senkungen des w-Wertes von 18 bis 64 %. Dies war aufgrund der geringen Wasseraufnahme des Originalprüfkörpers zu erwarten.

Aufgrund ihres starken Saugverhaltens im Originalzustand konnte für die Untergründe U5 (Betongehwegplatte) und U6 (geschalte Betonplatte) die größten Abnahmen des w-Wertes um 90 bis 99 % ermittelt werden.

Nach DIN EN 1062-3<sup>187</sup> erfüllten die vier AGS auf allen Untergründen die Forderungen der Klasse W<sub>3</sub> mit  $w \leq 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  einer niedrigen Wasserdurchlässigkeit. Je kleiner der w-Wert, desto geringer ist die Wasseraufnahme und die Wasserdurchlässigkeit und umso höher ist der Schutz des Untergrundes (Weber 2007). Unabhängig von der

<sup>187</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

<sup>188</sup> DIN 4108-3:2018-10, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz - Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

Oberflächenstruktur konnten für alle Untergründe annähernd identische Werte ermittelt werden (Tab. 40).

Beurteilt nach ihrem Saugverhalten ergab sich für alle Untergründe die Einteilung in die Klasse III wasserabweisend und ein starkes Streben gegen Null. Auch der Untergrund U5, die Betongehwegplatte, konnte durch den Auftrag aller AGS als wasserabweisend charakterisiert werden.

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Die Bewitterung erbrachte für die beschichteten Nullproben über acht Zyklen geringe Veränderungen des w-Wertes im Vergleich zu den Messwerten direkt nach der Applikation.

Für die hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) lagen diese zwischen -19 % und +10 %. Die Beschichtungen (AGS3+AGS4) erreichten Abweichungen von -9 % bis +18%.

Auf dem Untergrund U6 (Abb. 122), der geschalteten Betonplatte, ergab sich bspw. für das AGS1 eine reduzierte Wasseraufnahme von 22 % und für das AGS2 ein erhöhtes Saugverhalten von 8 %.

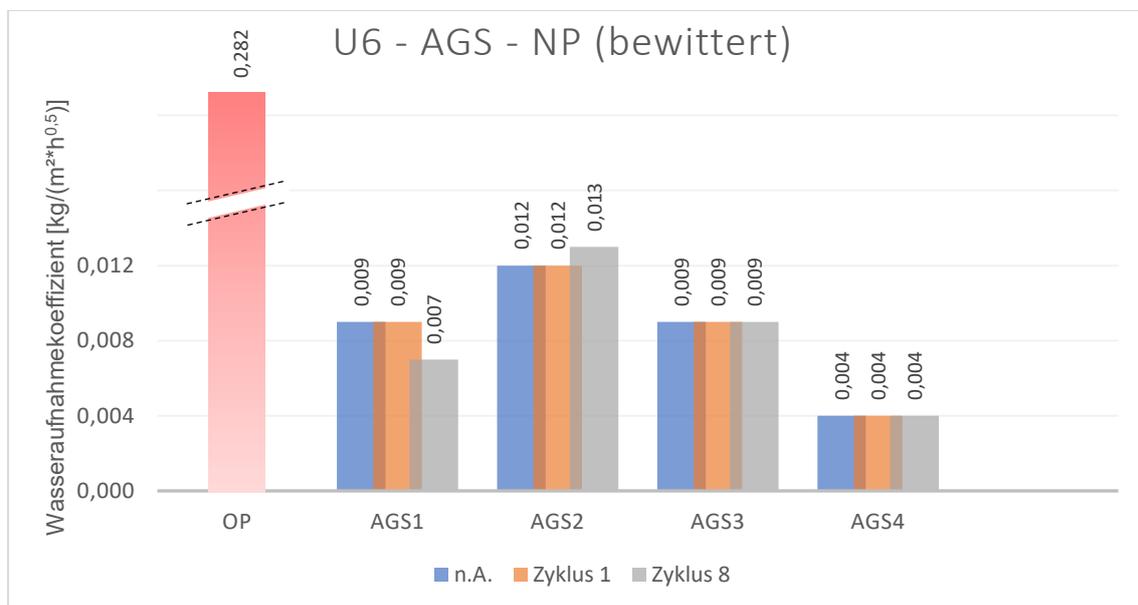


Abbildung 122: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der beschichteten Nullproben des Untergrundes U6 und deren Entwicklung nach Auftrag (n.A.) der AGS bis in den 8. Zyklus im Vergleich zum unbeschichtetem Originalprüfkörper (OP)

Die Beschichtungen (AGS3+AGS4) sorgten für eine gleichbleibende Wasseraufnahme. Die Abbildung 122 verdeutlicht, dass die beschichteten Nullproben mit w-Werten zwischen 0,004 – 0,013 kg/(m²·h<sup>0,5</sup>) weit unter dem Saugverhalten der Originalprüfkörper mit 0,282 kg/(m²·h<sup>0,5</sup>) lagen.

Ab dem 4. Zyklus führte nur das AGS4 auf dem Untergrund U5 (Betongehwegplatte) zu einer enormen Steigerung des Wasseraufnahmevermögens um 73 %. Durch die visuelle Betrachtung wurde bereits vermutet, dass dieses System defekt sein könnte. Allerdings lag der ermittelte Wert von  $0,0060 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$  noch weit unter dem der Originalprüfkörper von  $0,5651 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ .

Unter dem Einfluss der Witterung konnten alle geschützten Prüfkörper über den gesamten Zeitraum von acht Zyklen die Klasse III (wasserabweisend) und die Klasse  $W_3$  (niedrige Wasserdurchlässigkeit) nach DIN EN 1062-3<sup>189</sup> beibehalten. Die vier Systeme haben den Schutz gegen das Eindringen von Wasser erfolgreich bestanden.

#### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

Nach dem Auftrag der AGS waren alle Prüfkörper in die Klasse III: wasserabweisend bzw. nach DIN EN 1062-3<sup>189</sup> der Klasse  $W_3$  (niedrige Wasserdurchlässigkeit) einzuteilen.

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1 und AGS2)*

Bereits durch den ersten Reinigungsvorgang trat für die Untergründe U5 (Anhang 4.7, S. 245) und U6, behandelt mit dem AGS2, eine starke Erhöhung des Saugverhaltens ein. Das führte zur Herabstufung in die Klasse  $W_2$  (mittlere Wasserdurchlässigkeit). Für den Untergrund U6 mit dem AGS1 erfolgte im 7. Zyklus ebenfalls die Einstufung in die Klasse  $W_2$ .

Im ersten Zyklus erreichten die Imprägnierungen auf der geschalteten Betonplatte (U6), w-Werte von 0,039 (AGS1) bzw. 0,108 (AGS2)  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$  (Abb. 123). Das entsprach einer Erhöhung der Wasseraufnahmen von 332 % (AGS1) und 795 % (AGS2). Alle anderen Prüfkörper erfüllten über acht Zyklen die Klasse  $W_3$ .

#### *Beschichtungen (AGS3 und AGS4)*

Die geringsten Veränderungen der Wasserdurchlässigkeit ließen sich für die AGS3-geschützten Prüfkörper mit -6 bis +11 % ermitteln. Die Änderungen der AGS1-geschützten Proben lagen zwischen -13 und +975 %, die der AGS2-geschützten bei -26 bis +795 % und die der AGS3-geschützten bei +6 bis +894 %.

Die Beschichtung AGS3 erreichte über acht Zyklen Messwerte zwischen 0,007 und 0,008  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$  (Abb. 123), was einer Veränderung der Wasseraufnahme von -5 bis -25 % entsprach. Auch das AGS4 bewirkte zunächst Änderungen von etwa +25 %, ab dem sechsten Zyklus stieg der w-Wert allerdings stark an und erreichte im achten Zyklus eine Erhöhung um 1100 %. Diese Abweichung bestätigte die Aussage der visuellen Begutachtung. Vermutlich lag hier ein Defekt im System vor.

---

<sup>189</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

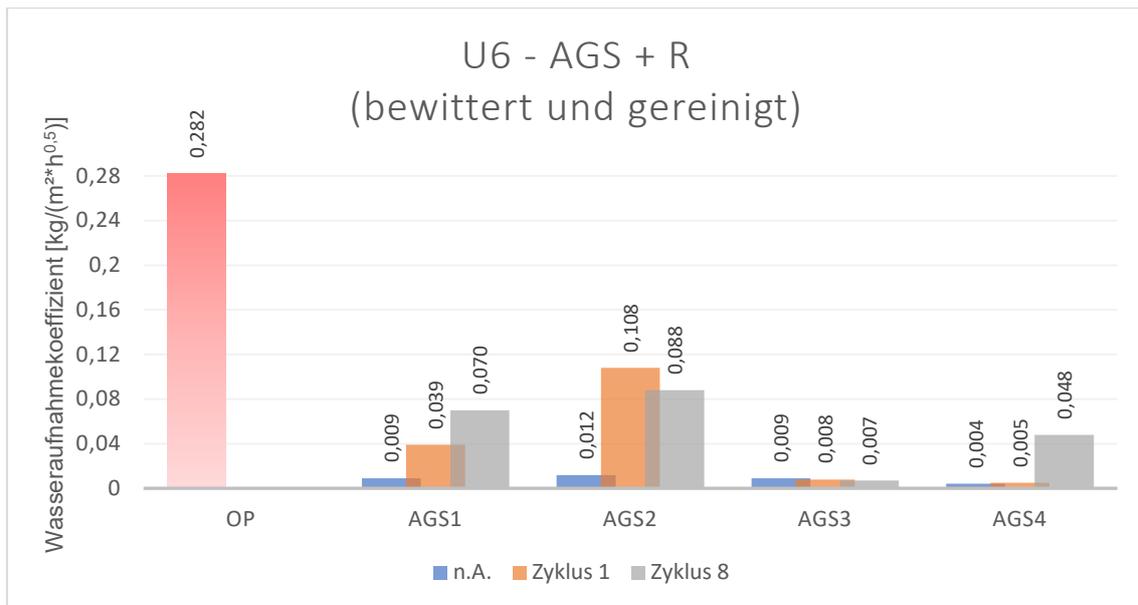


Abbildung 123: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der beschichteten und gereinigten Prüfkörper des Untergrundes U6 und deren Entwicklung nach Auftrag (n.A.) der AGS bis zum 8. Zyklus

Die Untergründen U5 und U6 hatten eine raue und offenporigere Oberfläche. Sollte hier der Oberflächenschutz durch die Reinigung beschädigt worden sein, konnte über die Poren wieder mehr Wasser aufgesogen werden.

Starke Veränderungen gegenüber dem siebten Zyklus konnten für den Prüfkörper U1-A1-R1-3 festgestellt werden, diese waren auf eine offensichtliche Beschädigung an der Oberfläche (Riss) zurückzuführen (Anhang S. 247: Bilder AGS1 nach 8. Zyklus).

Dadurch zeigte die schalungsglatte, hochfeste Fassadenplatte (U1) ein erhöhtes Saugvermögen um 1071 %, entsprach aber dennoch der Klasse W<sub>3</sub>.

Fazit:

- Die Originalprüfkörper zeigten mit Ausnahme des Untergrundes U5 (Gehwegplatte) bereits ohne Schutzsystem ein wasserabweisendes Verhalten. Diese Einordnung wurde während des gesamten Bewitterungszeitraumes beibehalten.
- Die Betongehwegplatte (U5) war als wasserhemmend zu bewerten. Gegenüber der hochfesten, sandgestrahlten Fassadenplatte (U3), nahm sie 6725 % mehr Wasser auf. Da diese Gehwegplatte nicht als Fassadenelement deklariert wird, war nicht von einer wasserabweisenden Oberfläche auszugehen.
- Für die ungeschützten Prüfkörper U1 bis U5, welche der Funktionalitätsprüfung ausgesetzt waren, ergaben sich über vier Zyklen Reduzierungen des Saugverhaltens von bis zu 81 %.
- Eine deutliche Ausnahme bildete der Untergrund U6 (geschalte Betonplatte), hier konnte im ersten Zyklus eine Zunahme der Wasseraufnahme um 68 % für den

- Reiniger R3 ermittelt werden. Ab dem zweiten Zyklus war auch hier ein Rückgang des Saugverhaltens erkennbar.
- Durch den Auftrag der AGS wurde bei allen Prüfkörper die Wasseraufnahme gesenkt. Der Untergrund U4 (Mauerwinkel) erzielte durch die Applikation der AGS die geringsten Senkungen des w-Wertes, was aufgrund seiner Eigenschaft als WU-Beton zu erwarten war.
  - Aufgrund ihres starken Saugverhaltens im Originalzustand konnte für die Untergründe U5 und U6 durch die Applikation der AGS die größte Abnahme des w-Wertes ermittelt werden. Durch den Auftrag der AGS erzielte auch der Untergrund U5 die Klasse  $W_3$  und war als wasserabweisend einzustufen.
  - Die Bewitterung erbrachte für die beschichteten Nullproben über acht Zyklen geringe Veränderungen gegenüber den Messwerten direkt nach der Applikation.
  - Bereits nach dem ersten Zyklus zeigten sich für die Untergründe U5 und U6 mit AGS2 (mit Farbauftrag und Reinigung) starke Erhöhungen im Saugverhalten, das führte zur Herabstufung in die Klasse  $W_2$  (mittlere Wasserdurchlässigkeit). Für den Untergrund U6 mit AGS1 erfolgte im 7. Zyklus ebenfalls die Einstufung in die Klasse  $W_2$ . Alle anderen mit AGS behandelten Prüfkörper und Funktionsprüfungen erfüllten über acht Zyklen die Klasse  $W_3$ .
  - Starke Erhöhungen der w-Werte bedeuteten nicht zwangsläufig eine Änderung der Klasseneinteilung, könnten aber ein Hinweis auf einen Defekt im System sein. Für den AGS4-geschützten Untergrund U6 (+1100 %) und den AGS1-geschützten Untergrund U1 (+1071 %) wurde die Annahme aus der visuellen Begutachtung bezüglich einer Schädigung des Systems bestätigt.

## 5.9 Schichtdicke

### 5.9.1 Prüfkörper mit AGS

#### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Die Schichtdicke wurde an allen 120 ( $n_U = 20$ ) beschichteten Betonuntergründen gemessen (Anhang 3.1, S. 225). Weil die Ergebnisse der Schichtdickenmessung für die hydrophobierenden Imprägnierungen wenig aussagefähig waren, wurde entschieden, auch Messungen der Eindringtiefe durchzuführen. Da diese nicht zerstörungsfrei ermittelt werden konnten, erfolgte die Bestimmung stichprobenartig an den Untergründen U1 und U5 direkt nach der Applikation der Schutzsysteme.

### Schichtdicke

Anforderungen an die Schichtdicke nach Literatur- sowohl Herstellerangaben sind nur eingeschränkt verfügbar (Tab. 41). Für Imprägnierungen gibt Kupfer (2008) keine Vorgaben zur Schichtdicke, für die Beschichtungen werden Dicken von  $\geq 100 \mu\text{m}$  empfohlen. Nach Sachsenmaier-Wahl (2018) sollten die Schichtdicken für Imprägnierungen mind.  $100 \mu\text{m}$  ( $0,1 \text{ mm}$ ) betragen, Angaben zu Beschichtungen erfolgten nicht.

Der Hersteller der hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) machte in den techn. Merkblättern keine Angaben zur Schichtdicke. Lediglich der Hersteller der AGS3 Beschichtung gab eine Mindestdicke von  $50 \mu\text{m}$  vor.

Tabelle 41: Anforderungen an die Schichtdicke nach Hersteller- und Literaturangaben für Hydrophobierungen und Beschichtungen

Quelle	Hydrophobierung/Imprägnierung		Beschichtungen	
	AGS1	AGS2	AGS3	AGS4
Kupfer, 2008	k. A.		$\geq 100 \mu\text{m}$	
Sachsenmaier-Wahl, 2018	$0,1 \text{ mm}$ ( $100 \mu\text{m}$ )		k. A.	
Hersteller	k. A.		mind. $50 \mu\text{m}$	k. A.

Der Messvorgang mit dem Schichtdickenmessgerät De Felsko PosiTector 200 (Ultraschall-Farbdickenmessgerät) musste an den rauen Untergründen mehrfach gestartet werden, da dieser unrealistische und stark streuende Werte hervorbrachte (Tab. 42).

Für den Untergrund U5 (Betongehwegplatte) ergaben sich insgesamt für alle vier AGS die stärksten Standardabweichungen von  $7,19$  bis  $15,21 \mu\text{m}$  (Tab. 42). Das entsprach einer relativen Standardabweichung (RSD) von  $6$  bis  $24 \%$ .

Das AGS3 (Beschichtung) erreichte bezogen auf alle Untergründe die größten Variationskoeffizienten (RSD) mit  $16 \%$  ( $5,71 \mu\text{m}$ ) für den rauen Untergrund U6 bis  $14 \%$  ( $22,80 \mu\text{m}$ ) für den glatten Untergrund U4 (Tab. 42).

Tabelle 42: Mittlere Schichtdicken und Standardabweichungen für die Untergründe U1 bis U6 mit den AGS1 bis AGS4

AGS	MW $\pm$ s [ $\mu\text{m}$ ] Untergrund					
	U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	$49,80\pm 3,71$	$50,67\pm 7,01$	$35,27\pm 2,19$	$51,47\pm 1,81$	$62,13\pm 15,21$	$33,80\pm 1,66$
2	$50,20\pm 3,03$	$46,47\pm 2,59$	$34,13\pm 3,02$	$52,53\pm 1,96$	$46,87\pm 9,26$	$35,53\pm 1,81$
3	$134,00\pm 16,26$	$120,80\pm 12,51$	$82,20\pm 8,55$	$161,00\pm 22,80$	$123,27\pm 7,19$	$36,20\pm 5,71$
4	$48,40\pm 6,42$	$47,40\pm 5,58$	$32,60\pm 1,88$	$55,07\pm 3,26$	$60,80\pm 11,05$	$37,47\pm 3,16$

Die in der Tabelle 41 genannten Anforderungen konnten nur teilweise erfüllt werden. Kupfer (2008) forderte eine Schichtdicke von  $\geq 100 \mu\text{m}$  für Beschichtungen, das erreichte nur das AGS3 für die Untergründe U1 (schalungsglatte Fassadenplatte), U2 (glatt geschliffene Fassadenplatte), U4 (Mauerwinkel Sichtbeton) und U5 (Betongehwegplatte) (Tab. 42, grün hinterlegt).

Mit Messwerten von 32,60 bis 37,47 µm wurden mit den hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) und der Beschichtung AGS4 für die rauen Untergründe U3 (gestrahlte Fassadenplatte) und U6 (geschalte Betonplatte) die geringsten Schichtdicken ermittelt. Das AGS4 erreichte mit 82,20 µm nicht die Anforderungen nach Kupfer (2008), lag aber dennoch etwa 135 % über den anderen Schutzsystemen.

Sachsenmaier-Wahl (2018) empfahl für Imprägnierungen eine Schichtdicke von 100 µm (0,1 mm), diese konnte auf keinem Untergrund erreicht werden. Mit 62,13 µm erzielte das AGS1 für den Untergrund U5 und mit 52,53 µm das AGS2 auf dem Untergrund U4 die stärksten Schichtdicken.

Forderungen seitens der Hersteller bestanden nur für das AGS3 mit einer Mindestschichtdicke von 50 µm. Diese wurden, mit Ausnahme des Untergrundes U6, auf allen Betonuntergründen erfüllt.

Es war davon auszugehen, dass ein technisches Problem mit dem Schichtdickenmessgerät (Ultraschalltechnologie) vorlag bzw. es für die gewählten Untergründe nicht geeignet war. Diese Vermutung wurde in den folgenden Zyklen weiter untersucht.

### *Eindringtiefe*

Für die Ermittlung der Eindringtiefe wurden die AGS-geschützten Prüfkörper „gebrochen“ und die Bruchkante mit wasserunlöslicher Tinte benetzt. Anschließend konnte mit dem Olympus-Mikroskop die Eindringtiefe unter mehrfacher Vergrößerung ermittelt werden. Die Auswertung erfolgte nach DIN EN 1504-2<sup>190</sup>.

Für den Prüfkörper U5 (Betongehwegplatte) behandelt mit dem AGS1 konnte die Eindringtiefe aus sechs Einzelwerten (Abb. 124) ein Mittelwert (MW±s) von 7,78 ± 1,72 mm berechnet werden. Das entsprach der Klasse I < 10 mm nach ZTV-ING<sup>191</sup> und erfüllte die Anforderungen nach Bendix (2017), welcher eine Eindringtiefe von 5 bis 10 mm empfahl (Tab. 43). Die nach Herstellerangaben gewünschte Klasse II ≥ 10 mm konnte in den vorliegenden Untersuchungen nicht erfüllt werden (Tab. 43).

*Tabelle 43: Anforderungen an die Eindringtiefe nach Hersteller- und Literaturangaben sowie Richtlinien für Hydrophobierungen bzw. hydrophobierende Imprägnierungen*

Quelle	Hydrophobierung/Imprägnierung	
	AGS1	AGS2
ZTV-ING <sup>191</sup>	Klasse I: < 10 mm (< 10.000 µm) Klasse II: ≥ 10 mm (≥ 10.000 µm)	
Benedix, 2017	5 – 10 mm (5000 – 10.000 µm)	
Hersteller	Klasse II: ≥ 10 mm (derzeit noch in Prüfung)	k.A.

<sup>190</sup> DIN EN 1504-2:2005-01, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton

<sup>191</sup> ZTV-ING 2022/01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

Für den AGS2-geschützten Untergrund U1 (Abb. 125), der schalungsglatten, hochfesten Fassadenplatte, wurde eine mittlere Eindringtiefe von  $1,24 \pm 0,27$  mm festgestellt. Diese war ebenfalls der Klasse I nach ZTV-ING<sup>192</sup> zuzuordnen. Mit 1,24 mm lag die Eindringtiefe weit unter den Empfehlungen nach Benedix (2017).

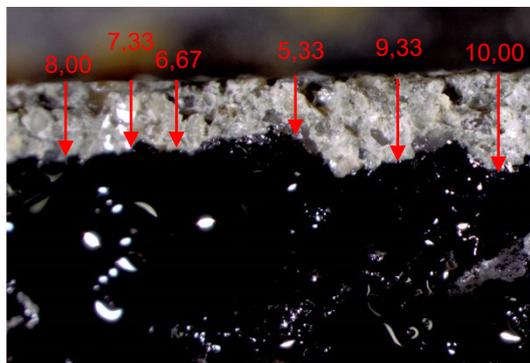


Abbildung 124: Eindringtiefe des AGS1 in den Untergrund U5 (Betongehwegplatte)

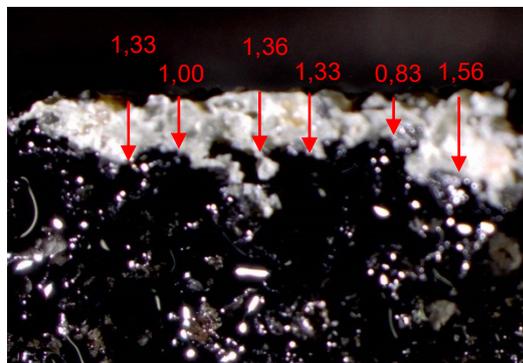


Abbildung 125: Eindringtiefe des AGS2 in den Untergrund U1 (schalungsglatte Fassadenplatte)

#### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Für die Zyklen 1 und 2 wurden die mittleren Schichtdicken gemessen. In der Tabelle 44 sind die prozentualen Änderungen der Zyklen gegenüber der Stufe III: Nach Auftrag AGS, für alle beschichteten Nullproben mit den jeweiligen AGS, aufgeführt. Allein bei diesen Prüfkörpern, die ausschließlich der Bewitterung und keinem Farbauftrag bzw. Reinigung ausgesetzt waren, konnten keine plausiblen Ergebnisse erzielt werden.

Tabelle 44: Prozentuale Veränderung der Schichtdicke gegenüber der Stufe III für die Untergründe U1 bis U6 mit den AGS1 bis AGS4

Zyklus	AGS	Veränderung der Schichtdicke nach Untergrund in %					
		U1	U2	U3	U4	U5	U6
1	1	-15	-2	-15	+5	+39	+129
2		+12	-7	+14	-11	-1	-17
1	2	+4	+7	+2	-3	+32	-4
2		-4	+10	-14	-1	-16	+62
1	3	-69	-6	+42	-11	+9	+40
2		+5	-18	-31	-1	-31	+62
1	4	+12	-6	+9	-5	+9	+35
2		+59	-2	+47	-6	-36	-17

Das AGS1 verlor auf dem Untergrund U1 zunächst 15 % an Schichtdicke und erfuhr im zweiten Zyklus eine Zunahme um 12 % (Anhang 4.1, S. 233). Ein Oberflächenschutz kann zwar an Schichtdicke verlieren, jedoch ist eine anschließende Zunahme nicht realistisch.

Die Abbildungen 126 und 127 sollen verdeutlichen, wie inkonstant sich die Werte der ermittelten Schichtdicke verhalten haben (Anhang 4.1, S. 233, Diagramme AGS2 und

<sup>192</sup> ZTV-ING 2022/01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

AGS4). Für kein AGS konnten reproduzierbare Ergebnisse ermittelt werden. Ein irreguläres Abwechseln der Zu- und Abnahme der Schichtdicke zeugten von untypischem Verhalten.

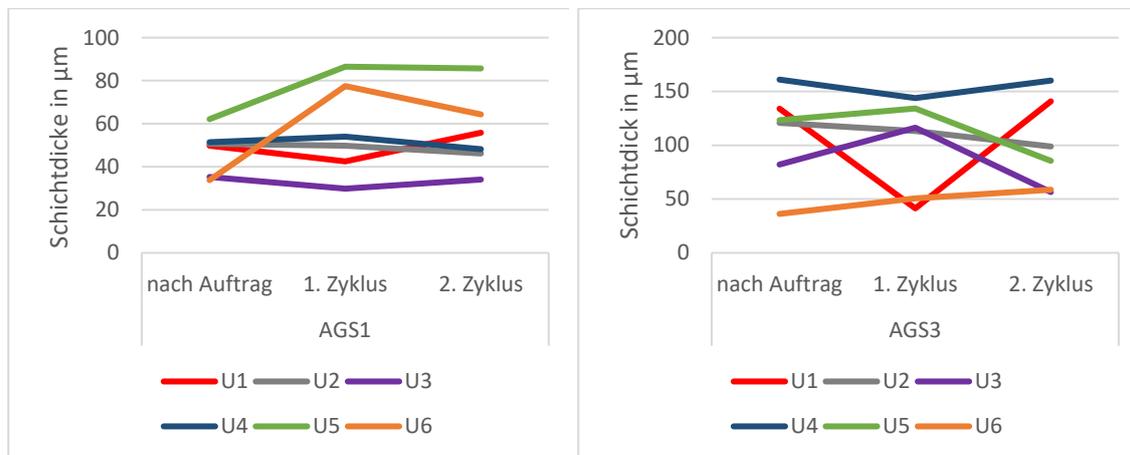


Abbildung 126: Schichtdicken für die AGS1-beschichteten Nullproben

Abbildung 127: Schichtdicken für die AGS3-beschichteten Nullproben

Fazit:

- Es war bereits bei den ersten Messungen nach Applikation der AGS davon auszugehen, dass ein technisches Problem mit dem Schichtdickenmessgerät (Ultraschalltechnologie) vorlag bzw. es für die gewählten Untersuchungen nicht geeignet war. Diese Vermutung wurde in den folgenden zwei Zyklen bestätigt. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die Schichtdickenmessungen nach dem 2. Zyklus eingestellt.

## 5.10 Abreißfestigkeit

### 5.10.1 Prüfkörper mit AGS

Wie im Abschnitt 4.1 (4.1.1 und 4.1.8) beschrieben, konnten die Abreißfestigkeiten aufgrund der zerstörenden Prüfung nur direkt nach Auftrag der AGS sowie nach dem 8. Zyklus ermittelt werden.

#### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Obwohl die AGS3 und AGS4 vom Hersteller nicht als Beschichtungen gemäß ZTV-ING nach Klasse OS-B<sup>193</sup> deklariert wurden, erfüllten sie dessen Anforderungen. Die von der ZTV-ING<sup>193</sup> geforderten Mindestwerte werden mit einem Mittelwert von 0,8 N/mm<sup>2</sup> und einem kleinsten Einzelwert von 0,5 N/mm<sup>2</sup> vorgeschrieben.

<sup>193</sup> ZTV-ING 2017/10: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Tabelle 3.4.6: Abreißfestigkeiten (Mindestwerte), OS-B: Oberflächenschutzsysteme-Beschichtungen für nicht begeh- und befahrbare Flächen ohne Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung

Diese Werte konnte das AGS3 mit Mittelwerten von 1,37 bis 5,46 N/mm<sup>2</sup> auf allen sechs Untergründen einhalten (Abb. 128, dunkelblau dargestellt). Gleiches traf mit Ergebnissen zwischen 0,96 und 4,90 N/mm<sup>2</sup> auf das AGS4 zu (Abb. 128, hellblau dargestellt).

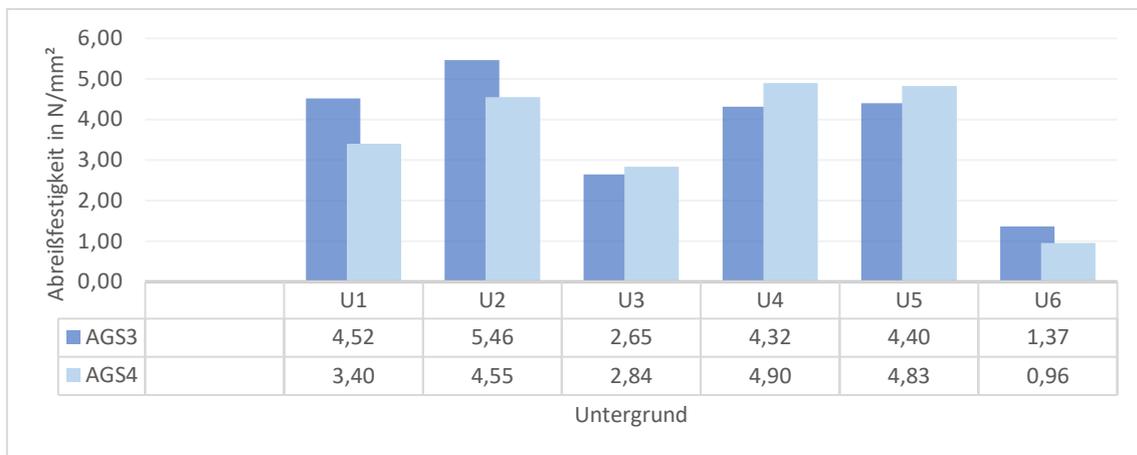


Abbildung 128: Mittlere Abreißfestigkeiten der Beschichtungen (AGS3+AGS4) auf den 6 verschiedenen Betonuntergründen (U1-U6)

Nach Momber, Schulz (2006) und Raupach, Rößler (2006) spielt die Oberflächenrauheit bzw. -bearbeitung eine signifikante Rolle bei der Haftung eines Beschichtungssystems. Es soll eine ausreichende Adhäsionsfläche und Verzahnungsmglichkeiten sichergestellt werden (Momber, Schulz 2006). Erfahrungen von Raupach, Rößler (2006) zeigten, dass eine sehr große Rauheit die Haftung sogar reduzieren kann.

Beide Systeme erreichten auf den rauen Untergründen U3 (gestrahlte, hochfeste Fassadenplatte) und U6 (geschalte Betonplatte) die geringsten Abreißfestigkeiten, diese wiesen mit  $R_z$  339,72 bzw. 241,77  $\mu\text{m}$  sehr große mittlere Rautiefen auf und bestätigten somit die Vermutungen von Raupach, Rößler (2006).

Tendenziell wurden die höchsten Abreißfestigkeiten auf den glatten Untergründen U2 und U4 erzielt, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den ermittelten Rautiefen ( $U_2=100,19 / U_4=125,00 \mu\text{m}$ ) bestand. Unerwartet erreichte die raue Betongehwegplatte U5 ( $R_z=374,60 \mu\text{m}$ ) eine hohe Abreißfestigkeit. Das kann auf die Porosität zurückzuführen sein. Die Beschichtungssysteme konnten die oberflächennahen Poren ausfllen und eine gute Verzahnung erreichen.

Eine Protokollierung zur Bruchart in % der Bruchfläche enthält der Anhang 3.8, S. 232, ebenso alle ermittelten Einzel- und Mittelwerte. Zusammenfassend ließen sich alle Brüche dem Kohäsionsbruch zuordnen, wobei für beide Beschichtungen die Brüche zu 60 – 100 % im Beton erfolgten. Zu einem geringen Anteil von 0 – 40 % zeigten sich Brüche zwischen Oberflächenschutzsystem und dem Betonuntergrund mit 0 – 30 % in den Klebefugen zwischen Stempel und Beschichtung.

### Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Geringe Veränderungen der Abreißfestigkeit durch den Bewitterungseinfluss während der acht Zyklen zeigten sich für die AGS3-geschützten Prüfkörper. Diese waren mit -1 bis +6 % gegenüber den nach Auftrag gemessenen Werten verschwindend klein (Abb. 129). Die Mindestwerte nach ZTV-ING<sup>194</sup> konnten die Nullproben des AGS3 mit Mittelwerten von 1,28 bis 5,39 N/mm<sup>2</sup> auch nach dem gesamten Prüfzeitraum einhalten.

Für alle AGS4-beschichteten Prüfkörper war eine Verringerung der mittleren Abreißfestigkeit zwischen 8 und 45 % (Abb. 130) zu beobachten. Dennoch wurden auch hier mit Werten zwischen 0,82 bis 3,27 N/mm<sup>2</sup> die Mindestanforderungen nach ZTV-ING<sup>194</sup> eingehalten.

Eine Protokollierung zur Bruchart in % der Bruchfläche enthält der Anhang 5.7, S. 250, ebenso alle ermittelten Einzel- und Mittelwerte.

### Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

#### AGS3

Den AGS3-geschützten Prüfkörpern, die der Bewitterung und der Funktionalitätsprüfung ausgesetzt waren, konnte durch den Farbauftrag und die Reinigung kein wesentlicher Einfluss auf die Abreißfestigkeit nachgewiesen werden (Abb. 129). Die Haftung des Systems auf allen sechs Betonuntergründen erfuhr durch die Belastungen keine Beeinträchtigung.

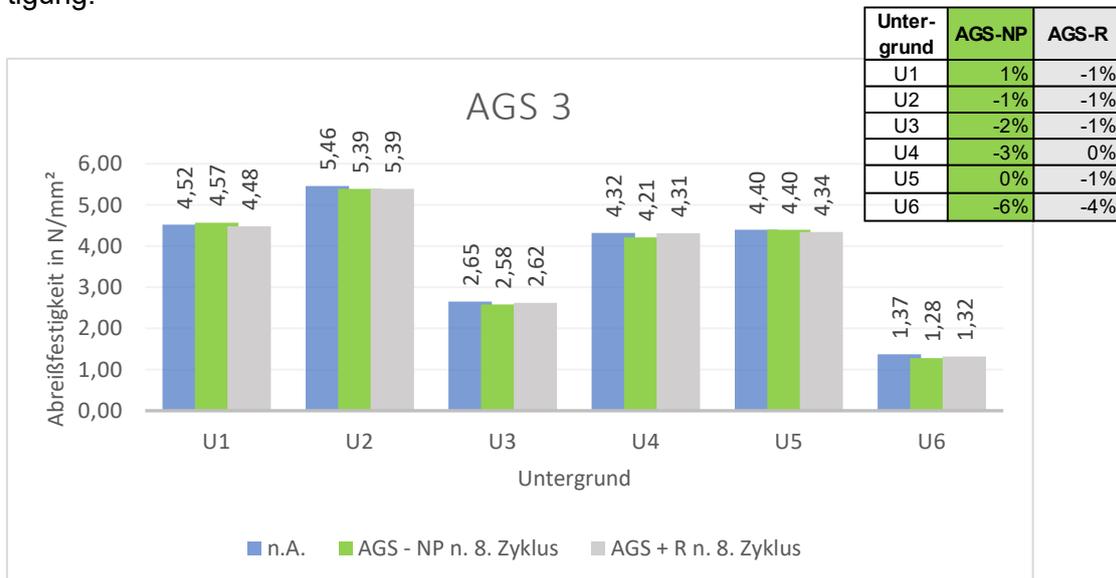


Abbildung 129: Gegenüberstellung der mittleren Abreißfestigkeiten aller Untergründe nach Auftrag (n.A.) des AGS4 und nach dem 8. Zyklus - für die beschichteten Nullproben mit Bewitterung (AGS-NP) sowie der beschichteten Prüfkörper mit Reinigung (AGS+R)

<sup>194</sup> ZTV-ING 2017/10: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Tabelle 3.4.6: Abreißfestigkeiten (Mindestwerte), OS-B: Oberflächenschutzsysteme-Beschichtungen für nicht begehbare und befuhrbare Flächen ohne Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung

## AGS4

Für die AGS4-geschützten Untergründe konnten wiederum Abnahmen der mittleren Abreißfestigkeit zwischen -1 und -72 % ermittelt werden (Abb. 130). Die rauen Untergründe U3 und U5 erbrachten nach dem 8. Zyklus Reduzierungen um 38 bzw. 72 %, die Mindestanforderungen nach ZTV-ING<sup>194</sup> wurden dessen ungeachtet erfüllt. Es muss ange-merkt werden, dass zu dem Zeitpunkt der Prüfung diese Prüfkörper aufgrund ihrer nicht bestandenen Funktionalitätsprüfung bereits ausgeschieden waren.

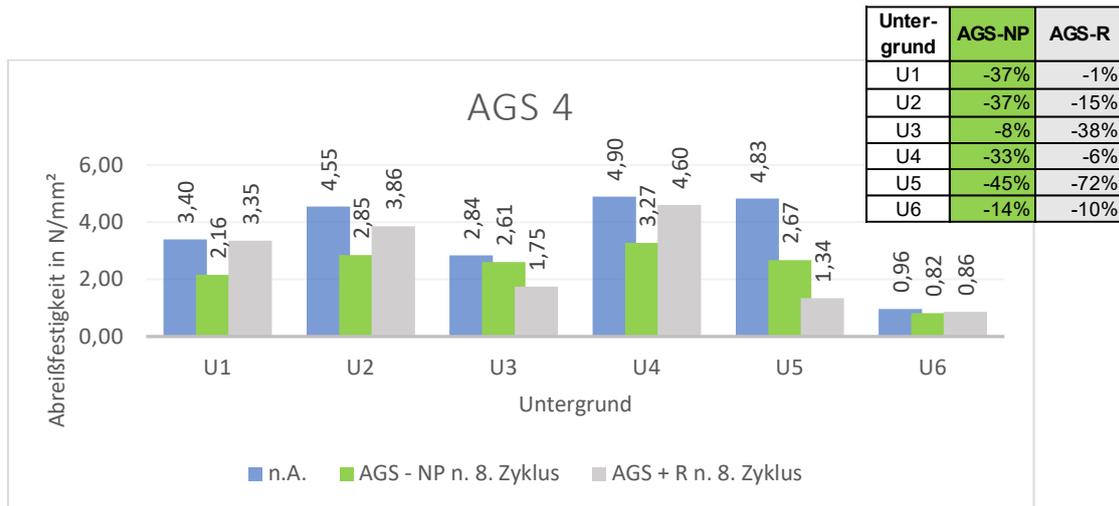


Abbildung 130: Gegenüberstellung der mittleren Abreißfestigkeiten aller Untergründe nach Auftrag (n.A.) des AGS4 und nach dem 8. Zyklus - für die beschichteten Nullproben mit Bewitterung (AGS-NP) sowie der beschichteten Prüfkörper mit Reinigung (AGS+R)

Die Ergebnisse für den Untergrund U5 behandelt mit dem AGS4 zeigten die stärksten Minderungen der Abreißfestigkeit. Die Abbildung 131 bildet die drei Prüfkörper der U5-Reihe ab, welche der Bewitterung sowie der Funktionalitätsprüfung ausgesetzt waren.

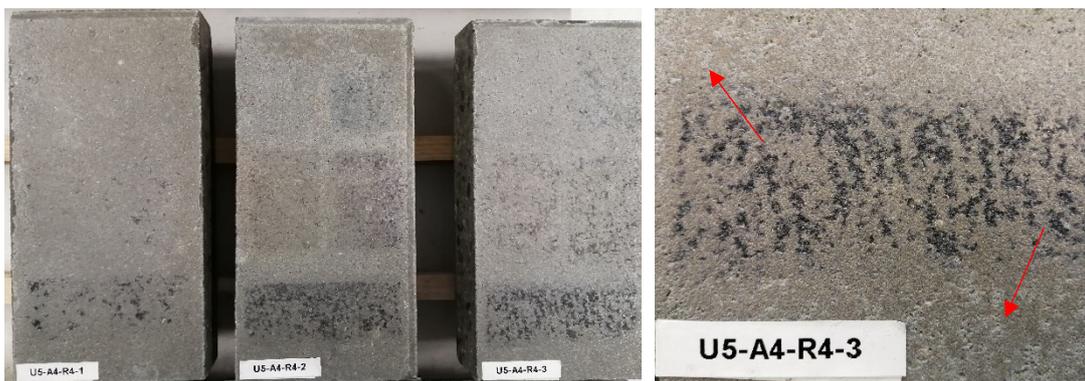


Abbildung 131: mit AGS4 beschichtete Prüfkörper U5

Abbildung 132: Nahaufnahme eines Prüfkörpers U5 mit AGS3

Die ermittelten Werte bestätigten die visuelle Betrachtung (Abb. 132), wonach die Beschichtung keine vollständige Haftung mehr vorweisen konnte (rote Pfeile) und als „Ab-lösung“ in Erscheinung trat.

Eine Protokollierung zur Bruchart in % der Bruchfläche enthält der Anhang 5.7, S. 258, ebenso alle ermittelten Einzel- und Mittelwerte.

Fazit:

- Obwohl die AGS3 und AGS4 vom Hersteller nicht als Beschichtung gemäß ZTV-ING<sup>195</sup> deklariert wurden, erfüllten sie dessen Anforderungen. Die geforderten Mindestwerte von 0,8 N/mm<sup>2</sup> (MW) und 0,5 N/mm<sup>2</sup> (EW<sub>min</sub>), wurden von beiden Systemen direkt nach Auftrag sowie nach acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen eingehalten.
- Dem AGS3 konnte weder durch die Bewitterungs- noch durch die Reinigungsbelastung ein nennenswerter Verlust der Abreißfestigkeit nachgewiesen werden. Das sprach für eine sehr gute Haftung der Beschichtung auf allen Betonuntergründen. Diese Feststellung wurde durch die Ergebnisse aus der Funktionalitätsprüfung gestützt.
- Die bewitterten AGS4-geschützten Betonprüfkörper zeigten nach acht Zyklen Abnahmen der Abreißfestigkeiten von 8 bis 45 %. Der kleinste Mittelwert von 0,82 N/mm<sup>2</sup> für den Untergrund U6 (geschalteten Betonplatte) erfüllte knapp die Anforderungen nach ZTV-ING<sup>195</sup>.
- Die Prüfkörper (AGS4), welche zusätzlich die Reinigung durchliefen, erreichten Abnahmen zwischen 1 und 72 %. Wobei auch hier für den Untergrund U6 mit 0,86 N/mm<sup>2</sup> der geforderte Mindestwert nach ZTV-ING<sup>195</sup> gerade noch eingehalten wurde.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass die Abreißfestigkeit durch mehrere Faktoren beeinflusst wird. Dazu zählen die Oberflächenrauheit, die Bearbeitung und Ausführung der Oberfläche, das verwendete Schutzsystem sowie die Einflüsse aus der Bewitterung und Reinigung.

---

<sup>195</sup> ZTV-ING 2017/10: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Tabelle 3.4.6: Abreißfestigkeiten (Mindestwerte)

## 6 Präzision der Ergebnisse und Zusammenfassung

### 6.1 Unbeschichtete Prüfkörper

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Betone bezüglich ihrer Betongüte und Oberflächentextur nicht untereinander vergleichbar sind. Durch die Prüfparameter (Rohdichte, Druckfestigkeit, Visuelle Begutachtung, Glanz, Helligkeit, Benetzungswinkel, Rauheit und Wasseraufnahmekoeffizient) konnten die Eigenschaften der Betonprüfkörper im Originalzustand erfasst werden.

Es war ein Zusammenhang der Merkmale für die Betongüte u.a. W/Z-Werte, Rohdichte, Druckfestigkeit und w-Wert aber auch der Einfluss durch bzw. auf die Betonoberfläche (Glanz, Helligkeit, Rauheit, Benetzbarkeit) feststellbar.

#### 6.1.1 Prüfkörper im Originalzustand

##### Einfluss der Betongüte

Bedingt durch niedrige W/Z-Werte weisen hochfeste Betone eine hohe Dichtigkeit und eine geringe Kapillarporosität auf. Das wiederum nimmt Einfluss auf die Festigkeiten des Betons. Je niedriger der W/Z-Wert, desto größer ist die Druckfestigkeit (CEMEX 2018). Heeß (2008) antizipiert, dass Betone mit hohen Rohdichten und höheren Festigkeiten weniger Wasser aufnehmen.

Außerdem ist davon auszugehen, dass die Dichtigkeit bzw. die Porosität und somit auch die Rohdichte und Festigkeit des Betons einen Einfluss auf den w-Wert hat (CEMEX 2018; Weber 2022). Auch nach Werner (2016) ist der Einflussfaktor Porosität eines Baustoffes auf den w-Wert nicht zu unterschätzen. Weber (2022) führt an, dass je höher die Kapillarporosität des Betons ist, er desto mehr Wasser aufnehmen kann.

Anhand der ermittelten Rohdichten (Tab. 45) konnten alle Untergründe dem Normalbeton zugeordnet werden. Die hochfesten Fassadenplatten (U1, U2 und U3) wiesen die höchsten Rohdichten, die geschalte Betonplatte die niedrigste Rohdichte auf.

*Tabelle 45: Verwendete Betonuntergründe und ihre ermittelten Parameter (Rohdichte, Druckfestigkeit und w-Wert) sowie W/Z-Werte nach Herstellerangaben*

Untergrund	U1	U2	U3	U4	U5	U6
Verwendung	hochfeste Fassadenplatte			Mauer-scheibe	Gehweg-platte	geschalte Betonplatte
Oberfläche	scha-lungsglatt	glattge-schliffen	sandge-strahlt	Sichtbeton-glatt	offenporig	sägerau
Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	2440	2480	2460	2370	2320	2150
Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	76,80	75,80	69,80	47,70	41,60	34,70
W/Z-Wert [-] <sup>1)</sup>	0,18 - 0,21	≤ 0,38	≤ 0,38	≤ 0,50	k.A.	0,50 - 0,55
w-Wert [kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0,5</sup> )]	0,023	0,058	0,086	0,011	0,546	0,286

<sup>1)</sup> W/Z-Wert = vom Hersteller angegebener Wasser-Zement-Wert

Aufgrund ihrer höheren W/Z-Werte ( $\geq 0,40$ ) und niedrigeren Rohdichten ergaben sich für die Untergründe U4, U5 und U6 geringere Druckfestigkeiten (Tab. 45). Demgegenüber standen die hochfesten Fassadenplatten (mit W/Z-Werten  $\leq 0,38$ ). Sie erreichten erwartungsgemäß teils doppelt so hohe Druckfestigkeiten.

Grundsätzlich war bei den hochfesten Betonen (U1 bis U3) aufgrund ihrer niedrigen W/Z-Werte ( $\leq 0,38$ ) und höheren Rohdichten von einer geringen Porosität auszugehen. Erwartungsgemäß war die Wasseraufnahme minimal (Tab. 45) und die Oberfläche wasserabweisend.

Nach Neroth, Vollenschaar (2011) ist für die Wasserundurchlässigkeit eines WU-Betons in erster Linie die Dichtigkeit des Zementsteins bestimmend und somit die Begrenzung des W/Z-Wertes ein entscheidendes Kriterium. Ein niedriger Wasser-Zement-Wert und die mögliche Zugabe von Betonzusatzmitteln reduzieren die Wasseraufnahme. Der WU-Beton ist daher ein nahezu wasserundurchlässiger Beton mit einem dichten Gefüge und begrenzter Wassereindringtiefe.<sup>196</sup>

Die Mauerscheibe U4 wurde vom Hersteller als WU-Beton deklariert, d.h., er wirkte aufgrund seiner Zusammensetzung und seiner Verdichtung dem Eindringen von Wasser entgegen und erreichte den geringsten Wasseraufnahmekoeffizienten.

Der Untergrund U6 (geschalte Betonplatte) erreichte einen w-Wert von  $0,29 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ , dieser lag bis zu 2800 % über den Messwerten der Untergründe U1 bis U4, dennoch war sie als wasserabweisend zu deklarieren.

Die Betongehwegplatte (U5) erzielte einen w-Wert von  $0,55 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ , welcher bis zu 25.400 % höher lag als die der anderen Untergründe. Sie war als wasserhemmend zu klassifizieren.

### Einfluss der Betonoberfläche

Die Gestaltung der Betonoberfläche nahm deutlichen Einfluss auf die ermittelten Oberflächenparameter (Tab. 46).

*Tabelle 46: Verwendete Betonprüfkörper und deren ermittelten Oberflächenparameter*

Untergrund		U1	U2	U3	U4	U5	U6
Verwendung		hochfeste Fassadenplatte			Mauerscheibe	Gehwegplatte	geschalte Betonplatte
Oberflächen	-textur	glatt	glatt	rau	glatt	rau	rau
	-farbe	hell	dunkel	dunkel	hell	dunkel	hell
Glanz GU [-]		27,73	22,59	0,52	10,70	0,10	0,19
Helligkeit L* [-]		25,75	8,56	45,22	69,14	48,03	32,61
Benetzbarkeit		Hydrophilie	Hydrophilie	Spreitung	Hydrophilie	Spreitung	Spreitung
Rauheit [ $\mu\text{m}$ ]		111	100	340	125	375	242

<sup>196</sup> <https://www.weka.de/architekten-ingenieure/wasserundurchlaessiger-wu-beton/>

So konnte für alle glatten Untergründe (U1, U2, U4) ein mittlerer Glanz (10,70 – 27,73 GU) ermittelt werden. Außerdem wiesen sie eine hydrophile Oberfläche (nicht vollständig benetzbar) und geringe Rautiefen  $R_z$  auf.

Alle rauen Untergründe waren mit erheblich geringeren Glanzwerten zwischen 0,10 und 0,52 GU als matt einzuordnen.

Zudem wurden für die rauen Oberflächen weitaus größere Rautiefen ermittelt. Die sägeraue Brettschalung erzeugte an der Betonoberfläche der geschalteten Betonplatte (U6) eine raue Oberflächentextur. Die gestockte Oberfläche des Untergrundes U3 wurde durch eine nachträgliche Bearbeitung mit sogenanntem charakteristischem Materialbruch hervorgerufen. Dies führte zu einer gemessenen Rautiefe von 339,72  $\mu\text{m}$ . Die größte Rauheit ergab sich für die Betongehwegplatte (U5) mit 374,60  $\mu\text{m}$ . Hier zeigte bereits die visuelle Begutachtung die Wahrnehmung deutlicher und zahlreicher oberflächennahen Poren, diese s.g. Peaktiefen (Täler) in der Oberfläche führten zu größeren Rautiefen.

Ergänzend konnte auch hier ein Zusammenhang zwischen der Oberflächentextur und der Benetzbarkeit festgestellt werden. Für die rauen Betonuntergründe (U3, U5, U6) wurde eine vollständige Benetzbarkeit (Spreitung) nachgewiesen.

Die Helligkeit  $L^*$  [-] wurde von 0 (reines Schwarz) bis 100 (reines Weiß) ermittelt. Visuell konnte die Helligkeit in Bezug auf die Oberflächenfarbe vorgenommen werden. Diese Wahrnehmung wurde durch die ermittelten Messwerte nur teilweise bestätigt. Der höchste Helligkeitsgrad konnte mit 69,14 für die hellbeige Mauerscheibe (U4), der niedrigste mit 8,56 für die matt-schwarze Fassadenplatte gemessen werden. Mit Helligkeitsgraden von 25,75 und 32,61 erreichten die hellgraue Fassadenplatte (U1) und die hellgraue Betonplatte in Brettschaloptik (U6) Werte, die näher an reinem Schwarz lagen. Die gemessenen Werte belegten folglich nicht immer die visuelle Wahrnehmung.

### **6.1.2 Einfluss der Bewitterung**

Laut Strehlein (2012) kann davon ausgegangen werden, dass sich das Aussehen einer Betonoberfläche unter dem Einfluss der freien Bewitterung mit der Zeit verändert. Wobei die Hauptursachen Regen und Verschmutzung sind. Viele Gebäude verändern sich dadurch schon nach wenigen Jahren. Verunreinigungen (Kleinstpartikel) lagern sich auf den Betonoberflächen ab und werden von starkem Regen verteilt. Wie schnell Verschmutzungen und dabei einhergehende Verfärbungen auftreten, hängt von klimatischen Bedingungen und vom Grad der Luftverschmutzung, aber auch vom Gebrauch eines Bauwerks bzw. vom biologischen Bewuchs im höheren Betonalter ab (AALBORG 2005; Strehlein 2012).

Ein weiterer Punkt ist die Sonneneinstrahlung, vor allem für pigmentierte Betone können sich dadurch Farbveränderungen ergeben. Anfangs bedeckt die äußere Schicht des farbigen Zementleims alle Partikel des Zuschlagstoffs, jedoch verwittert sie mit der Zeit – und so kann die Farbe des Zuschlagstoffs hervortreten (AALBORG 2005).

Nach Holcim (2022) verhindern auch optimale Herstellprozesse und beste Farbpigmente nicht, dass Betonfarben mit der Zeit etwas stumpfer werden. Bereits kurz nach der Herstellung als auch im hohen Alter können auf Betonoberflächen so genannte Verfärbungen auftreten. Im Allgemeinen sind diese Verfärbungen verdunkelnde Bereiche mit vermindertem Helligkeitswert gegenüber der ursprünglichen Betonoberfläche (Holcim 2022).

Oberflächenveränderungen infolge von Bewitterung über einen Zeitraum von 2,5 Jahren waren im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen auf allen Original-Betonoberflächen in unterschiedlicher Ausprägung zu beobachten.

Dabei spielte die Betonoberfläche eine wichtige Rolle. Die glatten Untergründe verloren bis zu 100 % ihres Glanzes und zeigten einen erkennbaren Verlust ihrer Farbtiefe, sie wirkten matter. Diese Wahrnehmung konnte auch durch die ermittelten Glanzwerte bestätigt werden, sie entsprachen bereits nach dem ersten Bewitterungszyklus der Glanzstufe G3 – matt. Die ohnehin rauen und matten Untergründe zeigten ebenfalls Glanzverluste, allerdings deutlich geringer, als die glatten Untergründe. Diese Ergebnisse bestätigen die Literaturangaben einer Veränderung von stumpfen und matten Oberflächen aufgrund der Bewitterung (AALBORG 2005; Strehlein 2012; Holcim 2016).

Die Helligkeitsveränderungen standen nicht spezifisch im Zusammenhang mit der Oberflächentextur bzw. -farbe. Hier traten die glatten Untergründe U1 (hellgraue, schalungsglatte Fassadenplatte) und U2 (matt-schwarze, glattgeschliffene Fassadenplatte) mit einer Helligkeitszunahme von bis zu 344 % hervor. Damit konnten die Annahmen nach Holcim (2016) mit verdunkelnden Verfärbungen und verminderten Helligkeitswerten nicht bestätigt werden.

Nach Heeß (2008) nehmen Betone mit einer hohen Festigkeit weniger Wasser und damit verbunden weniger Schmutz auf. D. h., die Farbveränderungen der glatten Untergründe U1 und U2 dieser Versuchsreihe waren eher der Sonneneinstrahlung und dem daraus resultierenden Einfluss auf die Pigmente zurückzuführen.

Geringe bis keine Veränderungen aufgrund der Bewitterung konnten unabhängig von der Oberflächentextur bzw. der Betongüte für die Benetzbarkeit, der Rauheit und dem w-Wert festgestellt werden. Diese Ergebnisse bestätigen die Untersuchungen durch von Laar, Lesnych und Schomann (2015). Auch hier konnte ein Bewitterungseinfluss lediglich für den Glanz und die Helligkeit auf Betonoberflächen belegt werden.

### 6.1.3 Einfluss der Reinigung

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sich ungeschützte Untergründe schlechter reinigen lassen als geschützte (Kupfer 2008). Durch eine chemische Reinigung ist nach Kupfer (2008) die Wiederherstellung der ursprünglichen Betonoberfläche praktisch nicht möglich. Problematisch gestaltet sich laut Schießl und Strehlein (2005) die Anwendung chemischer Reiniger auf rauen Untergründen. Farbmittel können tief in das Porensystem eindringen, sie sind zwar für die Lösemittel der Reiniger zugänglich, können aber auch im gelösten Zustand nicht oder nur sehr begrenzt aus dem Porensystem extrahiert werden (Schießl, Strehlein 2005). Einfacher zu reinigen sind demnach glatte Betonoberflächen (Schumann 2009).

Diese Erkenntnisse konnten über die Funktionalitätsprüfung bestätigt werden. Über die Reinigungsleistung erfolgte die Beurteilung der Funktionalität. Bereits ab der ersten Reinigung verblieben auf den rauen Untergründen (U3, U5 und U6) leichte Farbreste bzw. Farbschatten. Das war zunächst unabhängig von den verwendeten Reinigern festzustellen.

Nach Schumann (2009) liegt der Vorteil der chemischen Reinigung in der schnellen und einfachen Anwendung, wobei Lösemittel das Ablösen der Graffitifarbe bewirken.

Anfangs konnte eine schnelle Anwendung bestätigt werden. Mit zunehmenden Zyklen gestaltete sich der Reinigungsprozess komplexer. Reinigungsvorgänge mussten mehrfach wiederholt und mehr Reinigungsmittel verwendet werden. Bereits nach dem 4. Zyklus konnten die rauen Untergründe nicht mehr vollständig die Anforderungen der Funktionalitätsprüfung erfüllen und die Farbmittelentfernung blieb aus. Aufgrund der schlechten Ergebnisse waren die betroffenen Prüfkörper auszusortieren.

Für die bemessenen Prüfparameter Glanz und Benetzbarkeit zeigten die Messergebnisse Veränderungen in Abhängigkeit des verwendeten Reinigers und der Oberflächentextur. Die Tabelle 47 sortiert die verwendeten Reiniger R1 bis R4 entsprechend ihrer Hauptkomponente (Lösemittel), der Stoffgruppe sowie der Produkteinstufung nach EU-Chemikalienverordnung ein.

Tabelle 47: Einordnung der verwendeten Hauptreiniger

Reiniger	Hauptkomponente <sup>1)</sup>		Stoffgruppe	Einstufung
	Bezeichnung	Anteil in Gew.-%		
R1+R2	1-Methoxy-2-propanol	2,5 < 10	Glycolether	<b>nicht gefährlich</b> im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP]
R3	2-Butoxyethanol	50 – 100	Glycolether	<b>gefährlich</b> im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [CLP].
R4	1-Methoxy-2-propylacetat	>30	Carbon-säureester	

<sup>1)</sup> Angaben lt. den Sicherheitsdatenblättern der Hersteller

Unabhängig vom Reiniger konnte zunächst auf allen Untergründen eine Abnahme des Glanzes festgestellt werden. Für die glatten Untergründe U1, U2 und U4 wurde der Glanz im ersten Zyklus um 88 % bis 100 % reduziert, sie waren alle als matt einzustufen. Diese Veränderungen können auf die Bewitterung zurückgeführt werden.

Erst ab dem 4. Zyklus war ein Einfluss der Reinigung festzustellen. Entgegen den Originalprüfkörpern, zeigte sich mit zunehmenden Reinigungszyklen auf den glatten Untergründen, unabhängig vom eingesetzten Reiniger, eine leichte Zunahme des Glanzes vom vierten bis in den achten Zyklus. Dennoch waren alle Prüfkörper dauerhaft als matt einzuordnen. Ob diese Entwicklung auf die Reiniger oder die verbliebenen Farbreste zurückzuführen war, konnte nicht festgestellt werden.

Die Benetzbarkeit nahm nach der Anwendung der Reiniger R1+R2 auf allen Untergründen ab. Die Abnahme der Benetzbarkeit der glatten Untergründe U1, U2 und U4 fiel jedoch deutlich höher (bis zu 90 %) aus als für die rauen Untergründe.

Die Reiniger R3 und R4 führten auf den rauen Untergründen ebenfalls zu Veränderungen der Benetzbarkeit, diese waren jedoch 80 – 97 % geringer als bei den Reinigern R1+R2. Den geringsten Einfluss auf die Benetzbarkeit konnte der Reiniger R4 aufweisen. Änderungen für die glatten Untergründe blieben hierbei vollständig aus. Es ist davon auszugehen, dass das Hauptlösemittel und/oder dessen Anteil in Gew.-% einen Einfluss auf die Veränderungen der Benetzbarkeit genommen hat.

Abhängig von der Oberflächentextur jedoch unabhängig von der chemischen Zusammensetzung der verwendeten Reiniger veränderten sich die Rauheit und die Wasseraufnahme durch den Reinigungsvorgang.

Alle vier Reiniger führten auf den rauen Untergründen gleichermaßen zu verstärkten Veränderungen der Oberflächenrauheit. Für die Betongehwegplatte (U5) sowie die geschalte Betonplatte (U6) wurden Rauheitsminderungen von bis zu 34 % gemessen. Demgegenüber standen die Rauheitszunahmen von bis zu 30 % für die sandgestrahlte, hochfeste Fassadenplatte (U3). Da die hochfeste Fassadenplatte ein sehr dichtes Gefüge und eine nachträgliche Oberflächenbearbeitung aufwies, konnten die Farbpartikel nicht tief in den Untergrund eindringen. Es ist aber davon auszugehen, dass die Oberfläche durch den Reinigungsvorgang (Hochdruckreiniger) beschädigt wurde.

Die rauen Untergründe U5 und U6 waren keine hochfesten Betone. Aufgrund ihrer hohen Ausgangsrautiefen und einer anzunehmenden größeren Porosität konnten die Farbpartikel sowie das Gemisch aus Farbe und Reiniger tiefer in die Oberfläche eindringen und nicht mehr vollständig extrahiert werden, was folglich zu einer Abnahme der Rauheit führte. Diese Erkenntnisse stützen die o.g. Aussagen von Schießl, Strehlein (2005) und Schumann (2009).

Die Wasseraufnahme wurde durch alle Reiniger in Anhängigkeit von der Betonoberfläche ähnlich beeinflusst. Die Messungen ergaben für die glatten Untergründe U1 (schalungsglatte, hochfeste Fassadenplatte), U2 (glattgeschliffene hochfeste Fassadenplatte) und U4 (Sichtbeton-glatte Mauerscheibe) eine verminderte Wasseraufnahme von bis zu 79 %. D.h., die Oberflächen wurden durch das Farb-Reiniger-Gemisch „versiegelt“ und ein Eindringen in den Untergrund erschwert.

Unabhängig vom Reiniger und von der Oberflächentextur veränderte sich die Helligkeit der Betonuntergründe. Die Anwendung aller Reiniger sorgte auf dem glatten Untergrund U2, der matt-schwarzen, glattgeschliffenen hochfesten Fassadenplatte, für die größte gemessene Helligkeitssteigerung zwischen 300 und 324 %. Es kann davon ausgegangen werden, dass hierbei die verwendeten Pigmente im Beton durch den Reinigungsvorgang teilweise ausgewaschen wurden bzw. nicht resistent gegenüber den Reinigern waren.

#### **6.1.4 Einfluss der Farbmittel**

Durch den Auftrag eines Graffito auf einen ungeschützten Betonuntergrund kommen die Farbmittel in direkten Kontakt mit der Oberfläche. Die Haftung auf der Oberfläche bzw. die Durchdringung wird vor allem durch die Oberflächenstruktur, die Betongüte, die Benetzbarkeit und das Farbmittel selbst beeinflusst (Kupfer 2008).

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Annahme nach Kupfer (2008), Schumann (2009) sowie Weber (2022), dass die Farbmittel in raue Untergründe tiefer eindringen. Der Aufwand für deren Entfernung ist folglich erheblich höher.

Alle vier Reiniger erreichten ab dem 4. Zyklus ungenügende Reinigungsergebnisse auf den rauen Untergründen U3 und U5. Deshalb musste ab diesem Zeitpunkt auf die Untersuchungen der Funktionalität größtenteils verzichtet werden. Hauptursache war die mangelhafte Entfernung des Permanentmarkers. Die flüssige Tinte dieses Markers konnte tiefer in den rauen Untergrund eindringen, das erschwerte die Reinigung. Farbreste und/oder -schatten waren eindeutig erkennbar.

Außerdem war festzustellen, dass bei den Sprühfarben Sprays mit dunkler Farbgebung, welche nicht als reine Graffitisprays deklariert waren, ebenfalls zu einer schlechten Säuberung der Betonoberflächen führten. Der Lack16 (Dioxazine Purple – tiefes Lila), ein Acrylspray mit hochlichtechten Pigmenten hinterließ auf den rauen Untergründen ebenfalls ab dem 4. Zyklus deutliche Farbspuren. Für einen hohen Verbleib von Farbpartikeln auf der rauen Oberfläche U6 sorgte ab dem 6. Zyklus der mattschwarze Acrylharzlack (Lack24), ein Farbspray mit Rostschutz.

Auf den glatten Untergründen (U1, U2, U4) waren erste unzureichende Reinigungsergebnisse im 7. Zyklus festzustellen. Diese resultierten aus Farbschatten des Permanentmarkers auf der hellgrauen, schalungsglatten Fassadenplatte (U1) und der hellbeigen, Sichtbeton-glatten Mauerscheibe (U4).

Zusammenfassend kann bestätigt werden, dass die Oberflächentextur und die Benetzbarkeit die Haftung der Farbmittel beeinflussen. Je rauer ein Untergrund und je geringer der Benetzungswinkel, desto besser haften die Farbmittel auf ungeschützten Betonuntergründen. Raue Untergründe, die voll benetzbar waren (Benetzungsgruppe: Spreitung) boten den Farbmitteln eine sehr gute Eindringmöglichkeit und Haftung.

## **6.2 Beschichtete Prüfkörper**

Prüfkörper aller Untergründe wurden mit vier verschiedenen permanenten Anti-Graffiti-Systemen beschichtet. Der zeitliche Aufwand bei der Verarbeitung der Beschichtungen (AGS3 und AGS4) war deutlich höher, da zunächst ein Primer aufgetragen werden musste.

### **6.2.1 Einfluss durch die Applikation der Anti-Graffiti-Systeme**

#### Einfluss auf die visuelle Begutachtung

Entsprechend den Forderungen der Literatur (Goretzki 1998; Eichler 2009; Weber 2022), konnten die hydrophobierenden Imprägnierungen bezüglich ihres Einflusses auf das Aussehen der zu schützenden Oberfläche überzeugen: Nach visueller Betrachtung waren hier keine Veränderungen der Oberflächeneigenschaften wie der Helligkeit, des Glanzes oder auch der Oberflächentextur erkennbar.

Der Auftrag der Beschichtungen hingegen bewirkte deutliche Einwirkungen auf die Charakterisierung der Oberfläche. Das konnte die Aussage von Flückiger, Elsener und Studer (2021) bestätigen, demnach war ein geringer bis starker Einfluss des optischen Eindrucks einer Betonoberfläche zu erwarten. Dieser konnte unabhängig von der Oberflächentextur und -farbe festgestellt werden. Durch die Applikation des AGS3 war auf allen Untergründen ein leicht matter Glanz, auf den rauen Untergründen eine deutlich glattere Oberfläche sowie eine teils starke Farbbetonung, zu beobachten. Das AGS4 erzeugte auf allen Untergründen einen sehr starken Glanz, ebenso führte es zu einer sichtbar glatteren Oberflächenstruktur und einer teils starken Farbvertiefung auf den rauen Untergründen.

#### Einfluss auf die Betonoberfläche

Die messtechnische Glanzbestimmung konnte die visuelle Begutachtung bekräftigen. Sichtlich geringere Veränderungen zeigten die Glanzmesswerte für die Prüfkörper mit einer Imprägnierung. Diese waren unabhängig von der Oberflächentextur und -farbe.

Der Untergrund U6, die geschalte hellbeige Betonplatte, erfuhr durch den Auftrag der Imprägnierungen mit 0 (AGS2) bzw. 5 % (AGS1) die geringsten Glanzveränderungen. Das AGS1 beeinflusste die Betongehwegplatte am stärksten, ihr Glanz stieg um 420 %. Einen Glanzanstieg von 690 % erfuhr der Untergrund U3 (sandgestrahlte, schwarz-graue Fassadenplatte) durch den Auftrag des AGS2.

Drastische Glanzveränderungen der Betonoberflächen ergaben sich durch den Auftrag der Beschichtungen AGS3+AGS4. Wobei sich für die glatten Untergründe (U1, U2 und U4) mit Glanzzunahmen von 74 bis 733 % ein erheblich geringerer Einfluss ergab, als für die rauen Untergründe. Hier sorgten die Applikationen für Glanzsteigerungen zwischen 1721 und 25.570 %. Die Betongehwegplatte erreichte mit beiden Beschichtungen die stärksten, die hellgraue schalungsglatte Fassadenplatte die geringsten Glanzveränderungen.

Bezüglich ihrer Klassifizierung nach DIN EN 1062-1<sup>197</sup> erzeugte das AGS4 die intensivsten Änderungen. Die glatten Untergründe konnten von der Klasse G2 – mittlerer Glanz in die Klasse G1 – glänzend hoch gestuft werden. Diese Klassifizierung ergab sich durch keines der anderen drei AGS, hier wurde die ursprüngliche Glanzklasse (G2 – mittlerer Glanz) beibehalten.

Der Einfluss eines AGS auf die Oberflächenhelligkeit war entgegen den Glanzveränderungen nicht Systemabhängig. Vielmehr spielte hier die Oberfläche selbst eine entscheidende Rolle, wobei kein Zusammenhang zwischen der Oberflächenrauheit bzw. -farbe erkennbar war.

Alle vier Systeme sorgten auf dem Untergrund U3 (sandgestrahlten schwarz-matten Fassadenplatte) für eine Verdunklung zwischen 74 und 76 %. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich für die Betongehwegplatte U5 mit Helligkeitsreduzierungen von 70 bis 75 %. Auch die Sichtbeton-glatte, hellbeige Mauerscheibe (U4) erfuhr eine Verdunklung von 40 bis 50 %. Der geringste Einfluss ergab sich für die sägeraue, geschalte, hellgraue Betonplatte (-10 bis +2 %).

In der Gesamtheit der Ergebnisse war abzuleiten, dass die Applikation der AGS überwiegend zu Reduzierungen der Helligkeitswerte führte, d.h., die Oberflächen waren dunkler als im Originalzustand. Analoge Ergebnisse konnten 2010 in einer Studie aufgezeigt werden, allerdings wurden hier sechs verschiedene AGS lediglich auf Betonplatten (vergleichbar mit Gehwegplatten nach DIN EN 1339<sup>198</sup>) aufgetragen (von Weschpfennig, Kropf, von Witzenhausen 2010).

---

<sup>197</sup> DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung

<sup>198</sup> DIN EN 1339:2003-08: Platten aus Beton - Anforderungen und Prüfverfahren

Auf allen Untergründen sorgte die Applikation der Imprägnierungen (AGS1+AGS2) für eine Abnahme der Benetzbarkeit. Bei den Imprägnierungen handelte es sich um eine Silan-Siloxan-Fluoracrylat-Copolymer-Imprägnierung und ein fluormodifiziertes Imprägnat, welche als hydrophob wirkende Graffiti-Schutzsysteme deklariert wurden. Sie erfüllten nach der Applikation auf allen sechs Untergründen diese Charakterisierung, unabhängig von der Oberflächentextur.

Die 2-Komponenten-Polyurethan-Beschichtungen (AGS3+AGS4) auf Wasserbasis bildeten keinen hydrophoben Schutz aus. Alle Untergründe charakterisierten nach der Applikation eine hydrophile Oberfläche.

Die von Willems (2022) angegebenen Veränderungen der Benetzungseigenschaften durch den Auftrag eines Schutzsystems auf einen Betonuntergrund konnten durch die Untersuchungen bestätigt werden. Demnach waren für die hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) Benetzungswinkel (BW) von  $\varphi \geq 90^\circ$  und für die Beschichtungen (AGS3+AGS4) von  $\varphi \geq 60^\circ$  zu erwarten, unabhängig von der Oberflächenrauheit. Das AGS1 erreichte auf allen Untergründen BW zwischen  $102^\circ$  und  $119^\circ$  und das AGS2  $98^\circ$  bis  $117^\circ$ . Für das AGS3 lagen die BW zwischen  $62^\circ$  und  $82^\circ$ , für das AGS4 zwischen  $61^\circ$  und  $81^\circ$ . Der Benetzungswinkel einer beschichteten Betonoberfläche ist demnach allein vom eingesetzten System und nicht der Oberflächenbeschaffenheit abhängig.

Die Untergründe mit dem Schutz hydrophobierender Imprägnierungen zeigten durch deren Applikation nur geringfügige Einwirkungen auf die maximale Rautiefe  $R_z$  von +1 % bis -4 %. Da die Imprägnierungen weder einen sichtbaren Film auf der Oberfläche bildeten noch die Poren ausfüllten, sondern nur auskleideten, wurde die Oberflächentextur wenig bis gar nicht verändert.

Der Auftrag der Beschichtungen AGS3 und AGS4 führte aufgrund der Bildung eines geschlossenen Films zu einer deutlichen Veränderung der Oberflächentextur, diese war auch visuell wahrnehmbar. Insbesondere die rauen Untergründe (U3, U5 und U6) erfuhr eine starke Abnahme der Rauheit zwischen 19 und 53 %. Die stärksten Reduzierungen der Oberflächenrauheit von 53 % (AGS3) und 23 % (AGS4) konnten für den Untergrund U3 (sandgestrahlte hochfeste Fassadenplatte) ermittelt werden.

Diese Erkenntnisse gingen konform mit den Literaturangaben (Neroth, Vollenschaar 2011; Weber 2022) und bestätigten eine Veränderung der Oberflächenrauheit in Abhängigkeit des verwendeten Schutzsystems, aber auch der Oberflächentextur.

#### Einfluss auf die Betongüte

Der w-Wert aller Untergründe wurde durch den Auftrag der AGS beeinflusst. Anhand des w-Wertes nach Auftrag auf die Originalprüfkörper ließ sich der Widerstand eines Beschichtungssystems gegen das Eindringen von Wasser beurteilen (Weber 2007). Es

ist nach Weber (2007) im Fassadenbereich immer ein möglichst kleiner w-Wert anzustreben ( $w \rightarrow 0$ ). Willems (2022) gibt für die hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) zu erwartende Werte von 0,01 bis 0,10  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  und für die Beschichtungen (AGS3+AGS4) von  $< 0,01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  an.

Das AGS1 erreichte auf allen Untergründen w-Werte von 0,01  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  und das AGS2 w-Werte zwischen 0,01 und 0,05  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  (Tab. 48).

Für die Beschichtungen (AGS3+AGS4) konnten Wasseraufnahmekoeffizienten zwischen 0,004 und 0,009  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  ermittelt werden (Tab. 48). Alle Systeme erfüllten die Angaben nach Willems (2022). Gemäß DIN EN 1062-3<sup>199</sup> waren alle AGS auf allen Untergründen der Klasse W<sub>3</sub> mit  $w \leq 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  einer niedrigen Wasserdurchlässigkeit zuzuordnen.

Laut Weber (2007) kann sich ein stabiler Wasserhaushalt dann einstellen, wenn der w-Wert klein wird und gegen Null geht – allerdings nur bei gleichzeitig hoher Trocknungstendenz, also kleinen, gegen Null gehenden  $s_d$ -Werten (wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke).

Bauphysikalisch wäre somit ein Beschichtungssystem zu wählen, bei dem einer hohen Diffusionsoffenheit (geringer  $s_d$ -Wert) eine niedrige Wasseraufnahme (geringer w-Wert) gegenübersteht (Werner 2016). Als ideal werden nach DIN EN 1062-1<sup>200</sup> Beschichtungssysteme mit einem w-Wert  $< 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$  und einem  $s_d$ -Wert  $< 0,1 \text{ m}$  angesehen.

Die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (V) bestimmt die Masse Wasserdampf, die innerhalb einer vorgegebenen Zeit durch die Beschichtung diffundieren kann (DIN EN 1062-1<sup>200</sup>). Anhand dieses Wertes lässt sich der Einfluss der Beschichtung auf das Feuchteverhalten des Substrates beurteilen und einer V-Klasse nach DIN EN 1062-1<sup>200</sup> zuordnen (Tab. 48).

*Tabelle 48: Ermittelte w-Werte,  $s_d$ -Werte nach Herstellerangaben, ermittelte Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (V) und Einteilung in die V-Klasse der vier AGS*

AGS	w-Wert <sup>1)</sup> [ $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ ]	$s_d$ -Wert <sup>2)</sup> [m]	V [ $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ]	Klasse
1	0,01	$\leq 0,05$	408	V1 (hoch)
2	0,01 – 0,05	0,02	1020	V1 (hoch)
3	0,006 – 0,009	0,14 – 1,40	145,71 – 14,57	V2 (mittel)
4	0,004 – 0,006	0,60	34	V2 (mittel)

1) = ermittelter mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient für alle Untergründe U1 – U6

2) = wasserdampf-diffusionsäquivalente Luftschichtdicke nach Herstellerangaben

3) = errechnete Wasserdampf-Diffusionsstromdichte  $V=20,40/s_d$

<sup>199</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungssysteme - Beschichtungssysteme und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

<sup>200</sup> DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungssysteme - Beschichtungssysteme und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung

Die Ergebnisse der Tabelle 48 zeigen, dass ein geringer  $w$ -Wert allein nicht ausschlaggebend für einen stabilen Wasserhaushalt innerhalb eines Baustoffes ist. Aus den  $s_d$ -Werten nach Herstellerangaben konnte die Wasserdampf-Diffusionsstromdichte ( $V$ ) errechnet und die Klassenzuteilung vorgenommen werden. Hier wiesen die hydrophobierenden Imprägnierungen neben geringen  $w$ -Werten auch eine gewünschte hohe Diffusionsoffenheit auf. Die Beschichtungen zeigten ebenfalls geringe  $w$ -Werte, besaßen aber aufgrund ihrer höheren  $s_d$ -Werte lediglich eine mittlere Wasserdampfdurchlässigkeit.

Grundsätzlich sollte deshalb neben dem  $w$ -Wert auch immer der  $s_d$ -Wert betrachtet werden. Allein die Art des gewählten AGS beeinflusste den Wasserhaushalt innerhalb eines Betonbaustoffes. Der Oberflächentextur bzw. den Betoneigenschaften selbst konnte kein Einfluss nachgewiesen werden.

### **6.2.2 Einfluss der Bewitterung**

Jedes Oberflächenschutzsystem kann durch die Bewitterung beeinflusst werden. Dabei sind Veränderungen in der Farbe, dem Glanz und/oder der Helligkeit erste Anzeichen für Alterungsvorgänge (Orlowsky 2012).

Die klimatischen Bedingungen können sich auf hydrophobierende Imprägnierungen und Beschichtungen unterschiedlich auswirken. Für die Hydrophobierungen ist beispielsweise durch Schad- und Schmutzstoffe aus der Luft oder durch die UV-Einstrahlung mit Farb-, Glanz- und Helligkeitsveränderungen oder negativer Beeinflussung der wasserabweisenden Wirkung zu rechnen. Bei den Beschichtungen kann es zu sichtbaren Zersetzungen, Versprödungen, Blasen, Rissen oder Ablösungen kommen. Häufig treten auch Schmutzablagerungen und/oder Bewuchs auf. Die Schadensformen durch die Freibewitterung werden von der Zusammensetzung des Oberflächenschutzsystems beeinflusst (Raupach, Antons 2009; Orlowsky 2012).

Hinweise auf die Schädigung einer Hydrophobierung kann die  $w$ -Wert-Bestimmung liefern, der Benetzungswinkel hingegen erlaubt nur Aussagen zum Abperleffekt von Wassertropfen und liefert nach Raupach, Orlowsky (2008) keine zuverlässigen Resultate. Sichtbare Schäden an Beschichtungen (Ablösen, Blasen, Risse) könnten u.a. über die Prüfung der Abreißfestigkeit bestätigt werden (Momber, Schulz 2006).

#### Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1+AGS2)

Für die AGS1- und AGS2-geschützten Untergründe waren keine bis geringe Einflüsse durch die Bewitterung erkennbar. Die hellen Untergründe U1, U4 und U6 zeigten gleiche Farb-, Glanz- und Helligkeitsentwicklungen, wie die Originalprüfkörper. Die dunklen Untergründe U2, U3 und U5 wirkten geringfügig farbintensiver und „frischer“. Sichtbare Schäden oder Verschmutzungen konnten an keinem Untergrund festgestellt werden.

Unerhebliche Abweichungen der Oberflächenrauheit und der Wasseraufnahme nach 2,5-jähriger Freibewitterung bestätigten die visuelle Begutachtung.

Die Benetzbarkeit hat sich während der Bewitterung auf allen Untergründen erhöht. Die prägnanteste Steigerung ergab sich auf der Betongehwegplatte (U5) mit 30 % für das AGS1 und 40 % für das AGS2. Laut Raupach, Orłowsky (2008) und Braun (2021) können in das Porensystem eingedrungene, hydrophile Stoffe, wie Feinstaub oder Schmutzpartikel, die Wirkung herabgesetzt haben. Demgegenüber stehen geringe Veränderungen des w-Wertes, hier konnten für den Untergrund U5 Zunahmen von 9 bzw. 7 % festgestellt werden.

#### Beschichtungen (AGS3+AGS4)

Für das AGS3 wurden keine Verschmutzungen oder Schäden registriert. Die Bewitterung nahm geringfügig Einfluss auf die Glanz- und Helligkeitsentwicklung. Beides reduzierte sich über den Prüfzeitraum von 2,5 Jahren. Dennoch zeigten sich gegenüber den Originalprüfkörpern deutliche Glanzänderungen, die intensive Farbtiefe blieb dauerhaft bestehen. Die geringen Reduzierungen der Abreißfestigkeit von 0 bis 6 % innerhalb des Prüfzeitraumes bestätigten ein intaktes Schutzsystem ebenso wie die unerheblichen Änderungen der Benetzbarkeit, der Rauheit und der Wasseraufnahme.

Auch das AGS4 konnte über den gesamten Zeitraum der Freibewitterung den starken Glanz beibehalten und hob sich mit einer unverkennbaren Farbintensität klar von den Originalprüfkörpern ab. Auf der schwarz-grauen, sandgestrahlten Fassadenplatte (U3) traten Farbwolken (Verfärbungen) hervor, diese könnten nach Orłowsky (2012) auf die Zersetzung von Farbpigmenten zurückzuführen sein.

Offensichtliche Schädigungen des Systems zeichneten sich auf den Untergründen U2 und U5 ab. Diese traten als Ablösungen bzw. Unterwandern auf und waren mit dem Einfluss der UV-Strahlung oder der Gebrauchstemperatur zu begründen (Orłowsky 2012). Auf dem Untergrund U2 (matt-schwarze, glattgeschliffene Fassadenplatte) konnte durch die Abnahme der Abreißfestigkeit von 37 % die Schädigung des Systems belegt werden. Die Abreißfestigkeit auf der Betongehwegplatte (U5) sank um 45 % und zusätzlich nahm die Wasseraufnahme um 75 % zu.

Der Einfluss der Bewitterung auf die Abreißfestigkeit ist offensichtlich vom AGS abhängig. Dem AGS3 konnte auf allen behandelten Untergründen keine Beeinflussung nachgewiesen werden. Zu einer Abnahme der Abreißfestigkeit führte die Bewitterung hingegen auf allen AGS4-geschützten Prüfkörpern.

### 6.2.3 Einfluss der Reinigung

Anti-Graffiti-Systeme sollen die Penetration der Farbmittel in den Porenbereich verhindern und eine leichtere Entfernung von Graffiti ermöglichen (Peck u.a. 2008). Die Entfernbarkeit der Graffiti hängt dabei von dem verwendeten Schutzsystem und der Reinigungstechnologie ab. Diese sollten zwingend aufeinander abgestimmt sein (Kupfer 2008; Weber 2022).

Nach Kupfer (2008) kann davon ausgegangen werden, dass die Reinigungsleistung in Abhängigkeit vom AGS und der Oberflächentextur steht. Hier ergeben sich vor allem auf rauen Untergründen Vorteile für Beschichtungen, da sie die Oberflächenrauheit reduzieren und Farbreste somit schlechter anhaften können (Kupfer 2008).

#### Einfluss auf die visuelle Begutachtung

Die visuell erkennbaren Veränderungen ergaben sich in Abhängigkeit des verwendeten Anti-Graffiti-Systems. Für die Betonuntergründe mit einer hydrophobierenden Imprägnierung (AGS1+AGS2) konnten nur geringe Farbänderungen unter dem Einfluss der Reinigung festgestellt werden.

Bezugnehmend auf die Reinigungsleistung zeichnete sich deutlich die Abhängigkeit von der Oberflächenstruktur ab. Die rauen Untergründe U3 und U5 mussten bereits im 4. Zyklus aufgrund unzureichender Funktionalität aussortiert werden. Es waren ersichtliche Farbreste auf der Oberfläche verblieben, diese Erkenntnisse bestätigten die Untersuchungsergebnisse von Licchelli et al. (2011).

Außerdem wurde die von Kupfer (2008) genannte Problematik der Oberflächenstruktur bestätigt. Demnach bildeten verbleibende Farbreste auf den rauen Oberflächen Bereiche aus, an denen in folgenden Zyklen Farbmittel fest anhaften konnten und somit das Reinigungsergebnis zunehmend verschlechterten. Auf den glatten Untergründen blieb dieser Effekt aus.

Die Beschichtung AGS4 erreichte auf allen Untergründen bis zum 6. Zyklus eine gute bis sehr gute Funktionalität. Im 7. Zyklus führte auch hier eine unzureichende Säuberung auf den rauen Untergründen U3 und U5 zu Ausfällen. Hierbei lag die Ursache vermutlich an Schädigungen im System, welche durch die wiederholten Reinigungen aber auch zusätzlich durch die Bewitterung hervorgerufen wurden. Auf der Betongehwegplatte (U5) war bereits ab dem 2. Zyklus eine punktuelle Ablösung des Systems feststellbar. Einfluss auf die Reinigung nahmen diese Ablösungen jedoch erst im 7. Zyklus. Für die Wahrnehmung des Glanzes und der Helligkeit ergab sich durch die Reinigung keine Beeinflussung, sie wirkten weiterhin stark glänzend mit einer intensiven Farbtiefe.

Das AGS3 (Beschichtung) hielt den Reinigungen über den gesamten Prüfzeitraum stand. Es konnten keine Farbreste auf den Betonoberflächen oder Schädigungen im

System festgestellt werden. Unabhängig von der Oberflächenstruktur waren ausgezeichnete Reinigungserfolge zu vermerken.

Nach Kupfer (2008) erschweren die Beschichtungen das Anhaften von Farbstoffen und begünstigen dadurch die Reinigung, da sich durch deren Auftrag einheitliche, weniger raue Oberflächen ausbilden. Das AGS3 bestätigte diese Annahme vollumfänglich, das AGS4 nur teilweise.

#### Einfluss auf die Betonoberfläche

Unabhängig vom Schutzsystem und der Oberflächentextur nahmen die gemessenen Glanzwerte aller beschichteter Prüfkörper mit jedem Reinigungsdurchgang ab, visuell waren diese Veränderungen nicht wahrnehmbar. Die Helligkeit blieb für alle geschützten Oberflächen stabil.

Durch jeden Reinigungsvorgang kann Material des Oberflächenschutzsystems von der Oberfläche abgetragen werden (Orlowsky 2012). Das beeinflusst u.a. die Benetzbarkeit und die Oberflächenrauheit (Kupfer 2008). Für alle AGS auf jedem Untergrund konnte eine Abnahme der Benetzungswinkel festgestellt werden.

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1+AGS2)*

Unterschiedliche Ergebnisse waren bei den hydrophobierenden Imprägnierungen festzustellen. Wobei sich für die AGS1-geschützten Untergründen eine deutliche Steigerung der Benetzbarkeit unter dem Reinigungseinfluss ergaben. Dem AGS2 hingegen konnte nur eine unwesentliche Einwirkung durch die Säuberung nachgewiesen werden. Hier nahm die Bewitterung mehr Einfluss.

#### *Beschichtungen (AGS3+AGS4)*

Für beide Beschichtungen wurden ebenfalls erhöhte Benetzbarkeiten unter Einflussnahme der Reinigung festgestellt. Diese fielen für das AGS3 mit 8 % bis 20 % geringer aus, als für das AGS4 (7 – 41 %). Eine Abhängigkeit von der Oberflächentextur war nicht signifikant erkennbar.

Die gemittelten Rautiefen  $R_z$  der geschützten Betonoberflächen wiesen Veränderungen durch die wiederholten Reinigungsvorgänge auf. Systemunabhängig konnte ein deutlicher Bezug auf die Oberflächentextur nachgewiesen werden. Auf den rauen Untergründen U5 (Betongehwegplatte) und U6 (geschalte Betonplatte) verursachte die Säuberung Einbußen von bis zu 54 %, d.h., sie wurden glatter. An den höchsten Peaks der Oberflächen könnte durch die Farbstoffentfernung ein Abrieb der AGS stattgefunden haben. Dabei spielte das AGS selbst keine Rolle. Anders verhielt es sich bei der sandgestrahlten, hochfesten Fassadenplatte (U3). Die mit einer Beschichtung versehenen Prüfkörper zeigten auch hier eine Minderung der Rauheit. Bei den hydrophobierenden Imprägnierungen

nierungen war eine Zunahme zu verzeichnen. Dies kann auf ein defektes System hinweisen, bei dem bereits neben dem Abrieb der hydrophoben Schicht Mikro- und Makrorisse entstanden sind und eine Schädigung der Betonoberfläche herbeiführten.

#### Einfluss auf die Betongüte

Inwieweit der Reinigungsprozess Einfluss auf die Betongüte nimmt, lässt sich u.a. über den w-Wert bestimmen (Braun 2021). Ergibt sich eine Erhöhung des Wasseraufnahmekoeffizienten für die geschützten Untergründe, kann nach Kupfer (2022) von einer Schädigung des AGS ausgegangen werden. Diese lässt sich auch hier durch die Abreißfestigkeit bestätigen, allerdings nur für die Beschichtungen (Orlowsky 2012).

#### *Hydrophobierende Imprägnierungen (AGS1+AGS2)*

Infolge der Oberflächenreinigung konnten für alle AGS1-beschichteten Untergründe stark erhöhte w-Werte festgestellt werden, weshalb eine Schädigung des Systems anzunehmen war.

Enorme Zunahmen des Saugverhaltens ergaben sich hier für die Untergründe U5 (Betongehwegplatte) mit 975 % und U6 (geschalte Betonplatte) mit 685 %. Auch das AGS2 erreichte auf diesen Untergründen stärkere Zunahmen der Wasseraufnahme (375 % für U5, 629 % für U6).

Der chemischen Reinigungsmethode ließen sich für die hydrophobierenden Imprägnierungen somit ausgeprägte Auswirkungen auf die Wasseraufnahme nachweisen. Dennoch lagen die ermittelten w-Werte dauerhaft unter denen der Originalprüfkörper, die Schutzsysteme wurden insofern nicht vollständig durch den Reinigungsprozess beschädigt.

#### *Beschichtungen (AGS3+AGS4)*

Die Beschichtungen waren wesentlich robuster gegenüber der chemischen Reinigung. Alle AGS3-geschützten Untergründe wiesen infolge der Säuberung einen irrelevanten Einfluss auf die Wasseraufnahme auf. Die ebenso unwesentlichen Veränderungen der Abreißfestigkeiten nach acht Reinigungszyklen bestätigten einen dauerhaften und intakten Verbund des AGS3 mit allen Untergründen.

Die visuelle Begutachtung ließ für das AGS4 auf dem Untergrund U5 (Betongehwegplatte) ein beschädigtes System vermuten. Die Zunahme des w-Wertes um 357 % sowie eine Verringerung der Abreißfestigkeit um 72 % bestätigten diese Annahme. Dieser Effekt zeigte sich auf den anderen Untergründen nicht.

Die Ergebnisse bestätigen die Angaben von Braun (2021), dass die Reinigung in Abhängigkeit vom verwendeten Schutzsystem aber auch der geschützten Oberfläche Einfluss auf die Wasseraufnahme nimmt und oftmals durch eine erhöhte Rauheit begleitet wird.

An den Untergründen U5 und U6, behandelt mit den hydrophobierenden Imprägnierungen, war dieser Zusammenhang zweifellos erkennbar. Die geforderten Werte des Wasseraufnahmekoeffizienten nach DIN EN 1062-3<sup>201</sup> für die Klasse W<sub>3</sub> konnten die Untergründe U5 und U6 mit den hydrophobierenden Imprägnierungen nicht dauerhaft aufrechterhalten werden.

Das AGS3 erreichte trotz nachgewiesener Beeinträchtigung die Anforderungen der Klasse W<sub>3</sub> (niedrige Wasserdurchlässigkeit). Auch die Ansprüche der ZTV-ING<sup>202</sup> für die Abreißfestigkeit konnte das AGS3 auf dem Untergrund U5 erbringen. Es stellt sich die Frage, ob diese Werte für AGS anwendungsfähig sind, wenn ein offensichtlich beschädigtes System diese weiterhin erfüllt.

#### **6.2.4 Einfluss der Farbmittel**

Nach Schumann (2009) ist es unmöglich, alle Farbmittel aufgrund ihrer großen Vielzahl mit einem Reiniger erfolgreich vom Untergrund zu entfernen. Die Graffiti-Farben besitzen keine einheitliche chemische Zusammensetzung und variieren nach Hersteller und Sortiment. Genaue Angaben zu den Bestandteilen ihrer Farbprodukte geben Firmen i.d.R. nicht (Schumann 2009). Das erschwert die Auswahl eines geeigneten AGS und den dazugehörigen Reinigern.

Nach Weber (2022) lassen sich Sprühfarben auf Basis von Acrylaten relativ leicht von geschützten Betonoberflächen mithilfe von Lösemitteln entfernen. Wasserfeste Filzstifte könnten hingegen einige Schutzsysteme problemlos durchdringen (Weber 2022).

Grundsätzlich konnte in dieser Arbeit festgestellt werden, dass sich die Farbmittel von den AGS geschützten Untergründen bedeutend leichter entfernen ließen, als von den ungeschützten.

Dennoch zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse der Reinigung in Abhängigkeit vom Schutzsystem. Für die rauen Untergründe U3 und U5 mit den hydrophobierenden Imprägnierungen AGS1 und AGS2 ergab sich, wie bei den ungeschützten Prüfkörpern, bereits ab dem 4. Zyklus eine unzureichende Farbmittelentfernung. Diese wurde auch hier vordergründig durch den Permanentmarker verursacht. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass entweder die Tinte das Schutzsystem durchdrungen hat oder das System durch vorherige Reinigungszyklen beschädigt wurde.

---

<sup>201</sup> DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit

<sup>202</sup> ZTV-ING 2017/10: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten - Teil 3 Massivbau - Abschnitt 4 Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Tabelle 3.4.6: Abreißfestigkeiten (Mindestwerte), OS-B: Oberflächenschutzsysteme-Beschichtungen für nicht begeh- und befahrbare Flächen ohne Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung

Für die Oberflächen, die mit einer AGS-Beschichtung (AGS3+AGS4) geschützt waren, konnten bessere Reinigungsergebnisse erzielt werden.

Auf den AGS3-geschützten Betonuntergründen hinterließen die Farbmittel über die gesamten acht Reinigungszyklen weder Farbreste noch -schatten. Die Untergründe mit dem Schutz des AGS4 wiesen ab dem 7. Zyklus starke Farbmittelreste des Permanentmarkers auf den rauen Untergründen U3 und U5 auf. Auch hier war von einer Beschädigung des Systems auszugehen.

### **6.3 Nachweis der Eignung**

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Dauerhaftigkeit permanenter Anti-Graffiti-Systeme über die Funktionalitätsprüfung und den Einfluss der Freibewitterung definiert. Nur die Kombination aus beidem kann Auskunft zur Gebrauchstauglichkeit eines AGS geben.

#### Funktionalität

Die Funktionalitätsprüfung erfolgte nach TP-AGS-Beton<sup>203</sup> anhand von Richtbildern und der Bewertung über ein Schulnotensystem von 0 – 5 und wurde somit über die Reinigungsleistung bestimmt. Es konnte eindeutig ein Zusammenhang zwischen der Betonoberfläche und der Funktionalität des AGS festgestellt werden.

Wie bereits ausgeführt, ergaben sich für die ungeschützten Untergründe die schlechtesten Ergebnisse und somit größten Ausfälle. Der Auftrag der AGS bewirkte ersichtlich bessere Reinigungsergebnisse.

#### *Funktionalität in Abhängigkeit vom AGS*

Es konnten markante Unterschiede zwischen den hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) und den Beschichtungen (AGS3+AGS4) festgestellt werden. Über drei Zyklen zeigten alle Systeme gute bis sehr gute Reinigungsergebnisse.

Die Funktionalitätswerte der beiden hydrophobierenden Imprägnierungen erreichten auf den rauen Untergründen (U3 und U5) ab dem 4. Zyklus nicht mehr die notwendigen Werte, um die Prüfung zu bestehen.

Für das AGS4 ergaben sich erst nach dem 7. Zyklus Ausfälle der rauen Prüfkörper (U3 und U5).

Lediglich das AGS3 zeigte über den gesamten Prüfzeitraum hervorragende Funktionalitätswerte auf allen Untergründen und keine Probenverluste bzw. Ausfälle.

---

<sup>203</sup> TP AGS-Beton 2009/04: Technische Prüfvorschriften für Anti-Graffiti-Systeme

### *Funktionalität in Abhängigkeit vom Untergrund*

Grundsätzlich ließen sich die glatten Untergründe (U1, U2 und U4) weitaus besser säubern, als die rauen Untergründe (U3, U5 und U6). Es konnte nachgewiesen werden, dass bestimmte Oberflächeneigenschaften (Benetzbarkeit, Rauheit) die Funktionalität mehr beeinflussten, als andere (Farbe, Helligkeit, Glanz). Die Betongüte spielte für die Reinigungsleistung eine untergeordnete Rolle.

Die beste Funktionalitätsbewertung konnten alle AGS auf dem Untergrund U1 (hochfeste, schalungsglatte, hellgraue Fassadenplatte) erzielen. Auch bei den ungeschützten Prüfkörpern erreichte dieser Untergrund sehr gute Ergebnisse. Deshalb wäre hier die Notwendigkeit eines Schutzsystems zu hinterfragen.

Für den Nachweis der Eignung sollte neben der Funktionalität zwingend der Einfluss des AGS selbst berücksichtigt werden. Veränderungen in der Oberfläche, verursacht durch die Applikation der AGS, spielen eine wichtige Rolle bezüglich der optischen Erscheinung und auch der bauphysikalischen Eigenschaften. Gerade im Bereich der Denkmalpflege ist dieser Aspekt nicht zu vernachlässigen.

### Dauerhaftigkeit

Nach Orlowsky (2012) und Braun (2021) hängt die Dauerhaftigkeit eines Oberflächenschutzsystems u.a. von äußeren Einwirkungen (z.B. Witterung), der Art des Beschichtungsmaterials, der Adhäsion zum Betonuntergrund aber auch vom Betonuntergrund selbst ab. Raue Betonoberflächen werden nach Momber, Schulz (2006) immer ungünstiger beurteilt als glatte Oberflächen, auch mit einem Oberflächenschutz.

Aufgrund der ermittelten Ergebnisse für die Funktionalität können die Literaturangaben bestätigt werden. Es zeigte sich deutlich, dass die Oberflächentextur aber auch die Farbgebung jedes Prüfkörpers durch die Applikation eines AGS, der Freibewitterung sowie dem Farbauftrag und der Reinigung beeinflusst werden kann. Dabei nimmt nicht jedes AGS in gleichem Maße bzw. gleicher Art und Weise Einfluss.

Explizite Unterschiede konnten für die verwendeten hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2) und Beschichtungen (AGS3+AGS4) nachgewiesen werden. Die Tendenzen wiesen darauf hin, dass diese nicht miteinander vergleichbar sind. Weder was ihren Einfluss auf die Oberflächeneigenschaften noch was ihre Wirksamkeit bzw. Dauerhaftigkeit betrifft.

Die Dauerhaftigkeit der hydrophobierenden Imprägnierungen wurde vorrangig durch die Oberflächenstruktur aber auch der Anzahl der Reinigungszyklen beeinflusst. Weniger bis gar kein Einfluss konnte durch den AGS Auftrag selbst oder der Bewitterung festgestellt werden. Die Beschichtungen (AGS3+AGS4) erzielten drastische Veränderungen der Oberflächeneigenschaften durch die Applikation. Für das AGS4 zeigten sich teil-

weise Schädigungen im System, einem fehlerhaften Verbund, was einen Verlust der Dauerhaftigkeit zur Folge hatte. Das AGS3 wies eine stabile und ausgezeichnete Reinigungsleistung ohne Oberflächenschädigungen und somit eine hervorragende Dauerhaftigkeit über den gesamten Zeitraum von 2,5 Jahren vor.

Die Dauerhaftigkeit eines Anti-Graffiti-Systems hängt somit vom System selbst und seiner Belastbarkeit durch die Reinigungsvorgänge, aber auch bedeutend von der Oberflächentextur des Betonuntergrundes ab.

### Nachhaltigkeit

Durch eine gezielte Schutzbehandlung kann die Lebensdauer von Betonbauwerken nachhaltig gesteigert werden (Weber 2022). Permanente Anti-Graffiti-Systeme dienen speziell der leichten Reinigung von Farbpartikel, welche auf der Oberfläche der AGS haften bleiben und nicht ungehindert in den Bauteil eindringen können (Kupfer 2022). Allerdings ist auch bei den AGS unbedingt eine regelmäßige Wartung und Überprüfung der Wirksamkeit notwendig (Goretzki 1998).

Die vorangegangenen Untersuchungen brachten starke Abhängigkeiten vom Schutzsystem, aber auch für die verschiedenen Betonuntergründe hervor. Ein AGS kann nur Nachhaltigkeit gewähren, wenn es für den jeweiligen Betonuntergrund geeignet ist und den Bewitterungs- und Reinigungseinflüssen über einen gewissen Zeitraum bzw. mehreren aufeinander folgenden Reinigungsdurchgängen standhält.

### Polyfunktionalität

Neben ihrer eigentlichen Hauptfunktion, das Entfernen von Graffiti zu erleichtern, können AGS laut Weber (2022) mit weiteren Funktionen ausgestattet sein. So wird die Neigung zur Verschmutzung durch Algen, Moose und Pilze durch hydrophobierende Imprägnierungen vermindert und der Frost-Tausalz-Widerstand verbessert (Weber 2022). Außerdem führt ihr Auftrag zu einer Reduktion der Wasseraufnahme und beugt dem Eindringen von beton- und stahlangreifenden Stoffen vor, ohne die Wasserdampfdiffusionsfähigkeit zu behindern (Stahl, Wakili 2022).

Beschichtungen verhindern ebenfalls das Eindringen von flüssigen oder gasförmigen Stoffen in den Beton und schützen ihn vor mechanischen und chemischen Beanspruchungen. Des Weiteren können sie Risse überbrücken (Orlowsky 2012; Weber 2022). Diese Eigenschaften werden u.a. in der ZTV-ING<sup>204</sup> oder den DAfStb-Richtlinien<sup>205</sup> für Oberflächenschutzsysteme technisch geregelt.

---

<sup>204</sup> ZTV-ING 2022/01: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

<sup>205</sup> DAfStb Betonbauteile 2001-10: Instandsetzungs-Richtlinie:2001-10; RL SIB:2001-10, DAfStb-Richtlinie - Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie) - Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze; Teil 2: Bauprodukte und Anwendung; Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung; Teil 4: Prüfverfahren

Polyfunktionalität bedeutet folglich, dass ein Produkt für verschiedene Funktionen eingesetzt werden kann. Nach von Laar, Lesnych und Schomann (2015) kann ein Anti-Graffiti-System als polyfunktionell eingestuft werden, wenn es neben der bestandenen Funktionalität eine positive Bewertung des Wasseraufnahmevermögens sowie der Benetzbarkeit aufweist.

Die Tabelle 49 gibt die Einstufung der vier verschiedenen AGS auf den unterschiedlichen Betonuntergründe wieder.

*Tabelle 49: Bewertung der Polyfunktionalität der vier AGS auf sechs Untergründen nach acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen über einen Zeitraum von 2,5 Jahren*

Untergrund	AGS	F <sup>1)</sup> nach TP AGS-Beton	w-Wert <sup>2)</sup> w ≤ 0,1 (W <sub>3</sub> )		Benetzungswinkel				polyfunktionell <sup>5)</sup>
					hydrophob <sup>3)</sup> φ ≥ 90°		hydrophil <sup>4)</sup> φ ≥ 60°		
			n.FBW <sup>6)</sup>	n.R. <sup>7)</sup>	n.FBW	n.R.	n.FBW	n.R.	
U1	AGS1	+ <sup>8)</sup>	+	+	+	-			nein
	AGS2	+	+	+	+	-			nein
	AGS3	+	+	+			+	-	nein
	AGS4	+	+	+			+	+	ja
U2	AGS1	+	+	+	+	-			nein
	AGS2	+	+	+	+	-			nein
	AGS3	+	+	+			+	+	ja
	AGS4	+	+	+			+	-	nein
U3	AGS1	- <sup>9)</sup>	+	k.w.B. <sup>10)</sup>	+	k.w.B.			nein
	AGS2	-	+	k.w.B.	+	k.w.B.			nein
	AGS3	+	+	+			+	-	nein
	AGS4	-	+	k.w.B.			+	k.w.B.	nein
U4	AGS1	+	+	+	-	-			nein
	AGS2	+	+	+	-	-			nein
	AGS3	+	+	+			+	+	ja
	AGS4	+	+	+			+	-	nein
U5	AGS1	-	+	k.w.B.	-	k.w.B.			nein
	AGS2	-	+	k.w.B.	-	k.w.B.			nein
	AGS3	+	+	+			+	+	ja
	AGS4	-	+	k.w.B.			+	k.w.B.	nein
U6	AGS1	+	+	+	+	-			nein
	AGS2	-	+	k.w.B.	+	k.w.B.			nein
	AGS3	+	+	+			+	+	ja
	AGS4	+	+	+			+	+	ja

<sup>1)</sup> F = Funktionalität beurteilt nach TP AGS-Beton nach acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen (2,5 Jahre)

<sup>2)</sup> w-Wert = Wasseraufnahmevermögen in kg/m<sup>2</sup>·h<sup>0,5</sup>, Anspruch nach DIN EN 1062-1 Klasse W<sub>3</sub> (niedrige Durchlässigkeit)

<sup>3)</sup> hydrophob = Einstufung der hydrophobierenden Imprägnierungen (AGS1+AGS2)

<sup>4)</sup> hydrophil = Einstufung der Beschichtungen (AGS3+AGS4)

<sup>5)</sup> polyfunktionell = Anforderungen erfüllt nach acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen (2,5 Jahre)

<sup>6)</sup> n.FBW = Wasseraufnahmevermögen nach 2,5 Jahren natürlicher Freibewitterung (ohne Farbauftrag und Reinigung)

<sup>7)</sup> n.R. = Wasseraufnahmevermögen nach acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen (2,5 Jahre)

<sup>8)</sup> + = bestanden

<sup>9)</sup> - = nicht bestanden

<sup>10)</sup> k.w.B. = keine weitere Bewertung, da Funktionalität nicht bestanden

Keine der hydrophobierenden Imprägnierungen konnte nach acht Zyklen unter dem Einfluss von Bewitterung sowie Farbauftrag und Reinigung die Bedingungen eines polyfunktionellen AGS erfüllen.

Für die Beschichtungen AGS3 und AGS4 wurde die Poly-funktionalität mehrfach nachgewiesen (Tab. 49, grün hinterlegt). Dabei zeigte das AGS3 die besten Erfolge.

Abschließend stellte sich auch für die Polyfunktionalität der Anti-Graffiti-Systeme heraus, dass sie allein durch die Funktionalität (Reinigungsleistung) beeinflusst wurde, auch hier nahmen die Einwirkungen aus der Witterung eine untergeordnete Rolle ein.

Die in der Tabelle 49 zusätzlich angegebenen Ergebnisse aus der Freibewitterung (n.FBW) bestätigten diese Aussage.

## 7 Reflexion der Arbeit und Ausblick

Die aktuellen Vorgaben der nationalen Richtlinien zielen darauf ab, die Sicherstellung der Funktionalität und Dauerhaftigkeit von Anti-Graffiti-Systemen auf einem vorgegebenen standardisiertem Betonuntergrund zu prüfen. Die Basis eines solchen Konzepts bilden fast ausschließlich die verwendeten AGS selbst. Die vorangegangenen Untersuchungen haben gezeigt, dass dieses nicht ausreicht. Es kann davon ausgegangen werden, dass es kein „Einheitsprodukt“ für den Graffitienschutz gibt, welches auf jedem Untergrund uneingeschränkt und mit gleicher Wirkungsweise eingesetzt werden kann.

Prüfverfahren zur Ermittlung der Materialkennwerte in Bezug auf die relevanten Einwirkungen im Hinblick auf die Oberfläche selbst werden aktuell zu wenig oder gar nicht einbezogen. In diesem Zusammenhang ist eine Einteilung allein bei Betonen in ihrer Oberflächentextur und Farbgebung, aber auch der Betonart und -güte zu empfehlen.

Aufgrund des gesteckten Untersuchungsrahmens dieser Arbeit erscheint die gewählte Prüfmethode in einer Kombination aus Oberflächenbezug und Einfluss der AGS als geeignet, angemessen und hinreichend.

Mit Hilfe der in Kapitel 6 präzisierten Ergebnisse wurde verdeutlicht, dass eine verallgemeinerte und pauschalisiert gültige Funktionalitäts- und Dauerhaftigkeitsprüfung von Graffitienschutzsystemen für den nachhaltigen Schutz von Betonbauteilen nicht unbedingt Erfolg versprechend ist. Es notwendig, AGS objekt- und oberflächenspezifisch festzulegen. Das schließt visuelle als auch messbare Ergebnisse für den Untergrund und dem Verbund des Untergrundes mit dem jeweiligen AGS ein. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die visuellen Begutachtungen nicht immer mit den gemessenen Werten konform gehen.

Es wurde nachgewiesen, dass die unterschiedlichen AGS auf den verschiedenen Betonuntergründen auch ungleich auf die Oberflächeneigenschaften einwirken können. Deutlich zeigte sich, dass die hydrophobierenden Imprägnierungen nach visueller Betrachtung kaum Einfluss auf die Oberflächeneigenschaften nahmen, die Beschichtungen hingegen zu starken Veränderungen führten. Dabei spielte die Oberflächentextur aber auch die Farbe der Oberfläche eine Rolle. Trotz des starken Einflusses auf die Untergrundeigenschaften durch die Applikation zeigten die Beschichtungen rigoros bessere Reinigungsergebnisse über den gesamten Prüfzeitraum.

Zum einen besteht die Möglichkeit, dass eventuell die Reinigungsmethoden bzw. die Reiniger zu einer Beeinträchtigung der hydrophobierenden Imprägnierungen, vor allem auf den rauen Untergründen, führten. Hier war die Anwendung eines Hochdruckreinigers möglich, bei den Beschichtungen erfolgte die sanftere Reinigung mit warmem Wasser

und Tüchern. Allerdings konnte die Methode als deutlich zeitintensiver beschrieben werden. Eine andere Ursache für den Verlust der permanenten Wirksamkeit bei den hydrophobierenden Imprägnierungen könnte die Entstehung von Mikro- und Makrorissen sein. Es stellte sich heraus, dass diese Vermutungen über die Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten ( $w$ -Wert) jedoch nicht über den Benetzungswinkel bekräftigt wurden. Zur weiteren Ermittlung möglicher Ursachen für die langfristige Abnahme der Funktionalität und Dauerhaftigkeit, ist die Betrachtung weiterer einzelner Parameter sinnvoll. Unter anderem für die Hydrophobierungen die Bestimmung der Eindringtiefe und für die Beschichtungen die Schichtdicke, möglichst über alternative zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden. Die Bestimmung der Schichtdicke über ein Ultraschall-Farbdickenmessgerät ergab keine verlässlichen Ergebnisse.

In Bezug auf die Funktionalität brachte der beschichtete Untergrund U3, die hochfeste, sandgestrahlte Fassadenplatte teilweise schlechtere Ergebnisse hervor, als die geschützte Betongehwegplatte (U5). Dabei konnte aufgrund der hohen Dichte der Fassadenplatte von einem größeren Einfluss der Oberflächenrauheit ausgegangen werden. Bei der Betongehwegplatte lag eine deutlich geringere Dichte vor. Da die Ermittlung der Reindichte und der Porosität nicht Bestandteil dieser Arbeit waren, konnten nur Vermutungen über mögliche Zusammenhänge geäußert werden. Für weitere Untersuchungen sollten diese Parameter vorab bestimmt oder vom Hersteller angegeben werden.

Angesichts der festgestellten Einflüsse aus dem zu schützenden Betonuntergrund aber auch der Art des Schutzsystems, sollten die aktuell geltenden Richtlinien um bestimmte Punkte erweitert werden, die für die Beurteilung der Einsatzart entscheidend sind.

Für den Neubau einer Betonbrücke (z.B. Autobahnbrücke) könnten permanente Beschichtungen eingesetzt werden, welche eine längere Dauerhaftigkeit und bessere Funktionalität bieten. Wiederum sollte bei einem denkmalgeschützten Gebäude der Einfluss des AGS so gering wie möglich ausfallen, um die Oberfläche visuell nicht zu beeinflussen. Hier liegen die Vorteile klar bei den hydrophobierenden Imprägnierungen. Grundsätzlich kann auch davon ausgegangen werden, dass eine Autobahnbrücke häufiger durch den Auftrag illegaler Graffiti betroffen sein wird, als ein denkmalgeschütztes Gebäude.

Um die Dauerhaftigkeit der applizierten Graffitischutzsysteme und die daraus resultierende Nachhaltigkeit des geschützten Betonbauwerkes bzw. -bauteils zu quantifizieren, sollte hierzu bereits in der Planung eine Eignungsprüfung einfließen. Aber auch die notwendige Wartung und Instandsetzung muss berücksichtigt werden. Hierbei ist u.a. auf zerstörungsfreie Untersuchungsmethoden zur regelmäßigen Analyse des am Bauwerk

bzw. Bauteils applizierten AGS zurückzugreifen. Als Empfehlungen sind die Bestimmung des w-Wertes und des  $s_d$ -Wertes hervorzuheben.

Grundsätzlich konnte für die hydrophobierenden Imprägnierungen als auch die Beschichtungen unter dem Einfluss der Bewitterung eine stabile Dauerhaftigkeit nachgewiesen werden. Unterschiede ergaben sich mit zunehmenden Reinigungszyklen. Die wiederholte Belastung des Farbauftrags und der Oberflächensäuberung beeinflussten zunehmend die Dauerhaftigkeit der Hydrophobierungen.

Durch den Vergleich der Reinigungsleistung ungeschützter und geschützter Betonuntergründe konnte überwiegend ein Vorteil für den Einsatz eines AGS vorgelegt werden. Einzig der Untergrund U1 erreichte als ungeschützte Oberfläche gute Reinigungsergebnisse. Allerdings deutete sich zum Ende der Untersuchungen bereits ein Negativtrend an, d.h., kein Untergrund wird dauerhaft dem Farbauftrag mit Reinigung standhalten können.

Offensichtliche Schäden (Ablösungen) waren visuell nur für das AGS4 erkennbar. Diese wurden durch eine Verminderung der Abreißfestigkeit bestätigt. Dennoch konnte über einen langen Zeitraum die Funktionalitätsprüfung bestanden werden. Optisch wurden diese Ablösungen jedoch als störend empfunden und verdeutlichen, die Notwendigkeit zum Anlegen von Musterflächen.

Weitere Untersuchungen für einen optimalen Einsatz von Anti-Graffiti-Systemen, insbesondere in konkreter Betrachtung zum Untergrund sollten unter Berücksichtigung der gewonnen Erkenntnisse aus dieser Arbeit durchgeführt werden. Dabei müssen die Untersuchungsmethoden für die Anwendung auf der Baustelle optimiert werden. So können neben dem Anlegen von Musterflächen bereits vorab die Materialkennwerte des Untergrundes die Auswahl eines AGS vereinfachen. Das spielt vor allem im Baubestand eine entscheidende Rolle, wenn Bauteile oder Bauwerke nachträglich einen Graffitischutz erhalten sollen. Hilfreich wären dabei explizite Leitfäden für die Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen in Bezug auf Anwendung, Beeinträchtigungen, Reinigungsmethoden und Wartung.

Bereits während dieser Arbeit über einen gesamten Zeitraum von etwa 5 Jahren zeigte sich die Bereitschaft der Industrie, ihre Anti-Graffiti-Produkte stetig zu verbessern. Die verwendeten hydrophobierenden Imprägnierungen finden mehrfach in Forschungsarbeiten Anwendung und werden inzwischen nicht mehr pauschal für jeden Untergrund empfohlen. Das AGS2 wurde deutlich verbessert und ist in der hier verwendeten Form nicht mehr verfügbar.

Auch der Hersteller der Beschichtung des AGS4 zeigt stetiges Interesse an Weiter- und Neuentwicklungen. Für Testzwecke wurde das verwendete AGS nachträglich in der ultramatten Ausführung zur Verfügung gestellt. Dadurch konnten deutlich minimierte Glanz- und Helligkeitsmessungen erzielt werden, welche auch visuell erkennbar waren. Leider konnten hier keine langfristigen Untersuchungen mehr erfolgen.

Die AGS1 bis AGS3 werden lediglich über den Fachhandel verkauft, nur das AGS4 ist für jedermann frei verfügbar und kann auch über Onlineplattformen erworben werden. Dadurch besteht hier die Gefahr, dass keine fachgerechte Reinigung in Abstimmung auf den Untergrund erfolgt.

## 8 Verzeichnisse

### 8.1 Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

%	Prozent
€	Euro
<	kleiner als, weniger als
=	entspricht
>	größer als, mehr als
±	Plus/Minus
$\sqrt{t_f}$	Wurzel aus Zeit
≤	kleiner oder gleich
≥	größer oder gleich
°C	Grad Celsius
μm	Mikrometer
2K-PU	Zwei-Komponenten-Polyurethan
A	Fläche
Abb.	Abbildung
A <sub>c</sub>	Lasteinleitungsfläche in mm <sup>2</sup>
AGS	Anti-Graffiti-System
AGS-NP	Nullproben mit AGS
AGS-R	Prüfkörper mit AGS und Reinigung
Anf.	Anforderungen
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	Breite
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BG	Benetzungsgruppe
BM	Bindemittel
BW	Benetzungswinkel
bzw.	beziehungsweise
C	Compressive strength = Druckfestigkeit
CEM	Cement = Zement
CIELab	CIE: Commission Internationale de l'Eclairage; L*a*b*: Farbkoordinaten
cm	Zentimeter
CM-Methode	Calciumcarbid-Methode
D	Deutschland
d	Durchmesser
DafStb	Deutscher
DBV	Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein
DIN	Deutsches Institut für Normung
e.V.	eingetragener Verein
EN	Europäische Norm
EW	Einzelwert
EW <sub>min</sub>	kleinster Einzelwert
F	Funktionalität (Reinigungsleistung) gesamt
F	Höchstlast in kN
f <sub>c,cube</sub>	Würfeldruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>
f <sub>c,cyl</sub>	Zylinderruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup>
FDB	Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e. V.
F <sub>i</sub>	Einzelfunktionalität je Wechselfeld
G	Glanzklasse
Gew.-%	Gewichtsprozent
GU	Gloss Units = Glanzeinheiten
H	Höhe
h	Stunde
i.d.R.	in der Regel

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
k. A.	<i>keine Angabe</i>
k.w.B.	<i>keine weitere Bewertung</i>
KFZ	<i>Kraftfahrzeug</i>
kN	<i>Kilonewton</i>
L	<i>Länge</i>
l/m <sup>2</sup>	<i>Liter pro Quadratmeter</i>
LC	<i>Light Concrete = Leichtbeton</i>
l <sub>e</sub>	<i>Messstrecke einzeln</i>
l <sub>m</sub>	<i>Messstrecke gesamt</i>
m	<i>Masse</i>
M-%	<i>Massenprozent</i>
max.	<i>maximal</i>
Mg	<i>Megagramm</i>
m <sub>i</sub>	<i>Ausgangsmasse</i>
mind.	<i>mindestens</i>
Mio.	<i>Millionen</i>
ml/m <sup>2</sup>	<i>Milliliter je Quadratmeter</i>
mm	<i>Millimeter</i>
Mrd.	<i>Milliarden</i>
m <sub>t</sub>	<i>Masse zu Zeitpunkt t</i>
MW	<i>Mittelwert</i>
N	<i>Newton</i>
n. 8. Zyklus	<i>nach dem achten Zyklus</i>
n. FBW	<i>nach der Freibewitterung</i>
n.A.	<i>nach Auftrag</i>
n.R.	<i>nach Reinigung</i>
N/mm <sup>2</sup>	<i>Newton je Quadratmillimeter</i>
N/s	<i>Newton pro Sekunde</i>
NP	<i>Nullprobe</i>
n <sub>u</sub>	<i>Probenumfang je Untergrund</i>
OP	<i>Originalprüfkörper</i>
OS	<i>Oberflächenschutzsystem</i>
OS-A	<i>Oberflächenschutzsystem: Hydrophobierung</i>
OS-B	<i>Oberflächenschutzsystem: Beschichtung ohne Kratz- bzw. Ausgleichspachtelung</i>
OS-D	<i>Oberflächenschutzsystem: Beschichtung mit geringer Rissüberbrückungsfähigkeit</i>
PK	<i>Prüfkörper</i>
R	<i>Reiniger</i>
RAL	<i>Reichs-Ausschuss für Lieferbedingungen</i>
ReGG	<i>Regelwerk zur Graffiti-Entfernung und Graffiti-Phylaxe</i>
rel. LF	<i>relative Luftfeuchte</i>
RSD	<i>relative Standardabweichung</i>
R <sub>t</sub>	<i>mittlere Rautiefe</i>
R <sub>t</sub>	<i>mittlere Rautiefe</i>
R <sub>z</sub>	<i>gemittelte Rautiefe</i>
R <sub>z</sub>	<i>gemittelte Rautiefe</i>
s	<i>Standardabweichung</i>
S	<i>Süd</i>
s.	<i>siehe</i>
SB1 bis 4	<i>Sichtbetonklassen mit definierten Anforderungen gem. DBV/VDZ-Merkblatt</i>
s <sub>d</sub>	<i>wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke</i>
SSW	<i>Süd-Südwest</i>
StGb	<i>Strafgesetzbuch</i>
Tab.	<i>Tabelle</i>
TL	<i>Technische Lieferbedingungen der Bundesanstalt für Straßenwesen</i>
TP	<i>Technische Prüfvorschriften der Bundesanstalt für Straßenwesen</i>
U	<i>Untergrund</i>

<i>u.Ä.</i>	<i>und Ähnliches</i>
<i>u.a.</i>	<i>unter anderem</i>
<i>U-A-R</i>	<i>Untergrund – mit AGS – mit Reinigung</i>
<i>U-N</i>	<i>Untergrund – Nullprobe</i>
<i>U-N-A</i>	<i>Untergrund – Nullprobe – mit AGS</i>
<i>U-N-R</i>	<i>Untergrund – Nullprobe – ohne AGS mit Reinigung</i>
<i>UV</i>	<i>ultraviolette Strahlung</i>
<i>V</i>	<i>Volumen</i>
<i>v. FBW</i>	<i>vor der Freibewitterung</i>
<i>VOB</i>	<i>Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen</i>
<i>W/Z-Wert</i>	<i>Wasser-Zement-Wert</i>
<i>W<sub>0</sub>-W<sub>3</sub></i>	<i>Wasserundurchlässigkeitsklassen</i>
<i>WTA</i>	<i>Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.</i>
<i>WU-Beton</i>	<i>wasserundurchlässigen Beton</i>
<i>w-Wert</i>	<i>Wasseraufnahmekoeffizient</i>
<i>X</i>	<i>Expositionsklassen des Betons</i>
<i>x</i>	<i>Mal</i>
<i>x<sub>m</sub></i>	<i>mittlere Breite des Würfels (Richtung x) in mm</i>
<i>y<sub>m</sub></i>	<i>mittlere Länge des Würfels (Richtung y) in mm</i>
<i>z.B.</i>	<i>zum Beispiel</i>
<i>ZTV-ING</i>	<i>Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten</i>
<i>µm</i>	<i>Mikrometer</i>
<i>φ</i>	<i>Benetzungswinkel</i>

## 8.2 Verzeichnis der Abbildungen

Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich bei allen Abbildungen um Privataufnahmen bzw. angefertigte Schaubilder des Verfassers.

<i>Abbildung 1: Graffiti schmierung an einer Hauswand (Putzfassade) in Brno, Tschechien</i>	<i>1</i>
<i>Abbildung 2: Illegale Graffiti an einem Beton-Brückenaufleger an der A1 (Höhe Bad Oldesloe)</i>	<i>1</i>
<i>Abbildung 3: Illegale Graffiti in einer Unterführung aus Beton in Berlin (Stadtteil Tiergarten)</i>	<i>1</i>
<i>Abbildung 4: Komponenten des Betons</i>	<i>11</i>
<i>Abbildung 5: Komponenten eines Beschichtungsstoffes, Übergang von flüssig nach fest (Neroth, Vollenschaar 2011)</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 6: Imprägnierung (FDB 2020)</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 7: Hydrophobierung (FDB 2020)</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 8: Beschichtung (FDB 2020)</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 9: Einteilung der AGS nach ReGG (Kupfer 2020)</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 10: Mit Spraydosen erstellte Graffiti in einem Gebäude in Tressow (bei Wismar)</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 11: Mit Filzschreibern aufgetragenes Graffiti im Eingangsbereich eines Wohnhauses in Brno, Tschechien</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 12: Beispiele an Sprayfarben aus der Graffiti-Szene, Industrie- und Hobbyqualität</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 13: Diverse Filzschreiber und Tinten (rechts im Bild)</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 14: Untergrund U1</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 15: Untergrund U2</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 16: Untergrund U3</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 17: Mauerscheibe U5 im Originalzustand</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 18: Sägen der Mauerscheibe</i>	<i>40</i>
<i>Abbildung 19: Untergrund U4</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 20: Untergrund U5</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 21: Form zur Herstellung der Platte (Foto: V. Fröschke)</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 22: ausgeschaltete Platte 80x120cm (Foto: V. Fröschke)</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 23: Untergrund U6</i>	<i>42</i>

Abbildung 24: Darstellung der Reinigungsphasen R1.....	48
Abbildung 25: Reinigungsschritte R3.....	49
Abbildung 26: Darstellung des CIELab-Systems durch eine Kugel (Eichler 2009) .....	56
Abbildung 27: Darstellung der Helligkeit (Konica Minolta 2005) .....	56
Abbildung 28: Oberflächenzugversuch zur Bestimmung der Kohäsion (Momber, Schulz 2006) .....	59
Abbildung 29: Haftzugversuch zur Bestimmung der Adhäsion (Momber, Schulz 2006) .....	59
Abbildung 30: Mögliche Verfahren zur Bestimmung der Oberflächenfeuchte .....	62
Abbildung 31: Einteilung der Oberflächen nach dem Benetzungswinkel (Lesnych, Malorny 2022) .....	63
Abbildung 32: Bildhafte Darstellung zum Aufbau der w-Wert-Ermittlung (DIN EN ISO 15148:2018-12)...	65
Abbildung 33: Darstellung des Sandflächenverfahrens (Schulz 2016).....	69
Abbildung 34: Lasermessverfahren: Bestimmung relevanter Werte der Oberflächentextur (Schulz 2016)	69
Abbildung 35: Darstellung der Ermittlung der gemittelten Rautiefe Rz .....	69
Abbildung 36: Bewitterungsstand der Hochschule Wismar, Haus 7 (Bildausschnitt: Google Maps) .....	70
Abbildung 37: Entwickelte Untersuchungsmethodik in acht Stufen .....	72
Abbildung 38: Glanzmessung mit dem .....	75
Abbildung 39: Helligkeitsmessung mit dem Chroma Meter CR – 410 auf dem Untergrund U1.....	75
Abbildung 40: DataPhysics OCA-Messgerät zur Bestimmung des Kontaktwinkels .....	76
Abbildung 41: Markierungsfolie und Messung des Kontaktwinkels am Untergrund U1.....	76
Abbildung 42: Darstellung rechter (R) und linker (L) Kontaktwinkel .....	76
Abbildung 43: Keyence 3D Laser Scanning Microscope.....	77
Abbildung 44: Messung der mittleren Rauhtiefe Rz am Untergrund U1.....	77
Abbildung 45: Wasserbehälter mit Prüfkörpern zur Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten.....	78
Abbildung 46: Prüfkörper in konstantem Wasserspiegel .....	78
Abbildung 47: Würfelprüfkörper U2.....	79
Abbildung 48: Druckbelastung .....	79
Abbildung 49: Bestimmung der Oberflächentemperatur .....	81
Abbildung 50: Bestimmung der Oberflächenfeuchte .....	81
Abbildung 51: AGS 1 - Auftrag mit Walze.....	82
Abbildung 52: U1 mit AGS 1 .....	82
Abbildung 53: Untergründe U1 bis U3 direkt nach dem ersten Auftrag des AGS 2.....	83
Abbildung 54: anwendbares AGS3 .....	84
Abbildung 55: Opake Erscheinung des AGS3 auf U1 .....	84
Abbildung 56: AGS3 auf U1 nach der Trocknung.....	84
Abbildung 57: milchige, stark glänzende Oberflächen nach dem ersten Auftrag des AGS4 .....	84
Abbildung 58: stark glänzende Oberflächen nach Trocknung des AGS4 .....	84
Abbildung 59: Schichtdickenmessung mit dem Posi-Tector 200 .....	88
Abbildung 60: Olympus-Mikroskop SZX 16 für die Bestimmung der Eindringtiefe.....	88
Abbildung 61: Zerbrochene Probe U6 mit aufgetragener Tinte .....	88
Abbildung 62: Proben U1: ohne AGS, mit AGS1, AGS2, AGS3 und AGS4 (von links nach rechts) .....	89
Abbildung 63: Easy-M Haftzugprüfmaschine .....	91
Abbildung 64: Prüfung der Haftzugfestigkeit .....	91
Abbildung 65: Bruch im Untergrund 3 mit AGS3 .....	91
Abbildung 66: Halterung auf den Prüfkörpern .....	92
Abbildung 67: Teilansicht der montierten Prüfkörper im ersten Zyklus, Ausrichtung nach Norden.....	92
Abbildung 68: Zeitliche Abfolge des ersten und achten Bewitterungs- und Reinigungszyklus.....	92
Abbildung 69: Bezeichnung und Darstellung der Farbmittel im 1. Zyklus .....	94
Abbildung 70: verwendete Farbmittel des 1. Zyklus und Schablone zum Auftragen.....	94
Abbildung 71: Farbmittel im 1. Zyklus auf dem Untergrund U1.....	94
Abbildung 72: Untergrund U1 mit Farbauftrag im ersten Zyklus .....	95
Abbildung 73: Untergrund U6 mit Farbauftrag im zweiten Zyklus.....	96
Abbildung 74: Schritt 1 - Farbauftrag.....	97
Abbildung 75: Schritt 2 - Auftrag AGS .....	97
Abbildung 76: Schritt 3 - Einwirkzeit.....	97

Abbildung 77: Schritt 4 - Kontrolle der Lösbarkeit .....	97
Abbildung 78: Schritt 5 – Abwaschen der Fläche.....	97
Abbildung 79: Unterschiede in der farblichen Oberfläche (Wölkchen) des Untergrundes U1 .....	105
Abbildung 80: Ausfälle der unbeschichteten Prüfkörper ab dem 5. Zyklus in % .....	108
Abbildung 81: Originalprüfkörper U3 ohne AGS (NP).....	110
Abbildung 82: Mit AGS3 beschichteter Prüfkörper U3 .....	110
Abbildung 83: Originalprüfkörper U5 ohne AGS (NP).....	110
Abbildung 84: Mit AGS3 beschichteter Prüfkörper U5 .....	110
Abbildung 85: Originalprüfkörper U2 ohne AGS (NP).....	110
Abbildung 86: Mit AGS4 beschichteter Prüfkörper U2 .....	110
Abbildung 87: Originalprüfkörper U3 ohne AGS (NP).....	110
Abbildung 88: Mit AGS4 beschichteter Prüfkörper U3 .....	110
Abbildung 89: Ausfälle der beschichteten Prüfkörper ab dem 5. Zyklus in % .....	113
Abbildung 90: PK-Reihe U5 mit AGS1 .....	113
Abbildung 91: PK-Reihe U5 mit AGS2 .....	113
Abbildung 92: PK-Reihe U5 mit AGS3 .....	113
Abbildung 93: PK-Reihe U5 mit AGS4 .....	113
Abbildung 94: Glanzveränderungen der unbeschichteten Prüfkörper unter Einfluss der Bewitterung ...	116
Abbildung 95: Entwicklung der Glanzwerte aller Untergründe am Beispiel des Reiniger R1 .....	117
Abbildung 96: Gegenüberstellung der Glanzänderungen der Originalprüfkörper und den beschichteten Prüfkörpern.....	119
Abbildung 97: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und unbeschichteten NP U1.....	120
Abbildung 98: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und unbeschichteten NP U4.....	120
Abbildung 99: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und gereinigten Prüfkörper U2 bis zum 8. Zyklus.....	121
Abbildung 100: Entwicklung des Glanzes der beschichteten und gereinigten Prüfkörper U4 bis zum 8. Zyklus.....	121
Abbildung 101: Unterschiede in der Oberflächenstruktur des Untergrundes U6 .....	123
Abbildung 102: Veränderungen der Helligkeitsgrade der Originalprüfkörper durch Bewitterung in acht Zyklen .....	123
Abbildung 103: Helligkeitsveränderungen der unbeschichteten Untergründe des Reinigers R2 .....	124
Abbildung 104: Helligkeitsveränderungen der unbeschichteten Untergründe des Reinigers R4 .....	124
Abbildung 105: Veränderungen der Helligkeit durch Auftrag des AGS2 .....	125
Abbildung 106: Veränderungen der Helligkeit durch Auftrag des AGS4 .....	125
Abbildung 107: Veränderungen der Helligkeit durch Auftrag (n. A.) des AGS1 und dem Bewitterungseinfluss über acht Zyklen .....	126
Abbildung 108: Veränderungen der Helligkeit aller Untergründe mit AGS1, gereinigt mit Reiniger R1 ..	127
Abbildung 109: Veränderungen der Helligkeit aller Untergründe mit AGS3, gereinigt mit Reiniger R3 ..	127
Abbildung 110: Veränderungen der Benetzungswinkel der Originalprüfkörper durch Bewitterung in acht Zyklen .....	129
Abbildung 111: Veränderung der Benetzungswinkel aller Untergründe durch den Auftrag der vier AGS	131
Abbildung 112: Veränderungen der Benetzungswinkel der AGS1-beschichteten Prüfkörper durch Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung in 8 Zyklen.....	133
Abbildung 113: Veränderungen der Benetzungswinkel der AGS3-beschichteten Prüfkörper durch Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung in 8 Zyklen.....	134
Abbildung 114: Prüfkörper der U6-Reihe.....	136
Abbildung 115: Nahaufnahme des Prüfkörpers U6-N-A2-1 mit poriger Oberfläche .....	136
Abbildung 116: Veränderungen der Rauheit der Originalprüfkörper durch Bewitterung in acht Zyklen .	137
Abbildung 117: Veränderungen der Rauheit durch Auftrag des AGS1 .....	138
Abbildung 118: Veränderungen der Rauheit durch Auftrag des AGS3 .....	138
Abbildung 119: Veränderungen mittlere Rauheit der AGS1-beschichteten Prüfkörper über acht Zyklen	139
Abbildung 120: Veränderungen mittlere Rauheit der AGS4-beschichteten Prüfkörper über acht Zyklen	140

Abbildung 121: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der ungeschützten PK des Untergrundes U6 und deren Entwicklung vor der Freibewitterung (v. FBW) bis in den 4. Zyklus .....	143
Abbildung 122: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der beschichteten Nullproben des Untergrundes U6 und deren Entwicklung nach Auftrag (n.A.) der AGS bis in den 8. Zyklus im Vergleich zum unbeschichtetem Originalprüfkörper (OP).....	145
Abbildung 123: Mittlerer Wasseraufnahmekoeffizient der beschichteten und gereinigten Prüfkörper des Untergrundes U6 und deren Entwicklung nach Auftrag (n.A.) der AGS bis zum 8. Zyklus.....	147
Abbildung 124: Eindringtiefe des AGS1 in den Untergrund U5 (Betongehwegplatte) .....	151
Abbildung 125: Eindringtiefe des AGS2 in den Untergrund U1 (schalungsglatte Fassadenplatte) .....	151
Abbildung 126: Schichtdicken für die AGS1-beschichteten Nullproben.....	152
Abbildung 127: Schichtdicken für die AGS3-beschichteten Nullproben.....	152
Abbildung 128: Mittlere Abreißfestigkeiten der Beschichtungen (AGS3+AGS4) auf den 6 verschiedenen Betonuntergründen (U1-U6).....	153
Abbildung 129: Gegenüberstellung der mittleren Abreißfestigkeiten aller Untergründe nach Auftrag (n.A.) des AGS4 und nach dem 8. Zyklus - für die beschichteten Nullproben mit Bewitterung (AGS-NP) sowie der beschichteten Prüfkörper mit Reinigung (AGS+R).....	154
Abbildung 130: Gegenüberstellung der mittleren Abreißfestigkeiten aller Untergründe nach Auftrag (n.A.) des AGS4 und nach dem 8. Zyklus - für die beschichteten Nullproben mit Bewitterung (AGS-NP) sowie der beschichteten Prüfkörper mit Reinigung (AGS+R).....	155
Abbildung 131: mit AG4S beschichtete Prüfkörper U5 .....	155
Abbildung 132: Nahaufnahme eines Prüfkörpers U5 mit AGS3 .....	155

### 8.3 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Standardsubstrate zur Bewertung der Wirksamkeit/Funktionalität von AGS verschiedener Richtlinien .....	8
Tabelle 2: Beispiele für Betonzusatzstoffe und ihre Funktion (CEMEX 2018) .....	13
Tabelle 3: Einteilung der Betonart anhand der Trockenrohichte nach DIN EN 206 .....	14
Tabelle 4: Druckfestigkeitsklassen nach DIN EN 206:2021-06 (CEMEX 2018).....	15
Tabelle 5: Anwendungsgebiete und Aufgaben der Betonoberflächenbearbeitung (Momber, Schulz 2006) .....	18
Tabelle 6: Arten und Merkmale von Imprägnierstoffen für hydrophobierende Imprägnierungen (Stahr et al. 2016).....	23
Tabelle 7: Überblick AGS1 – AGS4 .....	47
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Reiniger R1 bis R4 .....	52
Tabelle 9: Zusammensetzung der Probenmenge je Untergrund und Behandlung .....	52
Tabelle 10: Kennwerte zum Bewerten der Ergebnisse von Farbmittelentfernungen nach TP AGS-Beton:03/2012.....	54
Tabelle 11: Kennzahlen für die Reinigungsleistung nach ReGG III.....	54
Tabelle 12: Beurteilung des Glanzes nach DIN EN 1062-1:2004-08 .....	55
Tabelle 13: Trennfälle der Bruchflächen nach Augenschein (Iken et al. 2012).....	60
Tabelle 14: Ordnungssystem der Gestaltabweichungen nach DIN 4760 (Wittel et al. 2013).....	68
Tabelle 15: Zuordnung der absolvierten Stufen nach Prüfkörperart .....	73
Tabelle 16: Anwendungsbereich der acht Stufen und deren Prüfungen für alle Untergründe .....	73
Tabelle 17: Zusammensetzung der ermittelten Einzelwerte der Prüfkörper im Originalzustand .....	74
Tabelle 18: Zusammensetzung der ermittelten Einzelwerte zur Herstellung der Prüfkörper .....	79
Tabelle 19: Ermittelte, mittlere Oberflächentemperatur und Anforderungen der Hersteller .....	80
Tabelle 20: Oberflächenfeuchte, Anforderungen und ermittelte Werte.....	81
Tabelle 21: Zusammenfassung der Verarbeitung der AGS .....	85
Tabelle 22: Mittlerer Verbrauch und Standardabweichung der AGS auf den glatten Untergründen sowie Angabe des Verbrauchs nach technischem Merkblatt (Hersteller) .....	85
Tabelle 23: Mittlerer Verbrauch und Standardabweichung der AGS auf den rauen Untergründen sowie Angabe des Verbrauchs nach technischem Merkblatt (Hersteller) .....	86

Tabelle 24: Durchschnittliche und maximale Werte der Lufttemperatur und dem Niederschlag sowie die überwiegende Windrichtung für die Jahre 2019 bis 2021 .....	93
Tabelle 25: Aufstellung der Einzelmesswerte der Zyklen 1 bis 7.....	98
Tabelle 26: Aufstellung der Einzelmesswerte im 8. Zyklus.....	99
Tabelle 27: Mittlere Rohdichten und dazugehörige Standardabweichungen (MW±s) der Untergründe U1 bis U6 sowie Anforderungen (Anf.) nach DIN EN 206.....	101
Tabelle 28: Mittlere Druckfestigkeiten und Standardabweichungen (MW±s), Einordnung der Betonuntergründe im getesteten Zustand und Anforderungen nach 28 Tagen.....	102
Tabelle 29: Übersicht der verwendeten Betonprüfkörper .....	104
Tabelle 30: Visuelle Beschreibung der Betonoberflächen.....	105
Tabelle 31: Ergebnisse der Funktionalitätsbewertung für alle Untergründe (U) – gereinigt mit den Reiniger R1 und R2 .....	107
Tabelle 32: Ergebnisse der Funktionalitätsbewertung für alle Untergründe (U) – geschützt mit AGS3 und AGS4, gereinigt mit den Reiniger R3 und R4 .....	112
Tabelle 33: Mittlere Glanzwerte, dazugehörige Standardabweichungen (MW±s) und Klasseneinteilung der Untergründe U1 bis U6.....	115
Tabelle 34: Darstellung der mittleren Glanzwerte sowie der Glanzklassen im Originalzustand und nach dem Auftrag der AGS.....	117
Tabelle 35: Mittlere Helligkeitswerte und Standardabweichung (MW±s) der Betonuntergründe im Originalzustand .....	122
Tabelle 36: Mittlere Benetzungswinkel und Standardabweichungen (MW±s), Einordnung der Betonuntergründe im Originalzustand und Anforderungen an den Benetzungswinkel ( $\varphi$ ) .....	128
Tabelle 37: Benetzungswinkel der Untergründe im Originalzustand sowie nach Auftrag der AGS.....	130
Tabelle 38: Mittlere Rautiefen $R_z$ und Standardabweichungen (MW±s) für die Originaluntergründe .....	135
Tabelle 39: Mittlere Werte des Wasseraufnahmekoeffizienten und Zuordnung der jeweiligen Klasse nach DIN 4108-3.....	141
Tabelle 40: Mittlere w-Werte und Einteilung nach dem Saugverhalten (DIN 4108-3) sowie der Wasserundurchlässigkeit (DIN EN 1062-3).....	144
Tabelle 41: Anforderungen an die Schichtdicke nach Hersteller- und Literaturangaben für Hydrophobierungen und Beschichtungen .....	149
Tabelle 42: Mittlere Schichtdicken und Standardabweichungen für die Untergründe U1 bis U6 mit den AGS1 bis AGS4 .....	149
Tabelle 43: Anforderungen an die Eindringtiefe nach Hersteller- und Literaturangaben sowie Richtlinien für Hydrophobierungen bzw. hydrophobierende Imprägnierungen.....	150
Tabelle 44: Prozentuale Veränderung der Schichtdicke gegenüber der Stufe III für die Untergründe U1 bis U6 mit den AGS1 bis AGS4.....	151
Tabelle 45: Verwendete Betonuntergründe und ihre ermittelten Parameter (Rohdichte, Druckfestigkeit und w-Wert) sowie W/Z-Werte nach Herstellerangaben.....	157
Tabelle 46: Verwendete Betonprüfkörper und deren ermittelten Oberflächenparameter.....	158
Tabelle 47: Einordnung der verwendeten Hauptreiniger .....	161
Tabelle 48: Ermittelte w-Werte, $s_d$ -Werte nach Herstellerangaben, ermittelte Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (V) und Einteilung in die V-Klasse der vier AGS.....	167
Tabelle 49: Bewertung der Polyfunktionalität der vier AGS auf sechs Untergründen nach acht Bewitterungs- und Reinigungszyklen über einen Zeitraum von 2,5 Jahren .....	177

## 8.4 Literatur- und Quellenverzeichnis

### Literaturverzeichnis

- AALBORG PORTLAND HOLDING A/S (2005):** Betonoberflächen: Dekorative Lösungen, Aalborg White, online abrufbar unter: [https://www.aalborgwhite.com/sites/default/files/documents/2020-02/info\\_betonoberfla%CC%88chen\\_de.pdf](https://www.aalborgwhite.com/sites/default/files/documents/2020-02/info_betonoberfla%CC%88chen_de.pdf) [Stand: 05.04.2023, 15:54]
- Augustin, B.; Behmann, J. (2013):** Das 1x1 des Bauhofs: praktisches Wissen für unterwegs, 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Forum Verlag Herkert GmbH, ISBN 978-3-96314-060-0
- Backe, H.; Hiese, W.; Möhring, R. (2013):** Baustoffkunde, 12., neubearbeitete und ergänzte Auflage, Werner Verlag, ISBN 978-3-8041-4517-7
- Benedix, R. (2017):** Bauchemie für das Bachelor-Studium, Modern – Kompetent – Kompakt, 3. Auflage, Verlag Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ISBN 978-3-658-18495-7
- Borg Costanzi, C.; Ahmed, Z.; Schipper, H.; Bos, F.; Knaack, U.; Wolfs, R. (2018):** 3D Printing Concrete on temporary surfaces: The design and fabrication of a concrete shell structure, Automation in Construction, Volume 94, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.06.013> [Stand: 25.06.2022, 10:32]
- Braun, F. (2021):** Zur Ermittlung des Langzeitverhaltens hydrophobierter Natursteinoberflächen unter dem Einfluss der natürlichen Verwitterung, Dissertation, Veröffentlicht und abrufbar über die Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dortmund [Stand: 16.04.2023, 17:29]
- Breitenbücher, R. (2019):** BFT International Vol. 85, Concrete Plant + Precast Technology, Proceedings 63<sup>th</sup> BetonTage, Herausgeber: FBF Betondienst GmbH
- Carmona-Quiroga, P.; Jacobs, R.; Heather, A.; Viles, H. (2016):** Durability of anti-graffiti coatings on stone: natural vs accelerated weathering, online abrufbar unter: DOI: 10.1371/journal.pone.0172347 [Stand: 05.06.2022, 16:28]
- Carmona-Quiroga, P.; Jacobs, R.; Martínez-Ramírez, S.; Heather, A.; Viles, H. (2017):** Weathering of Two Anti-Graffiti Protective Coatings on Concrete Paving Slabs, Coatings 2017, online abrufbar unter: DOI:10.3390/coatings7010001 [Stand: 05.06.2022, 16:53]
- CEMEX Deutschland AG (2018):** Baustofftechnische Daten, 25. Auflage (01/2018), Druck ID 10909-1801-1002
- Delgado, MC.; Ramos, J.; Cabeza, L.; Domínguez, S. (2020):** Experimental evaluation of different natural cold sinks integrated into a concrete façade, Energy and Buildings, Volume 228, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110466> [Stand: 06.06.2022]
- Eichler, A. (2009):** FARBABSTÄNDE IN DER INDUSTRIELLEN FARBMESSUNG, Infoblatt, Coates Screen Inks GmbH Nürnberg
- Elnaggar, E.; Elsokary, T.; Shohide, M.; El-Sabbagh, A.; Abdel-Gawwad, H. (2019):** Surface protection of concrete by new protective coating, Construction and Building Materials, Volume 220, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.026> [Stand: 25.06.2022, 18:46]
- FDB, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V. (2020):** Oberflächenschutz, Reinigung und Pflege von Fertigteilfeassaden aus Architekturbeton (03/2020), Infoblatt, Herausgeber: FDB e.V.
- FDB, Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V. (2020):** Über Betonfertigteile aus Architekturbeton (03/2020), Merkblatt Nr. 8, Herausgeber: FDB e.V.
- Fingerloos, F.; Hegger, J.; Zilch, K. (2012):** Kurzfassung des Eurocode 2 für Stahlbetontragwerke im Hochbau, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V. (Hrsg.), Verlag: Ernst & Sohn GmbH, ISBN: 978-3-433-03045-5

- Fitz, C.; Krus, M. (2004):** Normenwirrwarr bei der Bestimmung von feuchtetechnischen Materialkennwerten, Artikel aus IBP-Mitteilung, IBP Report Jg.31, Nr. 44, Herausgeber: Fraunhofer-Institut für Bauphysik -IBP-, Stuttgart
- Frössel, F. (2013):** Über Graffiti und deren Beseitigung, Gebäudeschäden Teil 7, Zeitschrift: Modernisierungs-Magazin, Jg. 26 Nr. 10, ISSN: 0943-528X, bezogen über Fraunhofer IRB Z 1909 – Dokumentennummer: 13109016182
- Flückiger, D.; Elsener, B.; Studer, W.; Böhni, H. (2021):** Schutz von Beton durch Beschichtungen, Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt (Beitrag), online abrufbar unter: <http://doi.org/10.5169/seals-78189> [Stand 15.06.2022, 16:44]
- Gambino, C.; Nervo, M.; Piccirillo, A.; Scarcella, A.; De Stefanis, A.; Pozo-Antonio, J. (2020):** Anti-Graffiti Coatings on Stones for Historical Buildings in Turin (NW Italy), Coatings 2020, 10, 582, online abrufbar unter: [Doi:10.3390/coatings10060582](https://doi.org/10.3390/coatings10060582) [Stand: 05.06.2022, 14:54]
- GANN, (2017):** Bedienungsanleitung und Gerätebeschreibung GANN HYDROMETTE RTU 600, Herausgeber: GANN Mess- und Regeltechnik GmbH Gerlingen, online abrufbar unter: [https://www.gann.de/\\_Resources/Persistent/b268714d82f2ce6547016f30474390deaa291ebc/RTU600\\_DE.pdf](https://www.gann.de/_Resources/Persistent/b268714d82f2ce6547016f30474390deaa291ebc/RTU600_DE.pdf) [Stand: 05.04.2022, 10:36]
- Gilani, G.; Hosseini, S.; Pons-Valladares, O.; de la Fuente, A. (2022):** An enhanced multi-criteria decision-making approach oriented to sustainability analysis of building facades: A case study of Barcelona, Journal of Building Engineering, Volume 54, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104630> [Stand: 06.06.2022, 14:28]
- Goretzki, L. (1998):** Graffiti-Schutzsysteme für Fassadenbaustoffe, expert Verlag, ISBN 3-8169-1543-4
- Heeß, S. (2008):** Farbunterschiede – Ursachen und Fehlerquellen, 2008 Dyckerhoff Weiss Marketing und Vertriebs-Gesellschaft mbH, Wiesbaden; online abrufbar unter: <https://www.dyckerhoff.com/documents/209745/678472/Farbunterschiede+-+Ursachen+und+Fehlerquellen.pdf/b369e9bb-2a9e-96c4-6efe-67ea098fc61c> [Stand: 05.04.2023, 16:07]
- Hegger, J.; Mark, P. (2016):** Stahlbetonbau aktuell 2016, Praxishandbuch, Beuth Verlag GmbH, ISBN 978-3-410-25202-3
- Heilmann, H. (2007):** Alles so schön bunt hier, Ein Überblick über Anti-Graffiti Schutzsysteme, Opus C, Jg. 4 Nr. 5, ISSN: 1860-0298, bezogen über Fraunhofer IRB Z 1976 – Dokumentennummer 07109020177
- Herzog, T.; Krippner, R.; Lang, W. (2016):** Fassaden Atlas, Grundlagen, Konzepte, Realisierungen, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, DETAIL - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, Verlag: DETAIL Business Information GmbH, ISBN 978-3-95553-328-1
- Hestermann, U.; Rongen, L. (2015):** Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 1, 36. Auflage, Springer-Vieweg Verlag, ISBN 978-3-8348-2564-3
- Holcim Deutschland AG (2021):** Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2, Eine Publikation der Holcim (Süddeutschland) GmbH, Broschüre
- Holcim Deutschland GmbH (2016):** Betonpraxis – Der Weg zu dauerhaftem Beton, Eine Publikation der Holcim (Deutschland) GmbH, Broschüre DEU\_CS\_Betonpraxis\_1601\_5000
- Holcim Deutschland GmbH (2022):** Betonpraxis – Der Weg zu dauerhaftem Beton, 4. Auflage 2022, Verfasser: Technisches Marketing und Produktmanagement, Holcim (Deutschland) GmbH, Holcim (Süddeutschland) GmbH, gebundene Broschüre
- Iken, H-W.; Lackner, R.; Zimmer, U.; Wöhl, U.; Breit, W. (2012):** Handbuch der Betonprüfung: Prüfanleitungen und Beispiele, 6. Überarbeitete und erweiterte Auflage, Verlag Bau+Technik, ISBN 978-3-7640-0515-3

- Jäntsch, S.; von Laar, C.; Bombeck, H. (2021):** Schützen und Erhalten – mit Sachverstand und Handwerkskunst, Tagungsband der 31. Hanseatischen Sanierungstage, BuFAS e.V., Beitrag: Graffitienschutz auf Beton, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-7388-0536-9
- Kaczmarczyk, C.; Kuhr, H.; Strupp, P.; Schmidt, J.; Schmidt, A. (2009):** Bautechnik für Bauzeichner: Zeichnen - Rechnen - Fachwissen, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN 978-3-83480-864-6
- Kahnt, A. (2020):** Die Gebäudehülle der Zukunft – Entwicklung einer Textilbetonfassade vom Baustoff bis zum Raumklima (Dissertation), Herausgeber: Technische Universität Dresden Prof. Dr.-Ing. John Grunewald, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN (Print): 978-3-7388-0699-1
- Karsten, R. (1995):** Bauchemie: Handbuch für Studium und Praxis, 9. Auflage, Verlag C. F. Müller GmbH, ISBN 3-7880-7438-8
- Kim, Y.; Cho, H.; Lee, H.; Kim, W.; Jung, Y.; Lee, S. (2020):** Development of a multi-functional acrylic urethane coating with high hardness and low surface energy, Progress in Organic Coatings, Volume 147, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105748> [Stand: 06.06.2022, 11:11]
- Kind-Barkauskas, F.; Kauhsen, B.; Polónyi, S.; Brandt, J. (2013):** Beton Atlas, Entwerfen mit Stahlbeton im Hochbau, Verlag De Gruyter und Verlag Bau+Technik, ISBN 978-3-95553-164-5
- Knoblauch, H.; Schneider, U. (1995):** Bauchemie, 4., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Werner Verlag, ISBN 3-8041-4576-0
- Konica Minolta (2005):** KONICA MINOLTA SENSING, INC., Broschüre: Exakte Farbkommunikation, Vom Farbgefühl bis zur objektiven Messung
- Kronlund, D.; Lindén, M.; Smått, J.-H. (2016):** A polydimethylsiloxane coating to minimize weathering effects on granite, Construction and Building Materials Volume 124, 15 October 2016, Pages 1051-1058, online abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181631409X?via%3Dihub> [Stand: 08.05.2023, 18:12]
- Kruschwitz, S. (2014):** Feuchtemessung im Bauwesen - Überblick, Fachtagung Bauwerksdiagnose 2014 – Vortrag 5, online abrufbar unter: <https://www.ndt.net/article/bau-zfp2014/papers/vortrag%205.pdf> [Stand: 05.04.2022, 16:22]
- Küchlin, D.; Hersel, O. (2017):** Betontechnische Daten, Leitfaden, Herausgeber: HeidelbergCement AG - Engineering & Innovation
- Kupfer, M. (2008):** Graffitienschutz für Beton: Beschichtung oder Imprägnierung ?, Broschüre, online abrufbar unter: [https://www.labkupfer.de/documents/Manuskript\\_Dresden\\_2008.pdf](https://www.labkupfer.de/documents/Manuskript_Dresden_2008.pdf) [Stand: 11.01.2022, 19:50]
- Kupfer, M. (2020):** Qualitätsstandard der Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V. zur Graffitientfernung und Graffiti prophylaxe, Broschüre, online abrufbar unter: <https://www.anti-graffiti-verein.de/download/-Qualitätsstandard2020> [Stand: 25.01.2022, 8:32]
- Kupfer, M. (2022):** Energy-Efficient Retrofit of Buildings by Interior Insulation Materials, Methods, and Tools; Chapter 1.6 - Hygric interactions with antigraffiti systems, Pages 107-125, siehe auch: Stahl, T.; Wakili, K. G. (2022), Verlag Butterworth-Heinemann, ISBN 978-0-12-816513-3
- Landesdenkmalamt Berlin (2004):** VEREINIGUNG DER LANDESDENKMALPFLEGER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND, Arbeitsblatt 22, Merkblatt Graffitientfernung und Graffiti prophylaxe an denkmalgeschützten Objekten
- Latzke, U. (2017):** Beton- und Stahlbeton Spezial: Betonoberflächen, Beitrag „Ein kreativer Kunst-Stoff“, Ernst & Sohn Verlag GmbH & Co. KG, ISSN 0005-9900 (print)

- Lee, W.Q.; Polance, R.G.; Hussain, N.; Shaffer, C.J.; Reyes, R.D. (2021):** Functional coatings via isocyanate-cured phenolics for anti-graffiti and via benzoxazines for high-temperature and high-pressure (HTHP) applications, *Progress in Organic Coatings*, ISSN : 0300-9440, online abrufbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944020313059#!> [Stand: 05.06.2022, 13:22]
- Lesnych, N.; Malorny, W. (2022):** Höhere Baustoffkunde: Ausgewählte Methoden der Bauwerksdiagnostik, Vorlesungsskript Sommersemester 2022, Hochschule Wismar
- Lettieri, M.; Masieri, M.; Pipoli, M.; Morelli, A.; Frigione, M. (2019):** Anti-Graffiti Behavior of Oleo/Hydrophobic Nano-Filled Coatings Applied on Natural Stone Materials, *Coatings* 2019, 9, 740, online abrufbar unter: [doi:10.3390/coatings9110740](https://doi.org/10.3390/coatings9110740) [Stand 05.06.2022, 14:10]
- Li, M.; Ma, T.; Liu, J.; Li, H.; Xu, Y.; Gu, W.; Shen, L. (2019):** Numerical and experimental investigation of precast concrete facade integrated with solar photovoltaic panels, *Applied Energy*, Volume 253, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113509> [Stand: 06.06.2022, 14:02]
- Li, W.; Lin, X.; Bao, D.; Xie, Y. (2022):** A review of formwork systems for modern concrete construction, *Structures*, Volume 38, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.089> [Stand: 06.06.2022, 15:12]
- Licchelli, M.; Marzolla, S.; Poggi, A.; Zanchi, C. (2011):** Crosslinked fluorinated polyurethanes for the protection of stone surfaces from graffiti, *Journal of Cultural Heritage* Volume 12, Issue 1, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.07.002> [Stand: 06.06.2022, 18:00]
- Linnebacher, D. (2019):** Dissertation: Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie, Technische Universität Darmstadt, online abrufbar unter: [https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/11565/1/Dissertation\\_Linnebacher\\_20200406.pdf](https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/11565/1/Dissertation_Linnebacher_20200406.pdf) [Stand 05.06.2022, 14:10]
- Loh, T.; Stehle, J.; Nguyen, K. (2022):** The thermal resistivity of concrete façade elements containing novel recycled plastic void formers: An experimental and numerical investigation, *Journal of Building Engineering*, Volume 49, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104101> [Stand: 06.06.2022, 13:40]
- Lohaus, L. (2017):** Beton- und Stahlbeton Spezial: Betonoberflächen, Beitrag „Innere Werte – „oberflächlich“ betrachten und begreifen“, Ernst & Sohn Verlag GmbH & Co. KG, ISSN 0005-9900 (print)
- Lohaus, L.; Schack, T.; Cotardo, D. (2017):** Beton- und Stahlbeton Spezial: Betonoberflächen, Beitrag „Die Kunst der Sichtbetontechnik“, Ernst & Sohn Verlag GmbH & Co. KG, ISSN 0005-9900 (print)
- Ma, S.; Hou, D.; Bao, P.; Wang, D. (2022):** Influence of alkali-resistant glass fiber on seismic performance of precast ceramsite concrete sandwich wall panels, *Structures*, Volume 38, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.01.081> [Stand: 06.06.2022, 15:01]
- Maier, J. (2010):** Eine innige Verbindung, Graffiti-Entfernung und Graffiti-Schutz, Zeitschrift: Der Maler und Lackierer, Nr. 4 2010, bereitgestellt von [www.wiso-net.de](http://www.wiso-net.de)
- Malaga, K.; Müller, U. (2009):** Validation and improvement of procedures for performance testing of anti-graffiti agents on concrete surfaces, Conference: Sixth International Conference Concrete under Severe Conditions Environment & Loading - CONSEC10, online abrufbar unter: [https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer\\_001401\\_001500/Publikation\\_001467/K%20%20Malaga-%20U.%20Mueller-graffiti.pdf](https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_001401_001500/Publikation_001467/K%20%20Malaga-%20U.%20Mueller-graffiti.pdf) [Stand: 05.06.2022, 11:33]
- Malaga, K.; Müller, U. (2013):** Relevance of Hydrophobic and Oleophobic Properties of Antigrffiti Systems on Their Cleaning Efficiency on Concrete and Stone Surfaces, online abrufbar unter: DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000557 [Stand: 05.06.2022, 17:07]
- Manvi, G.; Singh, A.; Jagtap, R.; Kothari, D. (2012):** Isocyanurate based fluorinated polyurethane dispersion for anti-graffiti coatings, *Progress in Organic Coatings*, Volume 75, Issue 3, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.04.007> [Stand: 10.06.2022, 08:36]

- May Tzuc O.; Rodríguez Gamboa, O.; Aguilar Rosel, R.; Che Poot, M.; Edelman, H.; Jiménez Torres, M.; Bassama, A. (2021):** Modeling of hygrothermal behavior for green facade's concrete wall exposed to nordic climate using artificial intelligence and global sensitivity analysis, *Journal of Building Engineering*, Volume 33, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.04.007> [Stand: 06.06.2022, 18:21]
- Mehlhorn, G.; Curbach, M. (2015):** *Handbuch Brücken: Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten*, 3. Auflage, Springer Vieweg Verlag, ISBN: 978-3-658-03339-2
- Miterrutzner, M. (2017):** *Tragverhalten und Konstruktion von dünnwandigen Fassadenelementen aus textilbewehrtem Beton*, Masterarbeit an der Technischen Universität Graz, online abrufbar unter: <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=5990d0a4508c5&location=browse> [Stand: 06.06.2022, 13:57]
- Mohammad Rabea, A.; Mohseni, M.; Mirabedini, S.; Hashemi Tabatabaei, M. (2012):** Surface analysis and anti-graffiti behavior of a weathered polyurethane-based coating embedded with hydrophobic nano silica, *Applied Surface Science*, Volume 258, Issue 10, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2011.12.123> [Stand: 06.06.2022, 18:38]
- Möllmann, M.; Nicolay, J. (2008):** *Gestaltungsmöglichkeiten von Betonoberflächen*, Dyckerhoff GmbH, online abrufbar unter: <https://www.dyckerhoff.com/documents/209745/678472/Gestaltungsm%C3%B6glichkeiten+von+Betonoberfl%C3%A4chen.pdf/6572039c-bbe6-5e6a-6a1d-50449e2d902d> [Stand: 10.06.2022, 7:58]
- Momber, A.; Schulz, R.-R. (2006):** *Handbuch der Oberflächenbearbeitung Beton, Bearbeitung-Eigenschaft-Prüfung*, Birkhäuser Verlag, ISBN: 978-3-7643-6218-8
- Müller, U. (2010):** *Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk*, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin, *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau*, Heft B 74, Wirtschaftsverlag NW-Verlag für neue Wissenschaften GmbH, ISBN 978-3-86918-071-7
- Müller, U.; Malaga, K. (2011):** *Study on the Application of Anti-Graffiti Systems on Natural Stones and Concrete*, *Proceedings of Hydrophobe VI Sixth International Conference on water repellent treatments on building materials*, online abrufbar unter: [http://www.hydrophobe.org/pdf/rome/VI\\_16.pdf](http://www.hydrophobe.org/pdf/rome/VI_16.pdf) [Stand: 05.06.2022, 11:50]
- Nävy, J. Schröter, M. (2013):** *Facility Services: Die operative Ebene des Facility Managements*, Springer Vieweg Verlag, ISBN 978-3-642-39543-7
- Neroth, G.; Vollenschaar, D. (2011):** *Wendehorst Baustoffkunde, Grundlagen-Baustoffe-Oberflächenschutz*, 27., vollständig überarbeitete Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN 978-3-8351-0225-5
- Neumann, D.; Hestermann, U.; Rongen, L. (2008):** *Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 2, 33.*, vollständig überarbeitete Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN 978-3519552512
- Orlowsky, J. (2012):** *Zur Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen für die Erhaltung von Betonbauwerken*, *Habilitationsschrift zur Erlangung der Venia Legendi vorgelegt der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen University*, online abrufbar unter: <https://core.ac.uk/download/pdf/46916975.pdf> [Stand: 23.05.2022, 08:32]
- Pan, X.; Shi, Z.; Shi, C.; Ling, T.-C.; Li, N. (2016):** A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms, *Construction and Building Materials*, Volume 132, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.025> [Stand: 25.06.2022, 10:56]
- Peck, M.; Hersel, O.; Kind-Barkauskas, F.; Klose, N.; Richter, Th.; Schäfer, W. (2008):** *Stahlbetonoberflächen – schützen, erhalten, instandsetzen*, 8. neu bearbeitete Auflage, Schriftenreihe der Zement- und Betonindustrie, Verlag Bau+Technik GmbH, ISBN 978-3-7640-0490-3
- Pereira, C.; Hamadyk, E.; Silva, A. (2019):** Probabilistic analysis of the durability of architectural concrete surfaces, *Applied Mathematical Modelling*, Volume 77, Part 1, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2019.07.031> [Stand: 25.06.2022, 12:29]

- Pickhardt, R.; Bose, T.; Schäfer, W. (2016):** *Beton – Herstellung nach Norm, Arbeitshilfe für Ausbildung, Planung und Baupraxis*, Verlag Bau+Technik GmbH, ISBN 978-3-7640-0595-5
- Pohl, E. (1969):** *Zerstörungsfreie Prüf- und Meßmethoden für Beton*, 2. Auflage, VEB Verlag für Bauwesen, VLN 152 – Dg.-Nr. 905/56/69
- Pörschmann, M. (1990):** *Betonwerkstein richtig hergestellt – Gestalterische und technologische Möglichkeiten bei der Farbgebung des Betonwerksteins*, Herausgeber: Betonwerk+Fertigteile-Technik 56 (1990), Nr.8
- Pott, J. U. (2020):** *Betonfertigteile | Betonwaren | Betonwerkstein, punktum, Betonbauteile, Das Branchenmagazin*, 5. Ausgabe 2020, Onlineprinters GmbH, online abrufbar unter: [https://www.fdb-fertigteilebau.de/fileadmin/user\\_upload/punktum/2020\\_Ausgaben\\_und\\_Teaser/2020\\_5\\_punktum.betonbauteile\\_WEB.pdf](https://www.fdb-fertigteilebau.de/fileadmin/user_upload/punktum/2020_Ausgaben_und_Teaser/2020_5_punktum.betonbauteile_WEB.pdf) [Stand: 22.08.2022, 14:54]
- PSS Interservice (2017):** *Oberflächen nachhaltig schützen*, PSS Interservice GmbH, Produktbroschüre
- Raupach, M.; Antons, U. (2011):** *Die Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen auf Betonuntergründen – Ergebnisse einer 12-jährigen Auslagerung an verschiedenen Standorten*, Institut für Bauforschung, RWTH Aachen, online abrufbar unter: <http://www.bgib.de/veroeffentlichungen/20110303raupach.pdf> [Stand: 16.04.2023, 17:36]
- Raupach, M.; Orłowsky, J. (2008):** *Erhaltung von Betonbauwerken - Baustoffe und ihre Eigenschaften*, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN: 978-3-8351-0120-3
- Rossi, S.; Fedel, M.; Petrolli, S.; Deflorian, F. (2016):** *Behaviour of different removers on permanent anti-graffiti organic coatings*, *Journal of Building Engineering* Volume 5, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.12.004> [Stand: 05.06.2022, 17:21]
- Roviello, V.; Bifulco, A.; Colella, A.; Iucolano, F.; Caputo, D.; Aronne, A.; Liguori, B. (2022):** *Suitability and Sustainability of Anti-Graffiti Treatments on Natural Stone Materials*, *Sustainability* 2022, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.3390/su14010575> [Stand: 05.06.2022, 21:16]
- Rusam, H. (2004):** *Anstriche und Beschichtungen im Bauwesen: Eigenschaften-Untergründe-Anwendung*, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN: 978-3-8167-6436-6
- Sachsenmaier-Wahl, S. (2018):** *Gebäudehülle & Innenraum*, Fachbeitrag „Einer ist nicht genug“ (S.72-74), *Malerblattausgabe 11/2018*, *Malerblatt Medienservice - Medienservice Konradin GmbH*
- Sanmartín, P.; Bosch-Roig, P. (2019):** *Biocleaning to Remove Graffiti: A Real Possibility? Advances towards a Complete Protocol of Action*, *Coatings* 2019, 9, 104, online abrufbar unter: [Doi:10.3390/coatings9020104](https://doi.org/10.3390/coatings9020104) [Stand: 05.06.2022, 14:39]
- Sanmartín, P.; Bosch-Roig, P.; Gulotta, D.; Fort, R.; Bosche, I.; Cappitelli, F. (2021):** *Klebsiella aerogenes and Comamonas testosteroni as bioremoval agents on graffiti-coated concrete and granite: Impact assessment through surface analysis*, *International Biodeterioration & Biodegradation* Volume 161, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105244> [Stand: 06.06.2022, 13:22]
- Schießl, P.; Strehlein, D. (2005):** *Kurzbericht: 2. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Universität Karlsruhe*, *Sichtbeton – Planen, Herstellen, Beurteilen*; 17. März 2005, *Universitätsverlag Karlsruhe*
- Schnell, J.; Thiele, C.; Kohl, V.; Chopradub, A. (2009):** *Kurzbericht: Leicht Bauen mit Beton - Innovative Klebe-Verbindungstechnik für filigrane Fassadenplatten aus Hochleistungsbeton.*, *Forschungsinitiative Zukunft Bau*, *Fraunhofer IRB Verlag*, ISBN: 978-3-8167-8219-3
- Scholz, W.; Hiese W.; Möhring, R. (2016):** *Baustoffkenntnis*, 16., überarbeitete Auflage, *Bundesanzeiger Verlag GmbH, Reguvis Fachmedien*, ISBN 978-3-8462-0538-9

- Schultz-Cornelius, M. (2020):** Dissertation: Konzept zur Bemessung von unbewehrten Fassadenplatten aus Ultrahochleistungsbeton in mehrschichtigen Stahlbetonwandtafeln, Technische Universität Kaiserslautern, online abrufbar unter: [https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/5932/file/\\_Dissertation+Milan+Schultz-Cornelius\\_KLUEDO.pdf](https://kluedo.ub.uni-kl.de/frontdoor/deliver/index/docId/5932/file/_Dissertation+Milan+Schultz-Cornelius_KLUEDO.pdf) [Stand: 06.06.2022, 14:47]
- Schulz, J. (2010):** Handbuch Sichtbeton – Beurteilung und Abnahme, Verlag Bau+Technik GmbH, ISBN 978-3-7640-0531-3
- Schulz, R.-R. (1984):** Beton als Beschichtungsuntergrund - über die Prüfung des Festigkeitsverhaltens von Betonoberflächen mit dem Abreißversuch, Promotionsarbeit, Fakultät für Bauwesen der Technischen Hochschule Aachen, (von Prof. R.-R. Schulz per E-Mail am 17.04.2018 zur Verfügung gestellt)
- Schulz, R.-R. (2016):** Fortschritte bei der Rauheitsbewertung von Betonoberflächen, Alternativen zum Sandflächenverfahren, Beitrag Zeitschrift beton, Verlag Bau+Technik GmbH (von Prof. R.-R. Schulz per E-Mail am 17.04.2018 zur Verfügung gestellt)
- Schulz, R.-R. (2017):** Laser schlägt Sand, Rautiefenmessung an Betonoberflächen, Beitrag Fachzeitschrift B+B Bauen im Bestand, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG (von Prof. R.-R. Schulz per E-Mail am 17.04.2018 zur Verfügung gestellt)
- Schumann, D. (2009):** Europäische Patentanmeldung, EP 2 045 320 A1, Veröffentlichungstag: 08.04.2009 Patentblatt 2009/15, Seite 2 – 3
- Serralheiro, M.; de Brito, J.; Silva, A. (2016):** Methodology for service life prediction of architectural concrete facades, Construction and Building Materials, online abrufbar unter: <https://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/148972.pdf> [Stand 08.05.2023, 18:12]
- Stahl, T.; Wakili, K. G. (2022):** Energy-Efficient Retrofit of Buildings by Interior Insulation: Materials, Methods, and Tools; Verlag Butterworth-Heinemann, ISBN 978-0-128-16513-3
- Stahr, M.; Radermacher, K.-P.; Rohrwacher, K.-M. (2016):** Sanierung von Natursteinen: Erfassen - Sanieren - Recht, Verlag: Springer Vieweg GmbH, ISBN 978-3-658-07847-8
- Stein, D.; Stein, R. (2014):** Instandhaltung von Kanalisationen, 4. Auflage, Verlag Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, ISBN 978-3-9810648-4-1
- Steinle, A.; Bachmann, H.; Tillmann, M. (2018):** Bauen mit Betonfertigteilen im Hochbau, 3. Auflage, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag GmbH & Co. KG, ISBN 978-3-433-03224-4
- Strehlein, D. (2012):** Dissertation: Fleckige Dunkelverfärbungen an Sichtbetonoberflächen, Charakterisierung – Entstehung – Vermeidung, Technische Universität München – Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, online abrufbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1107235/1107235.pdf> [Stand: 05.04.2023, 16:00]
- Szyminski, S. (1993):** Toleranzen und Passungen - Grundlagen und Anwendungen, Verlag: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ISBN 978-3-528-04919-5
- Thienel, K.-Ch. (2017):** Normalbeton - Hochfester Beton - Hochleistungsbeton - Ultrahochfester Beton, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Bundeswehr - Universität München, Wintersemester 2017 (Vorlesungsskript), online abrufbar unter: <https://www.unibw.de/werkstoffe-en/teaching/master-program/normal-hochfest-und-uhpc.pdf> [Stand: 14.03.2023, 16:10]
- Thienel, K.-Ch. (2018):** Faserbeton, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Bundeswehr - Universität München, Frühlingstrimester 2018 (Vorlesungsskript), online abrufbar unter: <https://www.unibw.de/werkstoffe/lehre/masterstudium/skripte-anorganische-bindemittel/faserbeton.pdf> [Stand: 20.04.2023, 09:10]

- Thienel, K.-Ch., Beuntner, N. (2018):** *Betone mit Kunststoffen*, Institut für Werkstoffe des Bauwesens, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Bundeswehr - Universität München, Frühjahrstrimester 2018 (Vorlesungsskript, Master), online abrufbar unter: <https://www.unibw.de/werkstoffe/lehre/masterstudium/skripte-anorganische-bindemittel/betone-mit-kunststoffen.pdf/download> [Stand: 09.06.2022, 12:06]
- Von Laar, C.; Lesnych, N.; Schomann, M. (2014):** *Forum Altbausanierung 9. 25 Jahre Feuchte und Altbausanierung, 25. Hanseatische Sanierungstage vom 30. Oktober bis 01. November 2014 im Ostseebad Heringsdorf/Usedom*, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-9309-0
- Von Laar, C.; Lesnych, N.; Schomann, M. (2015):** *Hydrophobierend wirkende Anti-Graffiti-Systeme: Ein Beitrag zur Bewertung neuartiger Bautenschutzsysteme, Teilprojekt der Hochschule Wismar, Abschlussbericht ZIM-Kooperationsprojekt*
- Weber, H. (2007):** *Wasseraufnahme von Baustoffen*, Herausgeber: KBB GmbH Ebersberg-Prof. Dr. Helmut Weber, online abrufbar unter: <https://docplayer.org/storage/48/23892959/1655196351/7Ar30Se-zMloghQlewQSEw/23892959.pdf> [Stand: 14.06.2022, 06:14]
- Weber, R. (2010):** *Guter Beton, Ratschläge für die richtige Betonherstellung*, 23. Auflage, Verlag Bau+Technik GmbH, ISBN 978-3-7640-0528-3
- Weber, R. (2019):** *Guter Beton, Ratschläge für die richtige Betonherstellung*, 25. Auflage, Verlag Bau+Technik GmbH, ISBN 978-3-7640-0631-0
- Weber, S. (2022):** *Betoninstandsetzung, Baustoff - Schadensfeststellung – Instandsetzung*, 3. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, ISBN 978-3-658-33946-3
- Weeber+Partner (2007):** *Weniger Bauschäden und Verschmutzung in Wohnanlagen: Was hilft ?, Kurzbericht zum Forschungsvorhaben*, Weeber+Partner Institut für Stadtplanung und Sozialforschung Stuttgart
- Werner, S. (2016):** *Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit*, APPLICA 3/2016, S. 12 – 17, online abrufbar unter: [https://www.applika.ch/applika/Archiv/Ausgaben/2016/16-03/03\\_16\\_Severin%20Werner\\_Bestimmung%20der%20Wasseraufnahmefahigkeit.pdf](https://www.applika.ch/applika/Archiv/Ausgaben/2016/16-03/03_16_Severin%20Werner_Bestimmung%20der%20Wasseraufnahmefahigkeit.pdf) [Stand: 29.03.2023, 17:19]
- Wesche, K. (1996):** *Baustoffe für tragende Bauteile, Band 1: Grundlagen*, Bauverlag GmbH, ISBN 3-7625-3283-4
- Weschpfennig von, D.; Kropf, A.; Witzhausen von, N. (2010):** *Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen: BASt-Reihe "Brückenbau" Band BASt-B-72, Carl Schünemann Verlag GmbH, ISBN: 978-3-86918-013-7
- Wittel, H.; Muhs, D.; Jannasch, D.; Voßiek, J. (2013):** *Roloff/Matek Maschinenelemente – Normung, Berechnung, Gestaltung; 21., vollständig überarbeitete Auflage*, Verlag: Springer Vieweg GmbH, ISBN 978-3-658-02326-3
- Xella (2018):** *Das Dämmbuch – Nachhaltig planen und dämmen*, Auflage 3, Broschüre, Herausgeber: Xella Deutschland GmbH, Stand 12/2018, SYT-001-00118/10.000/12.18
- Zheng, X.; Cai, Z.; Lyu, Z.; Chen, Y.; Ji, Y.a (2020):** *Synthesis of Si-containing macro-RAFT agent for the water-borne polyacrylate polyurethane with anti-graffiti coating applications*, Materials Today-Communications, Volume 25, online abrufbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101590> [Stand: 06.06.2022, 10:55]
- Zubielewicz, M.; Langer, E.; Nowicka-Nowak, M. (2021):** *Zależność właściwości anty-graffiti powłok lakierowych od swobodnej energii powierzchniowej*, Ochrona przed Korozją, ISSN 0473-7733, e-ISSN 2449-9501, online abrufbar unter: <https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-76bb36c3-a4bc-4321-8fb0-458bb21b320a> [Stand: 05.06.2022, 13:44]

## **DIN-Normen, sonstige Normen, Merkblätter**

Alle DIN-Normen, Merkblätter und Richtlinien wurden fortlaufend und vollumfänglich in den Fußnoten genannt und beschrieben und werden hier nicht gesondert aufgeführt.

## **Internetquellen und persönliche Kommunikation**

### **<sup>1</sup>ifg**

Institut für Graffiti-Forschung

[Online im Internet] URL: <http://www.graffitieuropa.org/definition1.htm>

[Stand: 24.11.2021, 09:22]

### **<sup>2</sup>GSS Dienstleistungs- & Service GmbH**

Michael Fischer

[Online im Internet] URL: <http://www.gss-dienstleistung.de/index.php?id=14>

[Stand: 29.12.2019, 19:03]

### **<sup>3</sup>mdrFRAGT: Graffiti – Vandalismus oder Kunst?**

Befragungszeitraum: 06.-10.11.2020

18.338 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Mitteldeutschland

[Online im Internet] URL: <https://www.mdr.de/nachrichten/mitmachen/mdrfragt/ergebnisse-graffiti-download-100.html> [Stand: 06.06.2022, 20:02]

### **<sup>4</sup>Polizeiliche Kriminalprävention der Länder und des Bundes (ProPK)**

Zentrale Geschäftsstelle Stuttgart

[Online im Internet] <https://www.polizei-beratung.de/themen-und-tipps/jugendkriminalitaet/illegale-graffiti/> [Stand: 07.06.2022, 07:33]

### **<sup>5</sup>t-online: Nachrichten für Deutschland**

[https://www.t-online.de/region/berlin/news/id\\_91789672/wohnungsbaugesellschaften-in-berlin-vandalismus-verursacht-schaeden-in-millionenhoeh.html](https://www.t-online.de/region/berlin/news/id_91789672/wohnungsbaugesellschaften-in-berlin-vandalismus-verursacht-schaeden-in-millionenhoeh.html) [Stand: 23.11.2022, 12:39]

### **<sup>6</sup>Rynekfarb.pl – neezalezna strona farb**

Krakow, Polska

[Online im Internet] URL: <https://www.rynekfarb.pl/koszty-usuwania-graffiti-na-swiecie/>

[Stand: 07.06.2022, 07:30]

### **<sup>7</sup>Blogo – T-Mediahouse P. IVAT**

Milano, Italien

[Online im Internet] URL: <https://www.blogo.it/post/4307/milano-100-milioni-per-cancellare-i-graffiti> [Stand: 07.06.2022, 08:33]

### **<sup>8</sup>El Mundo**

Unidad Editorial Información General, Madrid

[Online im Internet] URL: <https://www.elmundo.es/madrid/2019/09/01/5d6a92fafc6c83ee4c8b4571.html> [Stand: 07.06.2022, 07:36]

### **<sup>9</sup>Nikolai Odebralski**

Rechtsanwalt und Strafverteidiger

[Online im Internet] URL: <https://www.rechtsanwalt-graffiti.nrw/startseite/>

[Stand: 27.06.2022, 11:23]

### **<sup>10</sup>Hopes&Fears**

Contact: [tips@hopesandfears.com](mailto:tips@hopesandfears.com)

[Online im Internet] URL: [http://www.hopesandfears.com/hopes/city/city\\_index/168925-penalties-for-graffiti](http://www.hopesandfears.com/hopes/city/city_index/168925-penalties-for-graffiti) [Stand: 27.06.2022, 11:31]

<sup>11</sup>**NewPro - Neue Produkte und innovative Ideen für Oberflächen**

Lutz-Henning Robitzsch

[Online im Internet] URL: <https://www.newpro.de/graffitivortrag.html>

[Stand: 24.02.2022, 18:02]

<sup>12</sup>**Impleco GmbH**

Florian Fischer, Nico Lanzer

[Online im Internet] URL: <https://wohnglueck.de/artikel/graffiti-entfernung-44018>

[Stand: 10.03.2022, 13:50]

<sup>13</sup>**Rundfunk Berlin-Brandenburg (rbb)**

Anstalt des öffentlichen Rechts

Intendantin Dr. Katrin Vernau

Sendung des rbb 88.8 vom 28.10.2022 10:00 Uhr

[Online im Internet] URL: <https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2022/10/graffiti-mikroplastik-belastung-boden-fu-berlin-studie.html> [Stand: 24.04.2023, 19:12]

<sup>14</sup>**DESTATIS - Statistisches Bundesamt**

vertreten durch den Präsidenten Dr. Georg Thiel

[Online im Internet] URL: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21\\_N044\\_61.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/07/PD21_N044_61.html) [Stand: 23.08.2022, 08:29]

<sup>15</sup>**bast - Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brückenstatistik 09/2021

[Online im Internet] URL: [https://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf%3F\\_\\_blob%3DpublicationFile%26v%3D7](https://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D7) [Stand: 22.08.2022, 15:29]

<sup>16</sup>**InformationsZentrum Beton GmbH**

Wie laut ist leise? – Schutz gegen Lärm

[Online im Internet] URL: <https://www.beton.org/service/bauherren-informationen/eigenschaften/schallschutz/> [Stand: 22.08.2022, 15:32]

<sup>36</sup>**about:publishing GmbH**

Thomas Loeffelholz, Nils Hagelstein

[Online im Internet] URL: <https://www.hausjournal.net/betonguete>

[Stand: 01.03.2022, 12:55]

<sup>58</sup>**Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.**

Dirk Schilling, Udo Ernst

[Online im Internet] URL: <https://www.anti-graffiti-verein.de/anti-graffiti-systeme-ags/>

[Stand: 10.06.2022, 14:24]

<sup>63</sup>**Gütegemeinschaft Anti-Graffiti e.V.**

Dirk Schilling, Udo Ernst

[Online im Internet] URL: <https://www.anti-graffiti-verein.de/sonderapplikation/>

[Stand: 16.03.2022, 11:59]

<sup>68</sup>**Anti-Graffiti-Akademie**

Labor Dr. Kupfer

[Online im Internet] URL: <https://anti-graffiti-akademie.de/prophylaxe/auswahlkriterien-fuer-ags/> [Stand: 16.03.2022, 15:46]

<sup>80</sup>**Anti-Graffiti-Akademie**

Labor Dr. Kupfer

[Online im Internet] URL: <https://anti-graffiti-akademie.de/reinigung/beschmierung/>

[Stand: 16.05.2022, 12:35]

<sup>81</sup>**Graffitibox Shop**

Simone Böhme-Wenzel, Dennis Thimm, Horst Wenzel GbR

[Online im Internet] URL: <https://graffitibox.de/faq-s#> [Stand: 16.05.2022, 13:44]

<sup>82</sup>**Colour Clean Berlin GmbH**

Holm Draber

[Online im Internet] URL: <https://www.colourclean.de/graffitibeseitigung/graffitischutz-ja-oder-nein/> [Stand: 08.03.2022, 14:15]

<sup>87</sup>**Heeß, S.:** Dyckerhoff GmbH, Vertrieb Weisszement / CSA-Zement, 65203 Wiesbaden, persönliche Kommunikation am 14.09.2017 auf der NordBauMesse Neumünster

<sup>88</sup>**Schwab, H.:** Schwab-Stein GmbH Betonsteinwerk, 72160 Horb am Neckar , persönliche Kommunikation per Telefon am 31.05.2016

<sup>89</sup>**Schwab, H.:** Schwab-Stein GmbH Betonsteinwerk, 72160 Horb am Neckar, persönliche Kommunikation am 19.02.2019 bei den 63. BetonTagen in Neu-Ulm

<sup>90</sup>**Lithonplus GmbH & Co. KG**

Produktdatenblatt L-TEC Mauerscheibe

[Online im Internet] URL: [https://www.lithon.de/Website/Downloads/Broschueren\\_Dokumente/LP\\_L-TEC\\_Systemwinkel.pdf](https://www.lithon.de/Website/Downloads/Broschueren_Dokumente/LP_L-TEC_Systemwinkel.pdf) [Stand: 11.06.2022, 15:44]

<sup>91</sup>**Brombach, R.:** Gebietsleiter Vertrieb bei Lithonplus GmbH & Co. KG, persönliche Kommunikation per Telefon am 24.05.2018

<sup>92</sup>**Haroske, G.:** Kompetenzzentrum Bau Mecklenburg-Vorpommern (KBauMV), 23966 Wismar, persönliche Kommunikation vor Ort (Einsicht in den Untersuchungsbericht: Faserverstärkte Mauerscheiben“ für die Firma Lithonplus GmbH & Co. KG) am 25.02.2019

<sup>95</sup>**EHL AG**

Produktdatenblatt Gehwegplatten

[Online im Internet] URL: <https://www.ehl.de/download/dokument/EHL-Datenblatt-Gehwegplatten.pdf> [Stand: 11.06.2022, 15:47]

<sup>97</sup>**BauFachZentrum Holthusen:** NL der BauFachZentrum Falkenhagen GmbH, Bereitstellung der Prüfkörper U5 (Beton-Gehwegplatten) und Zuschnitt

<sup>98</sup>**Fröschke, V.:** Technischer Berater Region Berlin u. Nord-Ost Scheidel GmbH & Co. KG, 96114 Hirschaid, persönliche Kommunikation (Austauschgespräch) vor Ort an der Hochschule Wismar am 18.10.2018

<sup>106</sup>**Dr. Bruno Lange GmbH & Co. KG**

Möller-Kemsa

Messung der gerichteten Reflexion an Oberflächen

[Online im Internet] URL: <http://docplayer.org/110804198-Messung-der-gerichteten-reflexion-an-oberflaechen.html> [Stand: 08.05.2022, 11:52]

<sup>108</sup>**Coating.de**

Vincent Walstra

[Online im Internet] URL: <https://www.coating.de/glanzmessgeraet/> [Stand: 20.05.2022, 10:15]

<sup>130</sup>**nanoAnalytics GmbH**

Labor für Kontaktwinkelmessungen

[Online im Internet] URL: <https://www.nanoanalytics.com/de/auftragsanalytik/analysemethoden/kontaktwinkelkontakt.html> [Stand: 24.02.2022, 14:22]

<sup>131</sup>**WOTech GbR**

Charlotte Schade, Herbert Käszmann

Fachinformationen aus den Bereichen Werkstoff und Oberfläche sowie Bauteil- und Oberflächenreinigung in der Prozesskette

[Online im Internet] URL: [https://www.wotech-technical-media.de/elearning-detail.php?post\\_id=8818&cat\\_id=](https://www.wotech-technical-media.de/elearning-detail.php?post_id=8818&cat_id=) [Stand: 24.02.2022, 15:37]

<sup>141</sup>**CNC Blog – precifast**

Anton Saenger

Kontakt: [info@precifast.de](mailto:info@precifast.de)

[Online im Internet] URL: <https://www.precifast.de/oberflaechenrauheit-oberflaechenangabezeichnungen/> [Stand: 16.05.2022, 14:59]

<sup>151</sup>**Testo SE & Co. KGaA**

Aufsichtsratsvorsitzender: Jürgen Hinn

[Online im Internet] URL: <https://www.testo.com/de-DE/testo-110/p/0560-1108>  
[Stand: 21.05.2022, 19:44]

<sup>153</sup>**DeFelsko Corporation - USA**

Kontakt: [techsale@defelsko.com](mailto:techsale@defelsko.com)

[Online im Internet] URL: <https://de.defelsko.com/positector-200>  
[Stand 16.06.2022, 10:33]

<sup>162</sup>**Baustoff-Prüfsysteme Wennigsen GmbH**

Geschäftsführer: Andreas Freundl

Kontakt: [freundl@bps-wennigsen.com](mailto:freundl@bps-wennigsen.com)

Bedienungsanleitung: Josef Freundl Easy-M Haftzugprüfgerät

<sup>165</sup>**Landwetter.info**

Landwetter Reinstorf – Mecklenburg-Vorpommern

Detlef Albrecht

[Online im Internet] URL: [https://www.landwetter.info/index.php?option=com\\_content&view=article&id=83&Itemid=486](https://www.landwetter.info/index.php?option=com_content&view=article&id=83&Itemid=486) [Stand: 18.05.2022, 20:02]

<sup>166</sup>**Wetterstation der Hochschule Wismar**

Herausgeberin: Hochschule Wismar,

University of Applied Sciences Technology, Business and Design

vertreten durch den Rektor Prof. Dr. jur. Bodo Wiegand-Hoffmeister

[Online im Internet] URL: <http://redirect.fiw.hs-wismar.de/wetter/>  
[Stand: 24.02.2022, 15:37]

<sup>167</sup>**Deutscher Wetterdienst**

Verantwortlich: Alexandros Bouras

[Online im Internet] URL: [https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20211230\\_deutschlandwetter\\_jahr2021\\_news.html](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20211230_deutschlandwetter_jahr2021_news.html)  
[Stand: 08.03.2022, 14:15]

<sup>196</sup>**WEKA Media GmbH & Co. KG**

Verantwortlich: Alexander Prestele

[Online im Internet] URL: <https://www.weka.de/architekten-ingenieure/wasserundurchlaessiger-wu-beton/> [Stand: 29.04.2023, 14:57]

## 9 Anhang

<b>1. EINSATZ DER ENTWICKELTEN METHODIK .....</b>	<b>204</b>
1.1 Stufe I: Prüfkörper im Originalzustand .....	204
1.2 Stufe II: Herstellung der Prüfflächen.....	205
1.3 Stufe IV: Natürliche Freibewitterung.....	208
1.4 Stufe V: Farbauftrag.....	213
<b>2. ERGEBNISSE STUFE I: PRÜFKÖRPER IM ORIGINALZUSTAND .....</b>	<b>217</b>
2.1 Kubatur und Rohdichte.....	217
2.2 Druckfestigkeit .....	220
2.3 Visuelle Begutachtung.....	220
2.4 Glanz .....	221
2.5 Helligkeit.....	222
2.6 Benetzungswinkel.....	223
2.7 Rauheit.....	224
2.8 Wasseraufnahmekoeffizient .....	225
<b>3. STUFE III: NACH AUFTRAG AGS – VOR BEWITTERUNG .....</b>	<b>226</b>
3.1 Schichtdicke.....	226
3.2 Visuelle Begutachtung.....	227
3.3 Glanz .....	229
3.4 Helligkeit.....	230
3.5 Benetzungswinkel.....	230
3.6 Rauheit.....	231
3.7 Wasseraufnahmekoeffizient .....	231
3.8 Abreißfestigkeit.....	233
<b>4. ERGEBNISSE STUFE VII: NACH BEWITTERUNG UND REINIGUNG .....</b>	<b>234</b>
4.1 Schichtdicke.....	234
4.2 Visuelle Begutachtung.....	235

<b>4.3</b>	<b>Glanz</b> .....	<b>238</b>
<b>4.4</b>	<b>Helligkeit</b> .....	<b>239</b>
<b>4.5</b>	<b>Benetzungswinkel</b> .....	<b>243</b>
<b>4.6</b>	<b>Rauheit</b> .....	<b>245</b>
<b>4.7</b>	<b>Wasseraufnahmekoeffizient</b> .....	<b>246</b>
<b>5.</b>	<b>STUFE VIII: ABSCHLUSSUNTERSUCHUNGEN NACH 8 ZYKLEN</b> .....	<b>247</b>
<b>5.1</b>	<b>Visuelle Begutachtung</b> .....	<b>247</b>
<b>5.2</b>	<b>Abreißfestigkeit</b> .....	<b>251</b>

## 1. Einsatz der entwickelten Methodik

### 3.1 Stufe I: Prüfkörper im Originalzustand

Druckfestigkeit: Abmessungen der Würfelproben

Untergrund	Probennummer	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Fläche [mm <sup>2</sup> ]	Masse [g]
U1	U1/1	48,50	51,30	41,60	2488,05	246,80
	U1/2	49,40	48,80	43,10	2410,72	239,50
	U1/3	49,70	48,30	42,20	2400,51	241,60
U2	U2/1	45,80	44,00	39,90	2015,20	192,90
	U2/2	43,40	45,20	40,80	1961,68	189,50
	U2/3	44,10	45,60	39,60	2010,96	192,30
U3	U3/1	46,00	44,90	39,70	2065,40	198,70
	U3/2	45,40	45,00	40,00	2043,00	195,60
	U3/3	44,90	45,00	39,70	2020,50	196,00
U4	U4/1	41,50	47,70	35,40	1979,55	164,10
	U4/2	48,30	43,60	37,70	2105,88	183,00
	U4/3	44,40	49,50	39,40	2197,80	199,00
U5	U5/1	46,20	45,80	51,20	2115,96	245,00
	U5/2	46,10	46,20	50,70	2129,82	247,60
	U5/3	45,80	47,70	50,80	2184,66	253,60
U6	U6/1	45,10	45,40	20,60	2047,54	89,00
	U6/2	45,90	45,20	20,60	2074,68	89,70
	U6/3	46,50	46,30	21,60	2152,95	97,60

### 3.2 Stufe II: Herstellung der Prüfflächen

#### Oberflächentemperatur

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	OF-Temperatur [°C]			MW	Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	OF-Temperatur [°C]			MW
			Messwert							Messwert			
			1	2	3					1	2	3	
U1	NP mit AGS ohne Reinigung	U1-N-A1-1	21,10	21,20	21,30	20,29	NP mit AGS ohne Reinigung	U4-N-A1-1	21,00	21,00	21,20	20,08	
		U1-N-A1-2	21,10	21,30	21,30			U4-N-A1-2	20,90	21,00	21,20		
		U1-N-A2-1	20,70	20,70	20,70			U4-N-A2-1	20,30	20,30	20,30		
		U1-N-A2-2	20,70	20,70	20,70			U4-N-A2-2	20,10	20,20	20,30		
		U1-N-A3-1	19,90	19,90	19,90			U4-N-A3-1	19,70	19,70	19,70		
		U1-N-A3-2	19,90	19,90	19,90			U4-N-A3-2	19,70	19,70	19,70		
		U1-N-A4-1	19,00	19,60	19,50			U4-N-A4-1	19,60	19,50	19,50		
	U1-N-A4-2	19,00	19,60	19,50	U4-N-A4-2		19,60	19,50	19,50				
	Untergrund mit AGS + Reinigung	U1-A1-R1-1	21,10	21,40	21,40		20,08	Untergrund mit AGS + Reinigung	U4-A1-R1-1	20,80	20,90		21,00
		U1-A1-R1-2	21,20	21,40	21,40				U4-A1-R1-2	20,80	20,80		20,90
		U1-A1-R1-3	21,20	21,40	21,50				U4-A1-R1-3	21,00	20,80		20,90
		U1-A2-R2-1	20,70	20,70	20,70				U4-A2-R2-1	20,10	20,20		20,30
		U1-A2-R2-2	20,70	20,70	20,70				U4-A2-R2-2	20,10	20,20		20,30
		U1-A2-R2-3	20,70	20,70	20,70				U4-A2-R2-3	20,10	20,20		20,30
		U1-A3-R3-1	19,90	19,90	19,90				U4-A3-R3-1	19,70	19,70		19,70
		U1-A3-R3-2	19,90	19,90	19,90				U4-A3-R3-2	19,70	19,70		19,70
		U1-A3-R3-3	19,90	19,90	19,90				U4-A3-R3-3	19,70	19,70		19,70
		U1-A4-R4-1	19,00	19,80	19,50				U4-A4-R4-1	19,60	19,50		19,50
U1-A4-R4-2		19,00	19,60	19,50	U4-A4-R4-2	19,60			19,50	19,50			
U1-A4-R4-3	19,00	19,60	19,50	U4-A4-R4-3	19,60	19,50	19,50						
U2	NP mit AGS ohne Reinigung	U2-N-A1-1	21,00	21,20	21,40	20,27	NP mit AGS ohne Reinigung	U5-N-A1-1	21,20	21,10	21,20	20,22	
		U2-N-A1-2	21,00	21,20	21,30			U5-N-A1-2	21,20	21,20	21,20		
		U2-N-A2-1	20,60	20,60	20,60			U5-N-A2-1	20,30	20,40	20,40		
		U2-N-A2-2	20,50	20,50	20,60			U5-N-A2-2	20,30	20,40	20,40		
		U2-N-A3-1	19,80	19,90	19,90			U5-N-A3-1	19,80	19,80	19,80		
		U2-N-A3-2	19,80	19,90	19,90			U5-N-A3-2	19,80	19,80	19,80		
		U2-N-A4-1	19,90	19,50	19,40			U5-N-A4-1	19,60	19,50	19,50		
	U2-N-A4-2	19,90	19,50	19,40	U5-N-A4-2		19,60	19,50	19,50				
	Untergrund mit AGS + Reinigung	U2-A1-R1-1	20,90	21,10	21,30		20,22	Untergrund mit AGS + Reinigung	U5-A1-R1-1	21,10	21,20		21,20
		U2-A1-R1-2	20,90	21,00	21,30				U5-A1-R1-2	21,10	21,20		21,30
		U2-A1-R1-3	21,00	21,00	21,20				U5-A1-R1-3	21,10	21,20		21,40
		U2-A2-R2-1	20,50	20,50	20,60				U5-A2-R2-1	20,30	20,40		20,40
		U2-A2-R2-2	20,50	20,50	20,60				U5-A2-R2-2	20,30	20,40		20,40
		U2-A2-R2-3	20,30	20,50	20,60				U5-A2-R2-3	20,30	20,40		20,40
		U2-A3-R3-1	19,80	19,90	19,90				U5-A3-R3-1	19,80	19,80		19,80
		U2-A3-R3-2	19,80	19,90	19,90				U5-A3-R3-2	19,80	19,80		19,80
		U2-A3-R3-3	19,80	19,90	19,90				U5-A3-R3-3	19,80	19,80		19,80
		U2-A4-R4-1	19,90	19,50	19,40				U5-A4-R4-1	19,60	19,80		19,80
U2-A4-R4-2		19,90	19,50	19,40	U5-A4-R4-2	19,60			19,50	19,50			
U2-A4-R4-3	19,90	19,50	19,40	U5-A4-R4-3	19,60	19,50	19,50						
U3	NP mit AGS ohne Reinigung	U3-N-A1-1	21,10	21,10	21,30	20,34	NP mit AGS ohne Reinigung	U6-N-A1-1	20,20	20,30	20,30	19,99	
		U3-N-A1-2	21,20	21,20	21,30			U6-N-A1-2	20,20	20,30	20,30		
		U3-N-A2-1	20,40	20,60	20,60			U6-N-A2-1	20,10	20,30	20,30		
		U3-N-A2-2	20,50	20,60	20,60			U6-N-A2-2	20,10	20,30	20,30		
		U3-N-A3-1	19,90	20,00	19,90			U6-N-A3-1	19,90	19,80	19,80		
		U3-N-A3-2	19,90	20,00	19,90			U6-N-A3-2	19,80	19,80	19,60		
		U3-N-A4-1	19,90	19,50	19,50			U6-N-A4-1	19,60	19,80	19,80		
	U3-N-A4-2	19,90	19,50	19,50	U6-N-A4-2		19,60	19,80	19,80				
	Untergrund mit AGS + Reinigung	U3-A1-R1-1	21,20	21,20	21,30		19,99	Untergrund mit AGS + Reinigung	U6-A1-R1-1	20,20	20,30		20,30
		U3-A1-R1-2	21,10	21,20	21,30				U6-A1-R1-2	20,20	20,30		20,30
		U3-A1-R1-3	21,10	21,20	21,40				U6-A1-R1-3	20,10	20,30		20,30
		U3-A2-R2-1	20,50	20,60	20,60				U6-A2-R2-1	20,20	20,30		20,30
		U3-A2-R2-2	20,50	20,60	20,60				U6-A2-R2-2	20,20	20,30		20,30
		U3-A2-R2-3	20,50	20,60	20,60				U6-A2-R2-3	20,10	20,30		20,30
		U3-A3-R3-1	19,90	20,00	19,90				U6-A3-R3-1	19,80	19,90		19,90
		U3-A3-R3-2	19,90	20,00	19,90				U6-A3-R3-2	19,60	19,80		19,80
		U3-A3-R3-3	19,90	20,00	19,90				U6-A3-R3-3	19,80	19,60		19,80
		U3-A4-R4-1	19,90	19,50	19,50				U6-A4-R4-1	19,70	19,80		19,60
U3-A4-R4-2		19,90	19,50	19,50	U6-A4-R4-2	19,60			19,80	19,80			
U3-A4-R4-3	19,90	19,50	19,50	U6-A4-R4-3	19,80	19,80	19,70						

Oberflächenfeuchte

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	OF-Feuchte [Gew.-%]				Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	OF-Feuchte [Gew.-%]			
			Messwert			MW				Messwert			MW
			1	2	3					1	2	3	
U1	NP mit AGS ohne Reinigung	U1-N-A1-1	0,00	0,00	0,00	0,00	NP mit AGS ohne Reinigung	U4-N-A1-1	0,01	0,01	0,01	0,01	
		U1-N-A1-2	0,00	0,00	0,00			U4-N-A1-2	0,01	0,01	0,01		
		U1-N-A2-1	0,00	0,00	0,00			U4-N-A2-1	0,01	0,01	0,01		
		U1-N-A2-2	0,00	0,00	0,00			U4-N-A2-2	0,01	0,01	0,01		
		U1-N-A3-1	0,00	0,00	0,00			U4-N-A3-1	0,01	0,01	0,01		
		U1-N-A3-2	0,00	0,00	0,00			U4-N-A3-2	0,01	0,01	0,01		
		U1-N-A4-1	0,00	0,00	0,00			U4-N-A4-1	0,01	0,01	0,01		
	U1-N-A4-2	0,00	0,00	0,00	U4-N-A4-2		0,01	0,01	0,01				
	Untergrund mit AGS + Reinigung	U1-A1-R1-1	0,00	0,00	0,00		U4-A1-R1-1	0,01	0,01	0,01			
		U1-A1-R1-2	0,00	0,00	0,00		U4-A1-R1-2	0,01	0,01	0,01			
		U1-A1-R1-3	0,00	0,00	0,00		U4-A1-R1-3	0,01	0,01	0,01			
		U1-A2-R2-1	0,00	0,00	0,00		U4-A2-R2-1	0,01	0,01	0,01			
		U1-A2-R2-2	0,00	0,00	0,00		U4-A2-R2-2	0,01	0,01	0,01			
		U1-A2-R2-3	0,00	0,00	0,00		U4-A2-R2-3	0,01	0,01	0,01			
		U1-A3-R3-1	0,00	0,00	0,00		U4-A3-R3-1	0,01	0,01	0,01			
		U1-A3-R3-2	0,00	0,00	0,00		U4-A3-R3-2	0,01	0,01	0,01			
		U1-A3-R3-3	0,00	0,00	0,00		U4-A3-R3-3	0,01	0,01	0,01			
		U1-A4-R4-1	0,00	0,00	0,00		U4-A4-R4-1	0,01	0,01	0,01			
U1-A4-R4-2		0,00	0,00	0,00	U4-A4-R4-2	0,01	0,01	0,01					
U1-A4-R4-3	0,00	0,00	0,00	U4-A4-R4-3	0,01	0,01	0,01						
U2	NP mit AGS ohne Reinigung	U2-N-A1-1	0,00	0,00	0,00	0,00	NP mit AGS ohne Reinigung	U5-N-A1-1	0,10	0,10	0,10	0,10	
		U2-N-A1-2	0,00	0,00	0,00			U5-N-A1-2	0,10	0,10	0,10		
		U2-N-A2-1	0,00	0,00	0,00			U5-N-A2-1	0,10	0,10	0,10		
		U2-N-A2-2	0,00	0,00	0,00			U5-N-A2-2	0,10	0,10	0,10		
		U2-N-A3-1	0,00	0,00	0,00			U5-N-A3-1	0,10	0,10	0,10		
		U2-N-A3-2	0,00	0,00	0,00			U5-N-A3-2	0,10	0,10	0,10		
		U2-N-A4-1	0,00	0,00	0,00			U5-N-A4-1	0,10	0,10	0,10		
	U2-N-A4-2	0,00	0,00	0,00	U5-N-A4-2		0,10	0,10	0,10				
	Untergrund mit AGS + Reinigung	U2-A1-R1-1	0,00	0,00	0,00		U5-A1-R1-1	0,10	0,10	0,10			
		U2-A1-R1-2	0,00	0,00	0,00		U5-A1-R1-2	0,10	0,10	0,10			
		U2-A1-R1-3	0,00	0,00	0,00		U5-A1-R1-3	0,10	0,10	0,10			
		U2-A2-R2-1	0,00	0,00	0,00		U5-A2-R2-1	0,10	0,10	0,10			
		U2-A2-R2-2	0,00	0,00	0,00		U5-A2-R2-2	0,10	0,10	0,10			
		U2-A2-R2-3	0,00	0,00	0,00		U5-A2-R2-3	0,10	0,10	0,10			
		U2-A3-R3-1	0,00	0,00	0,00		U5-A3-R3-1	0,10	0,10	0,10			
		U2-A3-R3-2	0,00	0,00	0,00		U5-A3-R3-2	0,10	0,10	0,10			
		U2-A3-R3-3	0,00	0,00	0,00		U5-A3-R3-3	0,10	0,10	0,10			
		U2-A4-R4-1	0,00	0,00	0,00		U5-A4-R4-1	0,10	0,10	0,10			
U2-A4-R4-2		0,00	0,00	0,00	U5-A4-R4-2	0,10	0,10	0,10					
U2-A4-R4-3	0,00	0,00	0,00	U5-A4-R4-3	0,10	0,10	0,10						
U3	NP mit AGS ohne Reinigung	U3-N-A1-1	0,10	0,10	0,10	0,10	NP mit AGS ohne Reinigung	U6-N-A1-1	0,10	0,10	0,10	0,10	
		U3-N-A1-2	0,10	0,10	0,10			U6-N-A1-2	0,10	0,10	0,10		
		U3-N-A2-1	0,10	0,10	0,10			U6-N-A2-1	0,10	0,10	0,10		
		U3-N-A2-2	0,10	0,10	0,10			U6-N-A2-2	0,10	0,10	0,10		
		U3-N-A3-1	0,10	0,10	0,10			U6-N-A3-1	0,10	0,10	0,10		
		U3-N-A3-2	0,10	0,10	0,10			U6-N-A3-2	0,10	0,10	0,10		
		U3-N-A4-1	0,10	0,10	0,10			U6-N-A4-1	0,10	0,10	0,10		
	U3-N-A4-2	0,10	0,10	0,10	U6-N-A4-2		0,10	0,10	0,10				
	Untergrund mit AGS + Reinigung	U3-A1-R1-1	0,10	0,10	0,10		U6-A1-R1-1	0,10	0,10	0,10			
		U3-A1-R1-2	0,10	0,10	0,10		U6-A1-R1-2	0,10	0,10	0,10			
		U3-A1-R1-3	0,10	0,10	0,10		U6-A1-R1-3	0,10	0,10	0,10			
		U3-A2-R2-1	0,10	0,10	0,10		U6-A2-R2-1	0,10	0,10	0,10			
		U3-A2-R2-2	0,10	0,10	0,10		U6-A2-R2-2	0,10	0,10	0,10			
		U3-A2-R2-3	0,10	0,10	0,10		U6-A2-R2-3	0,10	0,10	0,10			
		U3-A3-R3-1	0,10	0,10	0,10		U6-A3-R3-1	0,10	0,10	0,10			
		U3-A3-R3-2	0,10	0,10	0,10		U6-A3-R3-2	0,10	0,10	0,10			
		U3-A3-R3-3	0,10	0,10	0,10		U6-A3-R3-3	0,10	0,10	0,10			
		U3-A4-R4-1	0,10	0,10	0,10		U6-A4-R4-1	0,10	0,10	0,10			
U3-A4-R4-2		0,10	0,10	0,10	U6-A4-R4-2	0,10	0,10	0,10					
U3-A4-R4-3	0,10	0,10	0,10	U6-A4-R4-3	0,10	0,10	0,10						

## Applikation der AGS: Verbrauch

AGS	Untergrund	Probennummer	Verbrauch [ml/m <sup>2</sup> ]				AGS	Untergrund	Probennummer	Verbrauch [ml/m <sup>2</sup> ]			
			gewogen	MW	s	techn. Merkblatt				gewogen	MW	s	techn. Merkblatt
AGS1	U1	U1-N-A1-1	141,33	141,07	0,36	150-250ml/m <sup>2</sup> Abweichung je nach Saugverhalten möglich	U1	U1-N-A2-1	122,67	122,60	0,49		
		U1-N-A1-2	140,67					U1-N-A2-2	122,67				
		U1-A1-R1-1	140,67					U1-A2-R2-1	123,33				
		U1-A1-R1-2	141,33					U1-A2-R2-2	122,00				
		U1-A1-R1-3	141,33					U1-A2-R2-3	122,33				
	U2	U2-N-A1-1	108,33	108,87	0,51		U2	U2-N-A2-1	100,00	100,47	0,30		
		U2-N-A1-2	109,67					U2-N-A2-2	100,67				
		U2-A1-R1-1	108,67					U2-A2-R2-1	100,67				
		U2-A1-R1-2	109,00					U2-A2-R2-2	100,67				
		U2-A1-R1-3	108,67					U2-A2-R2-3	100,33				
	U3	U3-N-A1-1	189,33	205,13	15,77		U3	U3-N-A2-1	193,33	191,07	16,15		
		U3-N-A1-2	229,67					U3-N-A2-2	170,67				
		U3-A1-R1-1	210,67					U3-A2-R2-1	185,33				
		U3-A1-R1-2	195,67					U3-A2-R2-2	215,33				
		U3-A1-R1-3	200,33					U3-A2-R2-3	190,67				
	U4	U4-N-A1-1	150,33	150,87	0,45		U4	U4-N-A2-1	133,33	134,07	0,55		
		U4-N-A1-2	151,33					U4-N-A2-2	134,67				
		U4-A1-R1-1	151,33					U4-A2-R2-1	134,33				
		U4-A1-R1-2	150,67					U4-A2-R2-2	134,33				
		U4-A1-R1-3	150,67					U4-A2-R2-3	133,67				
	U5	U5-N-A1-1	284,33	266,20	17,95		U5	U5-N-A2-1	272,33	261,75	14,58		
		U5-N-A1-2	265,00					U5-N-A2-2	245,33				
		U5-A1-R1-1	270,67					U5-A2-R2-1	250,76				
		U5-A1-R1-2	236,67					U5-A2-R2-2	260,00				
U5-A1-R1-3		274,33	U5-A2-R2-3			280,33							
U6	U6-N-A1-1	322,00	325,20	14,84	U6	U6-N-A2-1	229,33	236,47	16,01				
	U6-N-A1-2	313,33				U6-N-A2-2	230,67						
	U6-A1-R1-1	345,67				U6-A2-R2-1	242,33						
	U6-A1-R1-2	310,33				U6-A2-R2-2	261,00						
	U6-A1-R1-3	334,67				U6-A2-R2-3	219,00						

AGS	Untergrund	Probennummer	Verbrauch [ml/m <sup>2</sup> ]				AGS	Untergrund	Probennummer	Verbrauch [ml/m <sup>2</sup> ]			
			gewogen	MW	s	techn. Merkblatt				gewogen	MW	s	techn. Merkblatt
AGS3	U1	U1-N-A3-1	169,33	169,13	0,30	140-180ml/m <sup>2</sup> Abweichung je nach Saugverhalten möglich	U1	U1-N-A4-1	198,00	198,27	0,28		
		U1-N-A3-2	168,67					U1-N-A4-2	198,00				
		U1-A3-R3-1	169,00					U1-A4-R4-1	198,33				
		U1-A3-R3-2	169,33					U1-A4-R4-2	198,67				
		U1-A3-R3-3	169,33					U1-A4-R4-3	198,33				
	U2	U2-N-A3-1	158,33	158,73	0,43		U2	U2-N-A4-1	193,33	193,00	0,33		
		U2-N-A3-2	158,67					U2-N-A4-2	192,67				
		U2-A3-R3-1	159,33					U2-A4-R4-1	193,00				
		U2-A3-R3-2	159,00					U2-A4-R4-2	193,33				
		U2-A3-R3-3	158,33					U2-A4-R4-3	192,67				
	U3	U3-N-A3-1	226,00	223,07	7,94		U3	U3-N-A4-1	321,33	310,27	10,21		
		U3-N-A3-2	210,33					U3-N-A4-2	300,67				
		U3-A3-R3-1	220,67					U3-A4-R4-1	308,67				
		U3-A3-R3-2	228,33					U3-A4-R4-2	320,33				
		U3-A3-R3-3	230,00					U3-A4-R4-3	300,33				
	U4	U4-N-A3-1	153,33	153,13	0,51		U4	U4-N-A4-1	200,33	200,13	0,45		
		U4-N-A3-2	152,33					U4-N-A4-2	200,67				
		U4-A3-R3-1	153,00					U4-A4-R4-1	199,67				
		U4-A3-R3-2	153,33					U4-A4-R4-2	200,33				
		U4-A3-R3-3	153,67					U4-A4-R4-3	199,67				
	U5	U5-N-A3-1	206,00	209,93	6,77		U5	U5-N-A4-1	266,33	280,73	9,67		
		U5-N-A3-2	216,33					U5-N-A4-2	286,00				
		U5-A3-R3-1	200,67					U5-A4-R4-1	285,33				
		U5-A3-R3-2	216,33					U5-A4-R4-2	275,67				
U5-A3-R3-3		210,33	U5-A4-R4-3			290,33							
U6	U6-N-A3-1	228,67	232,67	8,50	U6	U6-N-A4-1	299,67	308,40	12,34				
	U6-N-A3-2	222,00				U6-N-A4-2	320,33						
	U6-A3-R3-1	242,33				U6-A4-R4-1	298,00						
	U6-A3-R3-2	230,00				U6-A4-R4-2	300,67						
	U6-A3-R3-3	240,33				U6-A4-R4-3	323,33						

### 3.3 Stufe IV: Natürliche Freibewitterung

#### Bewitterungs- und Reinigungszyklen

1. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	30.01.2019	24.04.2019	12	Nord
NP U4-U6	13.02.2019	08.05.2019	12	
AGS 1 - R 1	27.02.2019	22.05.2019	12	
AGS 2 - R 2	13.03.2019	05.06.2019	12	
AGS 3 - R 3	27.03.2019	19.06.2019	12	
AGS 4 - R 4	10.04.2019	03.07.2019	12	
2. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	08.05.2019	28.08.2019	16	Süd
NP U4-U6	22.05.2019	11.09.2019	16	
AGS 1 - R 1	05.06.2019	25.09.2019	16	
AGS 2 - R 2	19.06.2019	09.10.2019	16	
AGS 3 - R 3	03.07.2019	23.10.2019	16	
AGS 4 - R 4	17.07.2019	06.11.2019	16	
3. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	11.09.2019	04.12.2019	12	Nord
NP U4-U6	25.09.2019	18.12.2019	12	
AGS 1 - R 1	09.10.2019	01.01.2020	12	
AGS 2 - R 2	23.10.2019	15.01.2020	12	
AGS 3 - R 3	06.11.2019	29.01.2020	12	
AGS 4 - R 4	20.11.2019	12.02.2020	12	
4. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	18.12.2019	25.03.2020	14	Süd
NP U4-U6	01.01.2020	08.04.2020	14	
AGS 1 - R 1	15.01.2020	22.04.2020	14	
AGS 2 - R 2	29.01.2020	06.05.2020	14	
AGS 3 - R 3	12.02.2020	20.05.2020	14	
AGS 4 - R 4	26.02.2020	03.06.2020	14	

1. Reinigungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung		
NP U1-U3	24.04.2019	08.05.2019	2	Nord
NP U4-U6	08.05.2019	22.05.2019	2	
AGS 1 - R 1	22.05.2019	05.06.2019	2	
AGS 2 - R 2	05.06.2019	19.06.2019	2	
AGS 3 - R 3	19.06.2019	03.07.2019	2	
AGS 4 - R 4	03.07.2019	17.07.2019	2	
2. Reinigungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung		
NP U1-U3	28.08.2019	11.09.2019	2	Süd
NP U4-U6	11.09.2019	25.09.2019	2	
AGS 1 - R 1	25.09.2019	09.10.2019	2	
AGS 2 - R 2	09.10.2019	23.10.2019	2	
AGS 3 - R 3	23.10.2019	06.11.2019	2	
AGS 4 - R 4	06.11.2019	20.11.2019	2	
3. Reinigungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung		
NP U1-U3	04.12.2019	18.12.2019	2	Nord
NP U4-U6	18.12.2019	01.01.2020	2	
AGS 1 - R 1	01.01.2020	15.01.2020	2	
AGS 2 - R 2	15.01.2020	29.01.2020	2	
AGS 3 - R 3	29.01.2020	12.02.2020	2	
AGS 4 - R 4	12.02.2020	26.02.2020	2	
4. Reinigungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung		
NP U1-U3	25.03.2020	08.04.2020	2	Süd
NP U4-U6	08.04.2020	22.04.2020	2	
AGS 1 - R 1	22.04.2020	06.05.2020	2	
AGS 2 - R 2	06.05.2020	20.05.2020	2	
AGS 3 - R 3	20.05.2020	03.06.2020	2	
AGS 4 - R 4	03.06.2020	17.06.2020	2	

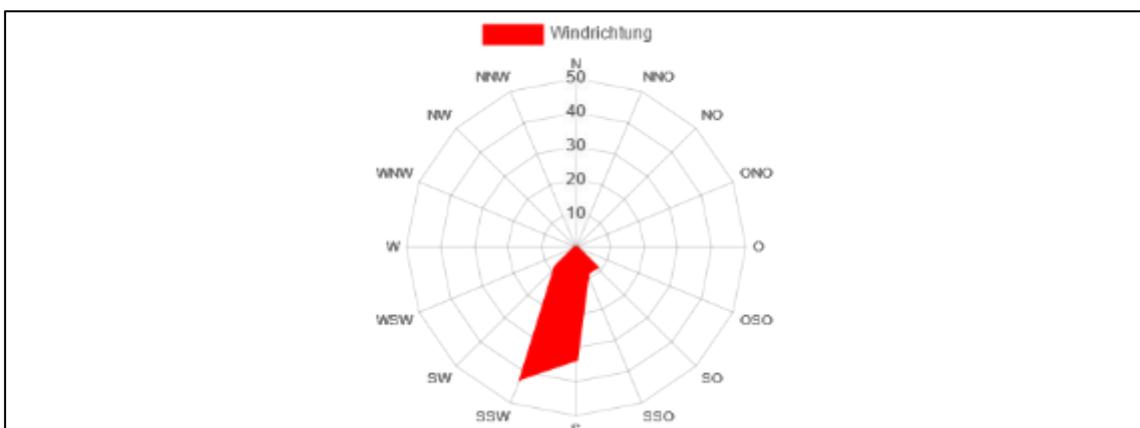
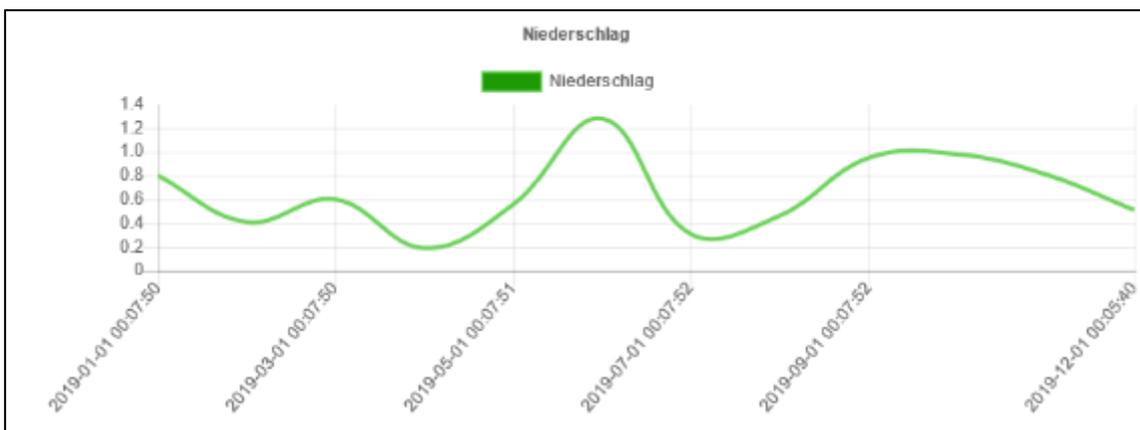
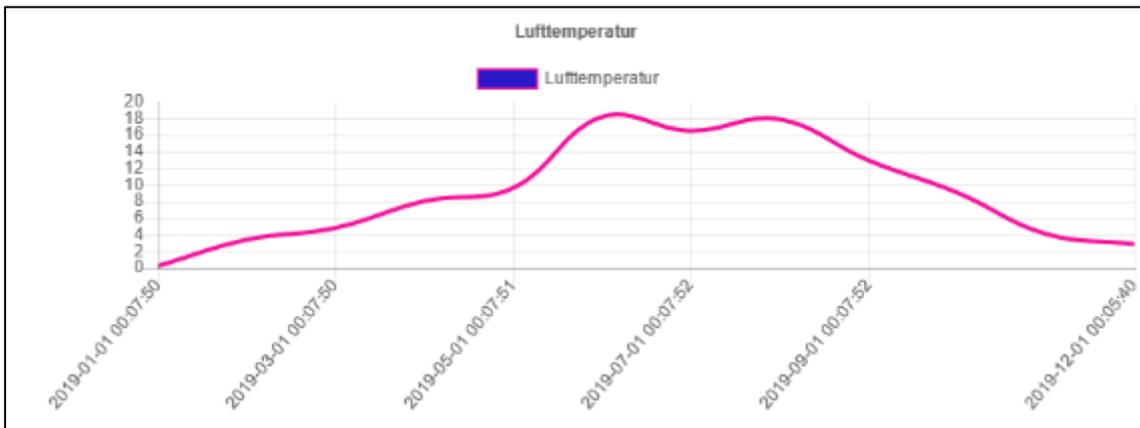
5. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	08.04.2020	29.07.2020	16	Nord
NP U4-U6	22.04.2020	12.08.2020	16	
AGS 1 - R 1	06.05.2020	26.08.2020	16	
AGS 2 - R 2	20.05.2020	09.09.2020	16	
AGS 3 - R 3	03.06.2020	23.09.2020	16	
AGS 4 - R 4	17.06.2020	07.10.2020	16	
6. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	12.08.2020	21.10.2020	10	Süd
NP U4-U6	26.08.2020	04.11.2020	10	
AGS 1 - R 1	09.09.2020	18.11.2020	10	
AGS 2 - R 2	23.09.2020	02.12.2020	10	
AGS 3 - R 3	07.10.2020	16.12.2020	10	
AGS 4 - R 4	21.10.2020	30.12.2020	10	
7. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	04.11.2020	13.01.2021	10	Nord
NP U4-U6	18.11.2020	27.01.2021	10	
AGS 1 - R 1	02.12.2020	10.02.2021	10	
AGS 2 - R 2	16.12.2020	24.02.2021	10	
AGS 3 - R 3	30.12.2020	10.03.2021	10	
AGS 4 - R 4	13.01.2021	24.03.2021	10	
8. Freibewitterungszyklus				
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung
	Freigabe Be- witterung	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP		
NP U1-U3	27.01.2021	07.04.2021	10	Süd
NP U4-U6	10.02.2021	21.04.2021	10	
AGS 1 - R 1	24.02.2021	05.05.2021	10	
AGS 2 - R 2	10.03.2021	19.05.2021	10	
AGS 3 - R 3	24.03.2021	02.06.2021	10	
AGS 4 - R 4	07.04.2021	16.06.2021	10	

5. Reinigungszyklus					
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen	Proben- ausrich- tung	
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung			
NP U1-U3	29.07.2020	12.08.2020	2	Nord	
NP U4-U6	12.08.2020	26.08.2020	2		
AGS 1 - R 1	26.08.2020	09.09.2020	2		
AGS 2 - R 2	09.09.2020	23.09.2020	2		
AGS 3 - R 3	23.09.2020	07.10.2020	2		
AGS 4 - R 4	07.10.2020	21.10.2020	2		
6. Reinigungszyklus					
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen		Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung			
NP U1-U3	21.10.2020	04.11.2020	2	Süd	
NP U4-U6	04.11.2020	18.11.2020	2		
AGS 1 - R 1	18.11.2020	02.12.2020	2		
AGS 2 - R 2	02.12.2020	16.12.2020	2		
AGS 3 - R 3	16.12.2020	30.12.2020	2		
AGS 4 - R 4	30.12.2020	13.01.2021	2		
7. Reinigungszyklus					
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen		Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung			
NP U1-U3	13.01.2021	27.01.2021	2	Nord	
NP U4-U6	27.01.2021	10.02.2021	2		
AGS 1 - R 1	10.02.2021	24.02.2021	2		
AGS 2 - R 2	24.02.2021	10.03.2021	2		
AGS 3 - R 3	10.03.2021	24.03.2021	2		
AGS 4 - R 4	24.03.2021	07.04.2021	2		
8. Reinigungszyklus					
Probe	Datum		Zeit- spanne in Wochen		Proben- ausrich- tung
	Farbauftrag bzw. Prüfbe- ginn der NP	Freigabe Bewitterung			
NP U1-U3	07.04.2021	21.04.2021	2	Süd	
NP U4-U6	21.04.2021	05.05.2021	2		
AGS 1 - R 1	05.05.2021	19.05.2021	2		
AGS 2 - R 2	19.05.2021	02.06.2021	2		
AGS 3 - R 3	02.06.2021	16.06.2021	2		
AGS 4 - R 4	16.06.2021	30.06.2021	2		

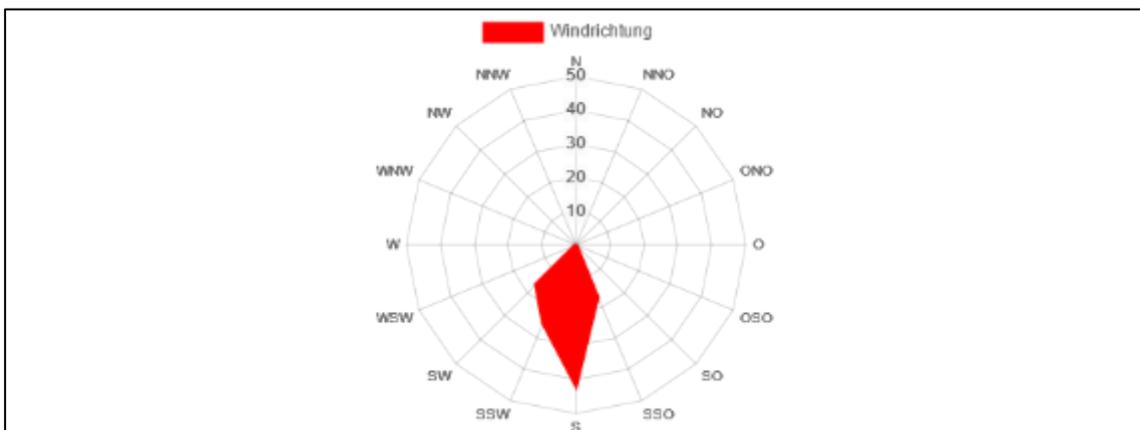
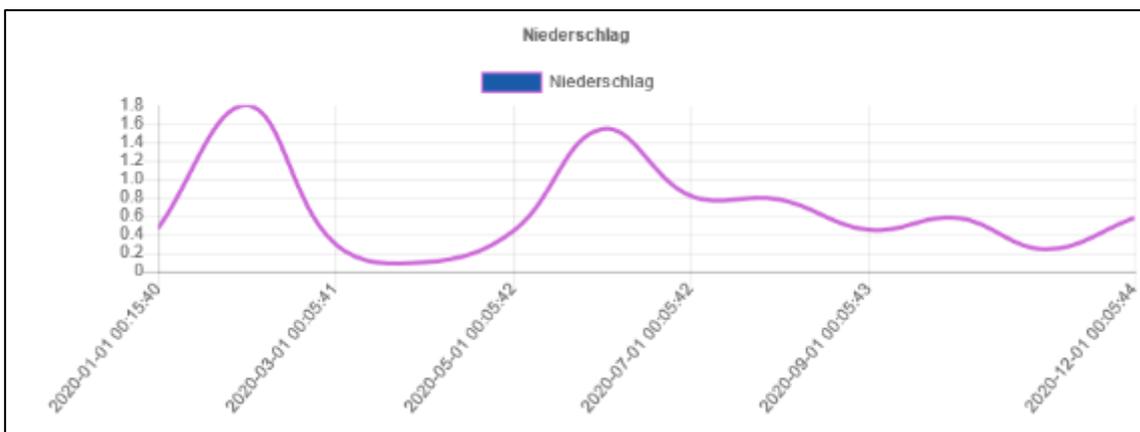
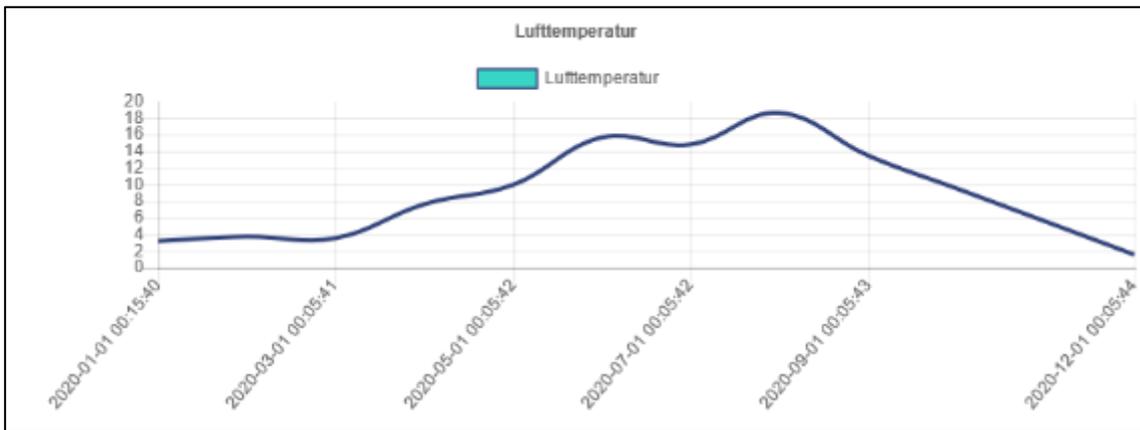
## Witterungsbedingungen

Die folgenden Wetterdaten wurden von der Wetterstation der Hochschule Wismar bereitgestellt und können Online im Internet unter URL: <http://redirect.fiw.hs-wismar.de/wetter/> abgerufen werden [Stand: 18.05.2022, 17:59]. Neben der Lufttemperatur, dem Niederschlag und der Windrichtung sind weitere Daten online verfügbar.

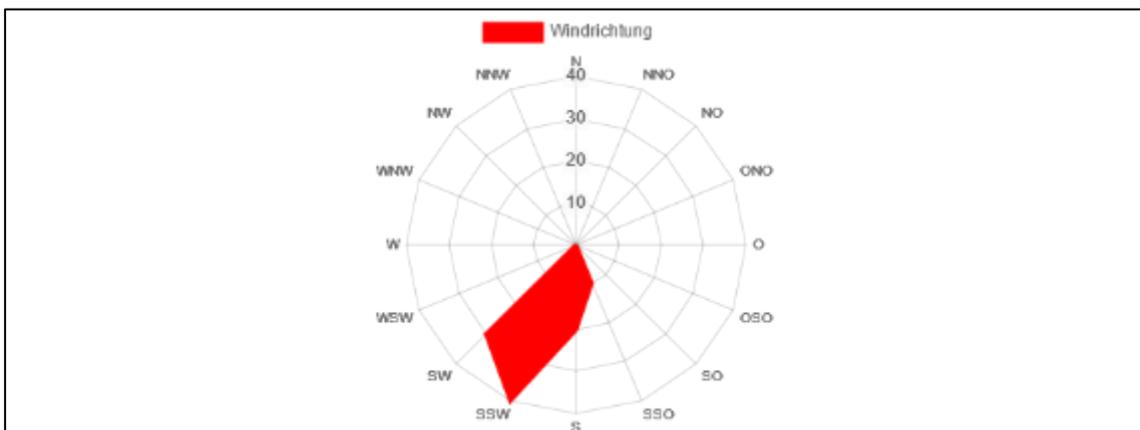
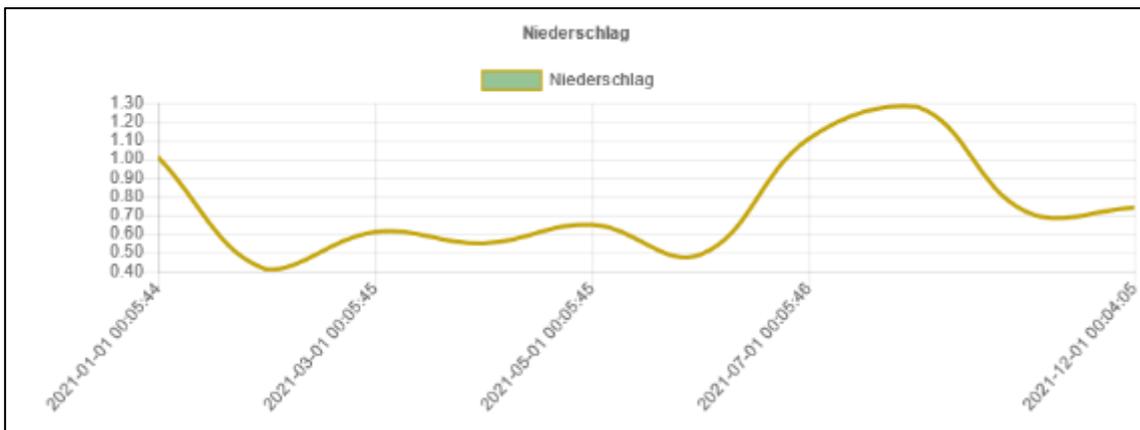
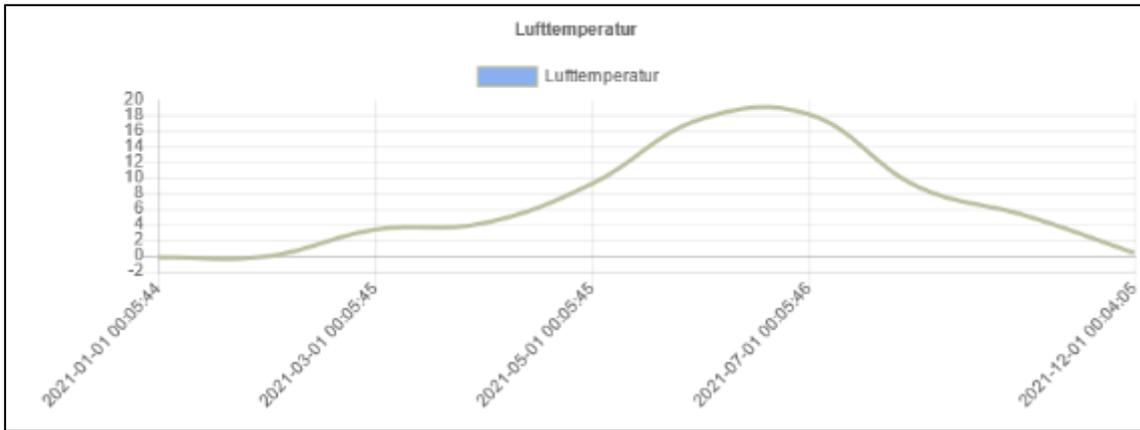
### Daten 2019 (ganzjährig)



Daten 2020 (ganzjährig)



Daten 2021 (ganzjährig)



### 3.4 Stufe V: Farbauftrag

#### Farbmittel Zyklus 1 und 2

Zyklus	Bezeichnung	Produkt	Farbe	Eigenschaften/Herstellerangaben
1	Lack1	Dupli Color Lackspray	RAL 3000 feuerrot glänzend	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack2	Nigrin 74110 Lackspray	silber	Lackspray, für den Korrosionsschutz von Karosserie und Felgen geeignet, Hauptbestandteile: Aceton, Butan, Propan, Nitro-Kombi
	Lack3	Dupli Color Lackspray	lindgrün, metallic	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack4	belton Premium Spray	RAL 9005 tiefschwarz matt	hochpigmentiert (4-fach gemahlene Pigmente), seidenmatt, hochdeckend, permanent, höchste UV- und Wetterbeständigkeit, schnelltrocknend und festhaftend, Bindemittelbasis: Nitro-Alkyd-Verbindung, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Marker	edding 850	schwarz	auf Alkohobasis; Lösemittel: Ethanol, Propanol, Permanent-Marker: schnelltrocknende Tinte, wisch- und wasserfest
				
2	Lack5	belton Premium Spray	RAL 9005 tiefschwarz matt	hochpigmentiert (4-fach gemahlene Pigmente), seidenmatt, hochdeckend, permanent, höchste UV- und Wetterbeständigkeit, schnelltrocknend und festhaftend, Bindemittelbasis: Nitro-Alkyd-Verbindung, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack6	Dupli Color Lackspray	lindgrün, metallic	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack7	Montana GOLD Lackspray	white cream	Aerosol-Art, lösemittelhaltige Nitro-Acryl-Sprayfarbe (Dimethylether, Ethylacetat, Aceton), Treibmittel: Propan, Butan
	Lack8	Dupli Color Lackspray	RAL 3000 feuerrot glänzend	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				

## Farbmittel Zyklus 3 und 4

Zyklus	Bezeichnung	Produkt	Farbe	Eigenschaften/Herstellerangaben
3	Lack9	Liquitex Spray Paint	Dioxazine Purple	Acrylspray zu 100 % bleifrei, auf Wasserbasis und ohne giftige Lösungsmittel, permanent und lichtbeständig
	Lack10	Molotow One 4All Spray	zinkgelb matt	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack11	belton Premium Spray	RAL 9005 tiefschwarz matt	hochpigmentiert (4-fach gemahlene Pigmente), seidenmatt, hochdeckend, permanent, höchste UV- und Wetterbeständigkeit, schnelltrocknend und festhaftend, Bindemittelbasis: Nitro-Alkyd-Verbindung, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack12	Dupli Color Lackspray	RAL 3000 feuerrot matt	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				
4	Lack13	Dupli Color Lackspray	RAL 3000 feuerrot matt	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack14	belton Premium Spray	RAL 9005 tiefschwarz matt	hochpigmentiert (4-fach gemahlene Pigmente), seidenmatt, hochdeckend, permanent, höchste UV- und Wetterbeständigkeit, schnelltrocknend und festhaftend, Bindemittelbasis: Nitro-Alkyd-Verbindung, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack15	Molotow One4All Spray	zinkgelb matt	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack16	Liquitex Spray Paint	Dioxazine Purple	Acrylspray zu 100 % bleifrei, auf Wasserbasis und ohne giftige Lösungsmittel, permanent und lichtbeständig
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				

## Farbmittel Zyklus 5 und 6

Zyklus	Bezeichnung	Produkt	Farbe	Eigenschaften/Herstellerangaben
5	Lack17	Molotow One4All Spray	signalweiß, matt	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack18	Molotow One4All Spray	DARE orange	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack19	Dupli Color Lackspray	RAL 3000 feuerrot matt	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack20	SparVar Lackspray	RAL 9017 Verkehrsschwarz matt	Aerosol-Art, Acrylharzlack für den Innen- und Außenbereich, guter Verlauf, hohe Deckkraft, schnelltrocknend
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				
6	Lack21	Molotow One4All Spray	echtblau	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack22	Molotow One4All Spray	DARE orange	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack23	Molotow Flame ORANGE	kiwi	Aerosol-Spray, matter Lack auf Acryl-Basis, mit einem hohen Druck ausgestattet, schnell sprühbar, dauerhaft
	Lack24	SparVar Lackspray	RAL 9017 Verkehrsschwarz matt	Aerosol-Art, Acrylharzlack für den Innen- und Außenbereich, guter Verlauf, hohe Deckkraft, schnelltrocknend
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				

## Farbmittel Zyklus 7 und 8

Zyklus	Bezeichnung	Produkt	Farbe	Eigenschaften/Herstellerangaben
7	Lack25	Molotow One4All Spray	signalweiß, matt	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack26	Molotow One4All Spray	echtblau	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Lack27	Molotow Flame ORANGE	tiefschwarz	Aerosol-Spray, matter Lack auf Acryl-Basis, mit einem hohen Druck ausgestattet, schnell sprühbar, dauerhaft
	Lack28	Molotow One 4All Spray	zinkgelb matt	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				
8	Lack29	Dupli Color Lackspray	RAL 3000 feuerrot matt	Aerosol-Art, glänzend, Bindemittelbasis: Nitro-Kombi, Lösemittel: Aceton, Treibgas: Propan, Butan
	Lack30	SparVar Lackspray	RAL 9017 Verkehrsschwarz matt	Aerosol-Art, Acrylharzlack für den Innen- und Außenbereich, guter Verlauf, hohe Deckkraft, schnelltrocknend
	Lack31	Molotow Flame ORANGE	gold	Aerosol-Spray, matter Lack auf Acryl-Basis, mit einem hohen Druck ausgestattet, schnell sprühbar, dauerhaft
	Lack32	Molotow One4All Spray	echtblau	Aerosol-Spray, Acryl-Sprühfarbe auf Wasserbasis (85 % Wasseranteil), UV-Beständig für Anwendungen im Innen- und Außenbereich, Geruchsarm, Schnelltrocknend, Hochdeckend, Permanent
	Marker	edding 850	schwarz	siehe Zyklus 1
				

## 2. Ergebnisse Stufe I: Prüfkörper im Originalzustand

### 2.1 Kubatur und Rohdichte

Untergrund 1: Hochfeste Fassadenplatte, schalungsglatt

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	Größe [mm]			Masse [g]	Volumen [cm³]	Rohdichte [g/cm³]	
			Breite	Länge	Höhe				
U	ohne AGS	U1-N-1	145,91	195,44	36,84	2667,98	1050,55	2,54	
		U1-N-2	146,38	195,92	41,62	2859,82	1193,61	2,40	
	mit AGS	U1-N-A1-1	145,38	195,72	41,37	2859,40	1177,13	2,43	
		U1-N-A1-2	145,46	195,28	36,88	2505,10	1047,59	2,39	
		U1-N-A2-1	145,72	195,31	33,51	2393,88	953,71	2,51	
		U1-N-A2-2	145,70	195,66	34,33	2413,66	978,67	2,47	
		U1-N-A3-1	145,81	195,71	35,15	2471,56	1003,06	2,46	
		U1-N-A3-2	146,33	195,53	32,16	2275,72	920,16	2,47	
		U1-N-A4-1	145,97	195,33	29,70	2041,46	846,82	2,41	
	ohne AGS, nur Reinigung	U1-N-A4-2	145,63	195,91	32,22	2133,22	919,25	2,32	
		U1-N-R1-1	145,63	195,73	34,16	2374,06	973,70	2,44	
		U1-N-R1-2	145,98	195,63	36,92	2625,06	1054,36	2,49	
		U1-N-R2-1	145,49	195,78	36,89	2478,24	1050,78	2,36	
		U1-N-R2-2	145,57	195,56	31,90	2180,14	908,12	2,40	
		U1-N-R3-1	146,14	195,75	41,71	2900,08	1193,19	2,43	
		U1-N-R3-2	145,50	195,78	33,21	2333,86	946,02	2,47	
	AGS auf Untergrund inkl. Reinigung	U1-N-R4-1	145,54	195,91	35,72	2521,24	1018,48	2,48	
		U1-N-R4-2	145,73	195,78	32,72	2324,76	933,53	2,49	
		U1-A1-R1-1	145,85	195,62	37,65	2694,32	1074,20	2,51	
		U1-A1-R1-2	145,66	196,05	33,52	2282,90	957,22	2,38	
		U1-A1-R1-3	146,12	195,33	28,58	2016,62	815,72	2,47	
		U1-A2-R2-1	145,98	195,79	39,59	2695,72	1131,54	2,38	
		U1-A2-R2-2	146,54	195,24	34,15	2403,84	977,05	2,46	
		U1-A2-R2-3	145,43	195,66	38,45	2530,88	1094,09	2,31	
		U1-A3-R3-1	145,68	195,40	33,31	2341,12	948,20	2,47	
		U1-A3-R3-2	145,66	195,28	32,57	2195,56	926,44	2,37	
		U1-A3-R3-3	146,02	195,86	37,62	2666,64	1075,91	2,48	
	U1-A4-R4-1	145,82	195,62	42,10	2941,64	1200,92	2,45		
	U1-A4-R4-2	145,82	195,75	31,24	2214,22	891,72	2,48		
	U1-A4-R4-3	145,66	195,67	41,82	2943,44	1191,92	2,47		
	Mittelwert			145,80	195,63	35,59	2476,20	1015,12	2,44
	Standardabweichung			0,29	0,22	3,76	264,17	107,67	0,06

Untergrund 2: Hochfeste Fassadenplatte, glattgeschliffen

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	Größe [mm]			Masse [g]	Volumen [cm³]	Rohdichte [g/cm³]	
			Breite	Länge	Höhe				
U2	ohne AGS	U2-N-1	145,55	195,54	39,66	2778,30	1128,76	2,46	
		U2-N-2	145,49	195,39	39,66	2801,14	1127,43	2,48	
	mit AGS	U2-N-A1-1	145,42	195,13	39,56	2764,08	1122,55	2,46	
		U2-N-A1-2	145,98	195,11	39,60	2797,88	1127,89	2,48	
		U2-N-A2-1	145,82	195,66	39,58	2801,56	1129,26	2,48	
		U2-N-A2-2	145,79	195,22	39,62	2806,80	1127,63	2,49	
		U2-N-A3-1	146,18	195,26	39,72	2797,26	1133,73	2,47	
		U2-N-A3-2	145,58	195,61	39,97	2813,66	1138,22	2,47	
		U2-N-A4-1	145,42	195,66	39,80	2811,58	1132,42	2,48	
	ohne AGS, nur Reinigung	U2-N-A4-2	146,42	195,45	39,75	2795,22	1137,56	2,46	
		U2-N-R1-1	145,44	195,60	39,77	2804,74	1131,38	2,48	
		U2-N-R1-2	145,83	195,62	39,85	2812,08	1136,81	2,47	
		U2-N-R2-1	145,69	195,62	39,94	2824,26	1138,29	2,48	
		U2-N-R2-2	145,74	195,63	39,88	2818,10	1137,02	2,48	
		U2-N-R3-1	145,95	195,28	39,62	2800,08	1129,21	2,48	
		U2-N-R3-2	146,29	194,67	39,51	2769,20	1125,18	2,46	
	AGS auf Untergrund inkl. Reinigung	U2-N-R4-1	145,55	195,19	39,87	2804,74	1132,70	2,48	
		U2-N-R4-2	145,46	195,73	39,80	2799,46	1133,14	2,47	
		U2-A1-R1-1	145,74	195,26	39,59	2798,22	1126,62	2,48	
		U2-A1-R1-2	146,13	195,19	39,64	2799,64	1130,66	2,48	
		U2-A1-R1-3	145,88	195,59	39,77	2806,88	1134,74	2,47	
		U2-A2-R2-1	145,70	195,11	39,67	2802,70	1127,72	2,49	
		U2-A2-R2-2	145,92	195,79	39,78	2820,94	1136,50	2,48	
		U2-A2-R2-3	145,95	194,87	39,73	2773,40	1129,97	2,45	
		U2-A3-R3-1	145,67	195,70	39,89	2815,06	1137,17	2,48	
		U2-A3-R3-2	145,70	195,17	39,69	2801,42	1128,64	2,48	
		U2-A3-R3-3	145,93	195,68	39,69	2809,58	1133,37	2,48	
	U2-A4-R4-1	146,05	196,51	39,70	2815,30	1139,40	2,47		
	U2-A4-R4-2	145,71	195,66	39,85	2819,84	1136,11	2,48		
	U2-A4-R4-3	145,46	195,65	39,97	2817,96	1137,52	2,48		
	Mittelwert			145,78	195,45	39,74	2802,70	1132,25	2,48
	Standardabweichung			0,26	0,34	0,13	14,95	4,56	0,01

### Untergrund 3: Hochfeste Fassadenplatte, sandgestrahlt

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	Größe [mm]			Masse [g]	Volumen [cm³]	Rohdichte [g/cm³]	
			Breite	Länge	Höhe				
U3	ohne AGS	U3-N-1	145,51	195,36	39,73	2792,90	1129,40	2,47	
		U3-N-2	145,47	195,22	41,06	2762,54	1166,05	2,37	
	mit AGS	U3-N-A1-1	145,49	195,56	39,67	2756,88	1128,69	2,44	
		U3-N-A1-2	145,45	195,83	39,60	2785,06	1127,95	2,47	
		U3-N-A2-1	144,94	195,27	39,59	2752,18	1120,49	2,46	
		U3-N-A2-2	144,98	195,66	39,70	2767,62	1126,16	2,46	
		U3-N-A3-1	145,53	195,24	39,65	2794,92	1126,59	2,48	
		U3-N-A3-2	145,46	195,77	39,63	2794,42	1128,53	2,48	
		U3-N-A4-1	145,48	195,79	39,63	2792,34	1128,80	2,47	
		U3-N-A4-2	145,21	195,57	39,79	2786,32	1129,99	2,47	
	ohne AGS, nur Reinigung	U3-N-R1-1	145,65	195,49	40,09	2777,06	1141,49	2,43	
		U3-N-R1-2	145,68	195,53	39,82	2760,52	1134,27	2,43	
		U3-N-R2-1	145,50	195,30	39,97	2781,58	1135,79	2,45	
		U3-N-R2-2	145,39	195,28	39,63	2777,40	1125,17	2,47	
		U3-N-R3-1	145,23	195,63	39,69	2778,80	1127,65	2,46	
		U3-N-R3-2	145,72	195,63	39,67	2801,74	1130,88	2,48	
		U3-N-R4-1	145,30	195,68	39,72	2773,82	1129,33	2,46	
		U3-N-R4-2	145,40	195,00	39,56	2741,36	1121,64	2,44	
	AGS auf Untergrund inkl. Reinigung	U3-A1-R1-1	145,45	195,67	39,90	2793,10	1135,56	2,46	
		U3-A1-R1-2	145,33	195,21	39,70	2757,46	1126,28	2,45	
		U3-A1-R1-3	145,32	195,41	39,84	2770,50	1131,34	2,45	
		U3-A2-R2-1	145,24	195,57	39,68	2779,04	1127,09	2,47	
		U3-A2-R2-2	145,56	195,56	39,65	2797,60	1128,67	2,48	
		U3-A2-R2-3	145,33	195,49	39,68	2793,34	1127,33	2,48	
		U3-A3-R3-1	145,77	195,88	39,64	2781,56	1131,86	2,46	
		U3-A3-R3-2	145,63	195,40	39,68	2781,50	1129,14	2,46	
		U3-A3-R3-3	146,00	195,30	39,61	2771,98	1129,43	2,45	
		U3-A4-R4-1	145,09	195,78	39,84	2768,88	1131,68	2,45	
		U3-A4-R4-2	145,55	195,60	39,60	2784,78	1127,40	2,47	
		U3-A4-R4-3	145,72	195,30	39,56	2779,20	1125,84	2,47	
	Mittelwert			145,45	195,50	39,75	2777,88	1130,35	2,46
	Standardabweichung			0,23	0,22	0,28	14,77	7,88	0,02

### Untergrund 4: Faserverstärkte Mauer Scheibe, Sichtbeton

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	Größe [mm]			Masse [g]	Volumen [cm³]	Rohdichte [g/cm³]	
			Breite	Länge	Höhe				
U4	ohne AGS	U4-N-1	150,75	201,34	56,29	4069,14	1708,51	2,38	
		U4-N-2	146,42	202,63	60,05	4295,76	1781,63	2,41	
	mit AGS	U4-N-A1-1	152,57	199,85	61,41	4465,50	1872,46	2,38	
		U4-N-A1-2	150,13	199,43	61,36	4418,78	1837,14	2,41	
		U4-N-A2-1	150,26	202,24	59,94	4406,40	1821,49	2,42	
		U4-N-A2-2	148,12	200,29	62,83	4329,72	1863,97	2,32	
		U4-N-A3-1	154,20	195,15	57,58	4136,86	1732,70	2,39	
		U4-N-A3-2	151,75	202,02	55,83	4019,68	1711,55	2,35	
		U4-N-A4-1	154,87	195,82	57,44	4206,80	1741,96	2,41	
		U4-N-A4-2	151,08	201,56	55,01	3957,40	1675,15	2,36	
	ohne AGS, nur Reinigung	U4-N-R1-1	149,36	198,75	62,51	4392,52	1855,63	2,37	
		U4-N-R1-2	150,28	200,76	55,28	3834,98	1667,81	2,30	
		U4-N-R2-1	149,76	198,73	53,88	3797,44	1603,57	2,37	
		U4-N-R2-2	152,38	199,35	54,76	3969,22	1663,44	2,39	
		U4-N-R3-1	151,75	202,87	54,76	3966,20	1685,82	2,35	
		U4-N-R3-2	149,44	198,56	57,30	4041,06	1700,25	2,38	
		U4-N-R4-1	150,27	198,38	62,69	4423,52	1868,82	2,37	
		U4-N-R4-2	146,36	202,45	58,57	4150,36	1735,46	2,39	
	AGS auf Untergrund inkl. Reinigung	U4-A1-R1-1	149,43	199,07	59,80	4207,04	1778,87	2,37	
		U4-A1-R1-2	150,32	201,94	56,37	4067,64	1711,15	2,38	
		U4-A1-R1-3	152,35	203,01	62,06	4538,16	1919,43	2,36	
		U4-A2-R2-1	152,78	202,23	55,44	4059,72	1712,91	2,37	
		U4-A2-R2-2	152,71	201,76	61,84	4567,80	1905,34	2,40	
		U4-A2-R2-3	150,59	200,86	55,39	3951,10	1675,41	2,36	
		U4-A3-R3-1	151,12	198,02	60,11	4226,54	1798,78	2,35	
		U4-A3-R3-2	152,30	200,21	60,06	4312,84	1831,35	2,36	
		U4-A3-R3-3	149,83	206,84	57,30	4141,44	1775,77	2,33	
		U4-A4-R4-1	153,14	201,68	55,61	4042,10	1717,53	2,35	
		U4-A4-R4-2	151,19	203,13	53,50	3887,18	1643,05	2,37	
		U4-A4-R4-3	153,62	200,31	56,18	4057,56	1728,75	2,35	
	Mittelwert			150,97	200,64	58,04	4164,68	1757,52	2,37
	Standardabweichung			2,00	2,34	2,93	210,81	83,39	0,03

## Untergrund 5: Betongehwegplatte nach DIN EN 1339

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	Größe [mm]			Masse [g]	Volumen [cm³]	Rohdichte [g/cm³]	
			Breite	Länge	Höhe				
U5	ohne AGS	U5-N-1	122,45	247,66	49,31	3456,50	1495,37	2,31	
		U5-N-2	122,27	247,81	49,05	3487,64	1486,20	2,35	
	mit AGS	U5-N-A1-1	122,52	247,76	50,64	3473,42	1537,21	2,26	
		U5-N-A1-2	120,45	248,46	49,98	3499,34	1495,75	2,34	
		U5-N-A2-1	121,43	247,43	49,42	3432,10	1484,84	2,31	
		U5-N-A2-2	120,82	247,06	49,42	3390,66	1475,18	2,30	
		U5-N-A3-1	120,78	247,64	50,35	3514,46	1505,97	2,33	
		U5-N-A3-2	122,71	248,66	51,01	3562,14	1556,47	2,29	
		U5-N-A4-1	122,79	247,98	48,69	3469,60	1482,58	2,34	
	U5-N-A4-2	124,29	247,91	50,06	3585,60	1542,49	2,32		
	ohne AGS, nur Reinigung	U5-N-R1-1	122,39	246,73	49,04	3403,38	1480,87	2,30	
		U5-N-R1-2	124,23	246,11	50,34	3532,46	1539,11	2,30	
		U5-N-R2-1	118,25	247,42	50,44	3429,44	1475,74	2,32	
		U5-N-R2-2	122,43	247,22	50,60	3518,48	1531,52	2,30	
		U5-N-R3-1	118,25	245,84	49,53	3929,30	1439,87	2,73	
		U5-N-R3-2	121,13	247,55	50,56	3554,60	1516,08	2,34	
		U5-N-R4-1	123,99	249,43	50,34	3544,86	1556,86	2,28	
	U5-N-R4-2	125,14	247,88	50,69	3614,86	1572,39	2,30		
	AGS auf Untergrund inkl. Reinigung	U5-A1-R1-1	120,47	249,68	49,98	3416,40	1503,35	2,27	
		U5-A1-R1-2	120,85	246,50	49,69	3349,50	1480,24	2,26	
		U5-A1-R1-3	124,47	247,03	47,88	3379,98	1472,21	2,30	
		U5-A2-R2-1	122,53	247,75	50,84	3597,98	1543,34	2,33	
		U5-A2-R2-2	123,15	246,88	51,03	3497,72	1551,48	2,25	
		U5-A2-R2-3	120,59	248,53	51,06	3502,46	1530,28	2,29	
		U5-A3-R3-1	118,17	247,46	48,73	3301,24	1424,98	2,32	
		U5-A3-R3-2	124,99	247,64	49,51	3532,74	1532,46	2,31	
		U5-A3-R3-3	121,55	246,76	49,22	3401,80	1476,29	2,30	
		U5-A4-R4-1	124,06	247,71	49,79	3606,74	1530,09	2,36	
		U5-A4-R4-2	122,44	246,71	49,89	3406,36	1507,04	2,26	
		U5-A4-R4-3	119,43	247,37	50,73	3494,94	1498,74	2,33	
		Mittelwert			121,97	247,55	49,93	3496,22	1507,50
	Standardabweichung			1,94	0,85	0,80	113,48	35,60	0,08

## Untergrund 6: Betonplatte, sägeraue Brettschaloptik

Untergrund	Bezeichnung	Probennummer	Größe [mm]			Masse [g]	Volumen [cm³]	Rohdichte [g/cm³]	
			Breite	Länge	Höhe				
U6	ohne AGS	U6-N-1	151,96	201,21	22,74	1533,80	695,30	2,21	
		U6-N-2	151,12	200,52	22,76	1489,80	689,69	2,16	
	mit AGS	U6-N-A1-1	151,93	201,78	22,16	1502,20	679,35	2,21	
		U6-N-A1-2	150,09	201,27	23,50	1526,80	709,90	2,15	
		U6-N-A2-1	151,59	200,60	21,97	1491,70	668,08	2,23	
		U6-N-A2-2	152,05	201,47	21,56	1481,10	660,46	2,24	
		U6-N-A3-1	151,25	201,39	21,54	1388,80	656,11	2,12	
		U6-N-A3-2	152,02	200,55	24,11	1477,20	735,06	2,01	
		U6-N-A4-1	151,49	201,48	21,83	1487,70	666,30	2,23	
		U6-N-A4-2	151,29	201,00	23,64	1466,10	718,88	2,04	
	ohne AGS, nur Reinigung	U6-N-R1-1	151,62	201,20	21,45	1544,10	654,35	2,36	
		U6-N-R1-2	151,67	200,78	23,46	1399,80	714,41	1,96	
		U6-N-R2-1	152,00	200,40	22,33	1397,50	680,19	2,05	
		U6-N-R2-2	151,56	201,53	21,69	1412,70	662,50	2,13	
		U6-N-R3-1	151,88	200,60	22,08	1450,10	672,71	2,16	
		U6-N-R3-2	151,95	200,89	22,37	1423,50	682,85	2,08	
		U6-N-R4-1	151,83	201,78	23,08	1526,20	707,08	2,16	
		U6-N-R4-2	151,39	201,44	24,09	1447,60	734,65	1,97	
	AGS auf Untergrund inkl. Reinigung	U6-A1-R1-1	151,80	201,69	22,43	1554,40	686,73	2,26	
		U6-A1-R1-2	151,55	200,97	22,34	1433,00	680,41	2,11	
		U6-A1-R1-3	150,85	200,77	22,62	1473,00	685,07	2,15	
		U6-A2-R2-1	151,90	200,57	21,95	1483,10	668,74	2,22	
		U6-A2-R2-2	151,74	201,03	21,78	1474,30	664,38	2,22	
		U6-A2-R2-3	150,95	200,25	21,61	1405,00	653,22	2,15	
		U6-A3-R3-1	151,62	200,15	21,71	1447,30	658,83	2,20	
		U6-A3-R3-2	152,49	200,35	22,71	1442,20	693,82	2,08	
		U6-A3-R3-3	150,97	201,63	23,06	1519,70	701,95	2,16	
		U6-A4-R4-1	151,53	201,44	22,69	1474,00	692,59	2,13	
		U6-A4-R4-2	151,62	200,71	21,59	1458,90	657,02	2,22	
		U6-A4-R4-3	151,81	201,90	22,46	1434,90	688,41	2,08	
		Mittelwert			151,58	201,05	22,44	1468,22	683,97
	Standardabweichung			0,46	0,51	0,76	45,27	23,15	0,09

## 2.2 Druckfestigkeit

Untergrund	Probennummer	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Fläche [mm <sup>2</sup> ]	Masse [g]	Bruchlast [kN]	Druckfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	MW [N/mm <sup>2</sup> ]	s	RSD [%]
U1	U1/1	48,50	51,30	41,60	2488,05	246,80	190,37	76,5	<b>76,8</b>	0,26	0,3
	U1/2	49,40	48,80	43,10	2410,72	239,50	185,70	77,0			
	U1/3	49,70	48,30	42,20	2400,51	241,60	184,20	76,7			
U2	U2/1	45,80	44,00	39,90	2015,20	192,90	152,80	75,8	<b>75,8</b>	0,06	0,1
	U2/2	43,40	45,20	40,80	1961,68	189,50	148,50	75,7			
	U2/3	44,10	45,60	39,60	2010,96	192,30	152,42	75,8			
U3	U3/1	46,00	44,90	39,70	2065,40	198,70	144,38	69,9	<b>69,8</b>	0,11	0,2
	U3/2	45,40	45,00	40,00	2043,00	195,60	142,60	69,8			
	U3/3	44,90	45,00	39,70	2020,50	196,00	140,79	69,7			
U4	U4/1	41,50	47,70	35,40	1979,55	164,10	94,90	47,9	<b>47,7</b>	0,35	0,7
	U4/2	48,30	43,60	37,70	2105,88	183,00	100,87	47,9			
	U4/3	44,40	49,50	39,40	2197,80	199,00	104,00	47,3			
U5	U5/1	46,20	45,80	51,20	2115,96	245,00	87,37	41,3	<b>41,6</b>	0,30	0,7
	U5/2	46,10	46,20	50,70	2129,82	247,60	89,20	41,9			
	U5/3	45,80	47,70	50,80	2184,66	253,60	90,70	41,5			
U6	U6/1	45,10	45,40	20,60	2047,54	89,00	71,73	35,0	<b>34,7</b>	0,36	1,0
	U6/2	45,90	45,20	20,60	2074,68	89,70	71,18	34,3			
	U6/3	46,50	46,30	21,60	2152,95	97,60	74,62	34,7			

## 2.3 Visuelle Begutachtung

Probe	Bezeichnung	Untergrund	Probennummer	Notizen	Probe	Bezeichnung	Untergrund	Probennummer	Notizen
NP U1-U3	ohne AGS	U1	U1-N-1	glatt, keine Poren, matt hellgrau, keine Fehlstellen in der Oberfläche, leichte Farbwolken	NP U4-U6	ohne AGS	U4	U4-N-1	glatt, wenig Poren, matt hellbeige, keine Fehlstellen in der Oberfläche
			U4-N-2						
	mit AGS und Reinigung		U1-N-A1-1			U4-N-A1-1			
			U1-N-A1-2			U4-N-A1-2			
			U1-N-A2-1			U4-N-A2-1			
			U1-N-A2-2			U4-N-A2-2			
			U1-N-A3-1			U4-N-A3-1			
			U1-N-A3-2			U4-N-A3-2			
			U1-N-A4-1			U4-N-A4-1			
			U1-N-A4-2			U4-N-A4-2			
	ohne AGS	U2	U2-N-1	sehr glatt, geschliffen, keine Poren, hochwertige matt-schwarze Oberfläche, keine Fehlstellen	NP U4-U6	ohne AGS	U5	U5-N-1	rau, offenporig, grobe Oberfläche, betongrau, keine groben Fehlstellen (einzelne Kratzer)
			U5-N-2						
	mit AGS und Reinigung		U2-N-A1-1			U5-N-A1-1			
			U2-N-A1-2			U5-N-A1-2			
			U2-N-A2-1			U5-N-A2-1			
			U2-N-A2-2			U5-N-A2-2			
			U2-N-A3-1			U5-N-A3-1			
			U2-N-A3-2			U5-N-A3-2			
			U2-N-A4-1			U5-N-A4-1			
			U2-N-A4-2			U5-N-A4-2			
	ohne AGS	U3	U3-N-1	sehr rau, keine Poren, matt schwarz-grau, keine Fehlstellen in der Oberfläche	NP U4-U6	ohne AGS	U6	U6-N-1	rau bis sehr rau, teils viele Poren, Optik der Holzverschalung deutlich erkennbar, Farbunterschiede je nach Struktur vorhanden
			U6-N-2						
	mit AGS und Reinigung		U3-N-A1-1			U6-N-A1-1			
			U3-N-A1-2			U6-N-A1-2			
U3-N-A2-1			U6-N-A2-1						
U3-N-A2-2			U6-N-A2-2						
U3-N-A3-1			U6-N-A3-1						
U3-N-A3-2			U6-N-A3-2						
U3-N-A4-1			U6-N-A4-1						
U3-N-A4-2			U6-N-A4-2						

## 2.4 Glanz

### Prüfkörper im Originalzustand

Untergrund	Probennummer	ohne AGS							s	Unterg	Probennummer	ohne AGS							s	Unterg	Probennummer	ohne AGS							s																																			
		Messwert					Mittelwert	s				Messwert					Mittelwert	s				Messwert					Mittelwert	s																																				
		1	2	3	4	5						1	2	3	4	5						1	2	3	4	5																																						
U1 NP	U1-N-1	28,40	27,90	27,90	28,20	28,10	28,68	0,72	U2 NP	U2-N-1	22,40	22,80	23,10	22,80	23,10	22,79	0,45	U3 NP	U3-N-1	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52	U3 AGS1	U3-N-R1-1	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,49	U3 AGS2	U3-N-R2-1	0,40	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50	U3 AGS3	U3-N-R3-1	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50	0,50	U3 AGS4	U3-N-R4-1	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53							
	U1-N-2	29,50	29,40	29,00	29,00	29,40				U2-N-2	22,90	22,70	22,70	22,70	22,70				U3-N-2	0,50	0,60	0,50	0,50	0,60			U3-N-R1-2	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50			U3-N-R2-2	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60			U3-N-R3-2	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50			U3-N-R4-2	0,60	0,50	0,60	0,50	0,60								
	U1-N-A1-1	27,70	27,40	27,20	27,40	27,10				27,27	U2-N-A1-1	23,00	23,00	22,90	22,90				22,70	22,54	U3-N-A1-1	0,60	0,60	0,50			0,60	0,60	0,56	U3-A1-R1-1	0,40	0,50			0,40	0,50	0,50	0,50	U3-A2-R2-1	0,50			0,50	0,60	0,50	0,50	0,53	U3-A3-R3-1			0,50	0,50	0,60	0,50	0,50	0,53		U3-A4-R4-1	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,53
	U1-N-A1-2	27,70	27,30	27,10	26,90	26,90				27,27	U2-N-A1-2	22,30	22,10	22,20	22,10				22,20	22,26	U3-N-A1-2	0,50	0,60	0,60			0,50	0,50	0,53	U3-A1-R1-2	0,50	0,60			0,60	0,60	0,60	0,60	U3-A2-R2-2	0,60			0,50	0,50	0,60	0,60	0,52	U3-A3-R3-2			0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51		U3-A4-R4-2	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51
	U1-N-A2-1	27,10	26,60	26,60	27,30	27,30				27,93	U2-N-A2-1	22,70	22,90	22,90	22,90				22,90	22,63	U3-N-A2-1	0,50	0,50	0,60			0,50	0,50	0,53	U3-A1-R1-3	0,50	0,50			0,50	0,40	0,40	0,40	U3-A2-R2-3	0,40			0,50	0,60	0,50	0,50	0,52	U3-A3-R3-3			0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50		U3-A4-R4-3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52
	U1-N-A2-2	28,90	28,90	28,90	28,90	28,80				28,25	U2-N-A2-2	22,40	22,40	22,40	22,40				22,40	22,22	U3-N-A2-2	0,60	0,60	0,50			0,50	0,50	0,53	U3-A1-R1-4	0,40	0,50			0,40	0,50	0,50	0,50	U3-A2-R2-4	0,40			0,50	0,60	0,50	0,50	0,52	U3-A3-R3-4			0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50		U3-A4-R4-4	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53
	U1-N-A3-1	28,50	28,60	28,00	28,00	28,40				28,25	U2-N-A3-1	22,70	22,70	22,70	22,70				22,70	22,22	U3-N-A3-1	0,50	0,50	0,60			0,50	0,50	0,53	U3-A1-R1-5	0,40	0,50			0,40	0,50	0,50	0,50	U3-A2-R2-5	0,40			0,50	0,60	0,50	0,50	0,52	U3-A3-R3-5			0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50		U3-A4-R4-5	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53
	U1-N-A3-2	28,00	28,00	28,00	28,40	28,60				28,25	U2-N-A3-2	21,90	21,30	21,90	21,80				21,80	22,26	U3-N-A3-2	0,60	0,50	0,50			0,60	0,50	0,53	U3-A1-R1-6	0,50	0,60			0,60	0,60	0,60	0,60	U3-A2-R2-6	0,60			0,50	0,50	0,60	0,60	0,52	U3-A3-R3-6			0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50		U3-A4-R4-6	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53
	U1-N-A4-1	27,60	27,60	27,70	27,60	27,70				27,37	U2-N-A4-1	21,90	21,80	21,60	22,00				21,80	22,26	U3-N-A4-1	0,50	0,50	0,50			0,50	0,50	0,53	U3-A1-R1-7	0,40	0,50			0,40	0,50	0,50	0,50	U3-A2-R2-7	0,40			0,50	0,60	0,50	0,50	0,52	U3-A3-R3-7			0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50		U3-A4-R4-7	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53
	U1-N-A4-2	27,00	27,00	26,90	27,30	27,30				27,37	U2-N-A4-2	22,90	22,80	22,10	22,90				22,80	22,26	U3-N-A4-2	0,60	0,50	0,50			0,60	0,60	0,53	U3-A1-R1-8	0,40	0,50			0,40	0,50	0,50	0,50	U3-A2-R2-8	0,40			0,50	0,60	0,50	0,50	0,52	U3-A3-R3-8			0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50		U3-A4-R4-8	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53
U1 AGS1	U1-N-R1-1	27,70	27,40	27,40	27,70	26,90	27,31	U2 AGS1	U2-N-R1-1	22,80	22,60	22,50	22,50	22,60	22,71	U3 AGS1	U3-N-R1-1	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,49	U3 AGS2	U3-N-R1-2	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	U3 AGS3	U3-A1-R1-1	0,40	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50	U3 AGS4	U3-A1-R1-2	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60																	
U1 AGS2	U1-N-R1-2	27,20	26,60	26,80	27,70	27,70	27,04	U2 AGS2	U2-N-R1-2	22,90	22,80	22,70	22,90	22,80	22,89	U3 AGS2	U3-N-R1-2	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	U3 AGS3	U3-A1-R1-3	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	U3 AGS4	U3-A1-R1-4	0,40	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50																									
	U1-A1-R1-1	27,20	27,20	26,80	27,00	27,10	27,04	U2 AGS3	U2-N-R2-1	22,40	22,20	22,30	22,40	22,30	22,11	U3 AGS3	U3-N-R2-1	0,40	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50	U3 AGS4	U3-N-R2-2	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,52																																	
	U1-A1-R1-2	27,10	27,20	27,10	27,20	27,20	27,04	U2 AGS4	U2-N-R2-2	21,90	21,90	21,90	21,90	21,90	22,11	U3 AGS4	U3-N-R2-3	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,52	U3 AGS5	U3-N-R2-4	0,50	0,60	0,50	0,40	0,50	0,52																																	
	U1-A1-R1-3	26,90	26,80	26,90	26,90	27,00	27,04	U2 AGS5	U2-A2-R2-1	22,30	22,00	22,20	22,30	22,20	22,55	U3 AGS5	U3-N-R2-5	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,52	U3 AGS6	U3-N-R2-6	0,60	0,50	0,50	0,60	0,60	0,52																																	
U1 AGS3	U1-A2-R2-1	27,60	27,60	27,70	27,60	27,70	27,82	U2 AGS6	U2-A2-R2-2	23,10	23,10	22,50	23,10	22,50	22,55	U3 AGS6	U3-A2-R2-1	0,60	0,50	0,50	0,60	0,60	0,52	U3 AGS7	U3-N-R3-1	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50	0,50																																	
	U1-A2-R2-2	28,20	28,30	28,10	28,20	28,10	28,10	U2 AGS7	U2-A2-R2-3	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	22,60	U3 AGS7	U3-N-R3-2	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51	U3 AGS8	U3-N-R3-2	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-N-R3-1	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,34	U2 AGS8	U2-N-R3-1	22,50	22,70	22,70	22,70	22,50	22,82	U3 AGS8	U3-A3-R3-1	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51	U3 AGS9	U3-A3-R3-2	0,60	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-N-R3-2	28,00	27,80	27,70	27,80	28,80	28,34	U2 AGS9	U2-N-R3-2	22,90	23,10	23,10	23,10	22,90	22,82	U3 AGS9	U3-A3-R3-3	0,50	0,60	0,50	0,50	0,50	0,51	U3 AGS10	U3-A3-R3-3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,50																																	
U1 AGS4	U1-A3-R3-1	27,40	27,40	27,40	27,40	27,80	27,21	U2 AGS10	U2-A3-R3-1	22,70	22,70	22,70	22,80	22,70	22,82	U3 AGS10	U3-N-R4-1	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53	U3 AGS11	U3-N-R4-2	0,60	0,50	0,60	0,50	0,60	0,53																																	
	U1-A3-R3-2	28,00	28,10	28,00	28,10	28,10	27,21	U2 AGS11	U2-A3-R3-2	22,30	22,30	22,30	21,90	21,90	22,23	U3 AGS11	U3-N-R4-2	0,60	0,50	0,60	0,50	0,60	0,53	U3 AGS12	U3-A4-R4-1	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-A3-R3-3	25,90	26,40	25,60	26,40	26,10	27,21	U2 AGS12	U2-A3-R3-3	21,60	22,10	21,80	22,10	21,60	22,80	U3 AGS12	U3-A4-R4-2	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,51	U3 AGS13	U3-A4-R4-3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-N-R4-1	28,40	28,40	28,40	28,40	28,50	28,18	U2 AGS13	U2-N-R4-1	23,10	23,00	22,70	23,00	22,70	22,80	U3 AGS13	U3-N-R4-3	0,40	0,40	0,60	0,50	0,60	0,53	U3 AGS14	U3-A4-R4-4	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
U1 AGS4	U1-N-R4-2	28,10	28,10	27,90	27,80	27,80	28,18	U2 AGS14	U2-N-R4-2	23,10	23,00	22,70	23,00	22,70	22,80	U3 AGS14	U3-N-R4-4	0,60	0,50	0,60	0,50	0,60	0,53	U3 AGS15	U3-A4-R4-5	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-A4-R4-1	28,50	28,50	28,40	28,50	28,30	27,99	U2 AGS15	U2-A4-R4-1	23,70	23,50	23,40	23,50	23,40	23,09	U3 AGS15	U3-A4-R4-5	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,51	U3 AGS16	U3-A4-R4-6	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-A4-R4-2	28,10	28,40	28,10	28,40	28,10	27,99	U2 AGS16	U2-A4-R4-2	22,50	22,50	22,50	22,50	22,80	23,09	U3 AGS16	U3-A4-R4-6	0,60	0,60	0,50	0,50	0,60	0,51	U3 AGS17	U3-A4-R4-7	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
	U1-A4-R4-3	27,40	27,30	27,30	27,20	27,30	27,73	U2 AGS17	U2-A4-R4-3	23,10	23,10	23,50	23,10	23,20	22,59	U3 AGS17	U3-A4-R4-7	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	U3 AGS18	U3-A4-R4-8	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51																																	
U1 Original vor Auftrag AGS								27,73	U2 Original vor Auftrag AGS								22,59	U3 Original vor Auftrag AGS								0,52																																						
Variationskoeffizient (relative Standardabweichung) in %								2,61	Variationskoeffizient (relative Standardabweichung) in %								1,99	Variationskoeffizient (relative Standardabweichung) in %								11,34																																						

Unterg	Probennummer	ohne AGS							s	Unterg	Probennummer	ohne AGS							s	Unterg	Probennummer	ohne AGS							s														
		Messwert					Mittelwert	s				Messwert					Mittelwert	s				Messwert					Mittelwert	s															
		1	2	3	4	5						1	2	3	4	5						1	2	3	4	5																	
U4 NP	U4-N-1	11,00	11,70	11,60	11,70	11,00	10,99	0,41	U5 NP	U5-N-1	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,06	U6 NP	U6-N-1	0,30	0,40	0,20	0,10	0,00	0,21	U6 AGS1	U6-N-R1-1	0,10	0,20	0,30	0,20	0,30	0,21	U6 AGS2	U6-N-R1-2	0,10	0,20	0,20	0,20	0,10	0,18	U6 AGS3	U6-N-R1-3

## 2.5 Helligkeit

### Prüfkörper im Originalzustand

Mittlere Helligkeit der Originalprüfkörper																														
Untergrund	Probennummer	ohne AGS					MW	s	Untergrund	Probennummer	ohne AGS					MW	s	Untergrund	Probennummer	ohne AGS					MW	s				
		Messwert			MW	s					Messwert			MW	s					Messwert			MW	s						
		1	2	3							1	2	3							1	2	3								
U1-NP	U1-N-1	25,62	25,65	25,60	25,75	0,54			U2-NP	U2-N-1	7,94	7,98	7,99	8,56	0,35			U3-NP	U3-N-1	44,89	44,90	44,89	45,22	0,27			U3-N-2	45,07	45,07	45,07
	U1-N-2	24,91	24,91	24,90						U2-N-2	8,02	8,02	8,02						U3-N-A1-1	45,17	45,20	45,20								
	U1-N-A1-1	25,16	25,15	25,15						U2-N-A1-1	8,72	8,76	8,76						U3-N-A1-2	44,94	44,95	44,95								
	U1-N-A1-2	26,52	26,53	26,53						U2-N-A1-2	8,23	8,23	8,23						U3-N-A2-1	45,51	45,50	45,50								
	U1-N-A2-1	26,38	25,83	26,75						U2-N-A2-1	8,49	8,49	8,49						U3-N-A2-2	44,85	44,85	44,85								
	U1-N-A2-2	25,87	25,83	25,82						U2-N-A2-2	7,95	7,95	7,95						U3-N-A3-1	45,31	45,31	45,31								
	U1-N-A3-1	25,38	25,38	25,37						U2-N-A3-1	8,51	8,51	8,50						U3-N-A3-2	45,40	45,40	45,40								
	U1-N-A3-2	25,95	25,95	25,95						U2-N-A3-2	8,55	8,55	8,57						U3-N-A4-1	45,03	45,03	45,03								
	U1-N-A4-1	25,60	25,64	25,85						U2-N-A4-1	8,59	8,59	8,57						U3-N-A4-2	45,14	45,14	45,15								
	U1-N-A4-2	25,69	25,71	26,10						U2-N-A4-2	8,62	8,62	8,64						U3-N-R1-1	44,99	45,00	44,99								
U1-N-R1-1	25,62	25,58	25,57	U2-N-R1-1	8,61	8,65	8,65	U3-N-R1-2	44,98	44,98	44,98																			
U1-N-R1-2	25,88	25,88	25,85	U2-N-R1-2	9,03	9,03	9,03	U3-A1-R1-1	45,50	45,49	45,49																			
U1-A1-R1-1	25,61	25,55	25,55	U2-A1-R1-1	9,27	9,27	9,27	U3-A1-R1-2	45,11	45,11	45,11																			
U1-A1-R1-2	25,41	25,41	25,41	U2-A1-R1-2	8,35	8,35	8,35	U3-A1-R1-3	45,26	45,26	45,26																			
U1-A1-R1-3	25,82	25,80	25,80	U2-A1-R1-3	8,68	8,68	8,67	U3-N-R2-1	44,84	44,84	44,84																			
U1-N-R2-1	25,81	25,81	25,81	U2-N-R2-1	8,80	8,80	8,80	U3-N-R2-2	45,06	45,05	45,06																			
U1-N-R2-2	26,36	26,36	26,31	U2-N-R2-2	8,68	8,65	8,64	U3-A2-R2-1	45,59	45,59	45,59																			
U1-A2-R2-1	25,02	25,02	25,02	U2-A2-R2-1	8,12	8,12	8,12	U3-A2-R2-2	45,35	45,40	45,34																			
U1-A2-R2-2	26,06	26,08	26,07	U2-A2-R2-2	8,85	8,85	8,86	U3-A2-R2-3	45,40	45,40	45,40																			
U1-A2-R2-3	25,05	25,04	25,04	U2-A2-R2-3	7,91	8,04	8,04	U3-N-R3-1	45,28	45,28	45,28																			
U1-N-R3-1	25,26	25,52	25,52	U2-N-R3-1	8,62	8,62	8,62	U3-N-R3-2	44,79	44,79	44,79																			
U1-N-R3-2	26,19	26,31	26,31	U2-N-R3-2	8,52	8,52	8,52	U3-A3-R3-1	45,39	45,39	45,39																			
U1-A3-R3-1	25,54	25,54	25,56	U2-A3-R3-1	8,79	8,79	8,79	U3-A3-R3-2	45,54	45,54	45,54																			
U1-A3-R3-2	24,88	24,89	24,89	U2-A3-R3-2	8,48	8,48	8,48	U3-A3-R3-3	45,59	45,59	45,59																			
U1-A3-R3-3	24,91	24,89	24,89	U2-A3-R3-3	8,63	8,63	8,63	U3-N-R4-1	45,38	45,38	45,39																			
U1-N-R4-1	26,29	26,32	26,32	U2-N-R4-1	8,38	8,38	8,38	U3-N-R4-2	45,37	45,87	45,87																			
U1-N-R4-2	27,11	27,11	27,11	U2-N-R4-2	9,29	9,23	9,23	U3-A4-R4-1	45,53	45,54	45,54																			
U1-A4-R4-1	26,14	26,14	26,12	U2-A4-R4-1	8,16	8,15	8,16	U3-A4-R4-2	44,72	44,72	44,72																			
U1-A4-R4-2	25,91	25,90	26,00	U2-A4-R4-2	8,89	8,88	8,89	U3-A4-R4-3	45,29	45,29	45,30																			
U1-A4-R4-3	26,34	26,33	26,22	U2-A4-R4-3	9,07	9,07	9,05																							
relative Standardabweichung (RSD)							2,10	relative Standardabweichung (RSD)							4,14	relative Standardabweichung (RSD)							0,60							
U4-NP	U4-N-1	69,58	69,58	69,58	69,14	0,41			U5-NP	U5-N-1	47,30	47,32	47,32	48,03	0,48			U6-NP	U6-N-1	29,26	28,46	34,19	32,61	3,80			U6-N-2	26,94	26,74	27,40
	U4-N-2	69,80	69,29	69,24						U5-N-2	47,28	47,26	47,26						U6-N-A1-1	34,61	30,72	31,56								
	U4-N-A1-1	69,41	69,41	69,41						U5-N-A1-1	47,55	47,55	47,55						U6-N-A1-2	34,50	36,23	43,17								
	U4-N-A1-2	69,98	69,86	69,87						U5-N-A1-2	48,98	48,98	48,98						U6-N-A2-1	32,05	30,61	30,16								
	U4-N-A2-1	69,62	69,62	69,20						U5-N-A2-1	47,88	47,87	47,88						U6-N-A2-2	34,85	33,60	36,28								
	U4-N-A2-2	69,35	69,36	69,36						U5-N-A2-2	47,91	47,94	47,94						U6-N-A3-1	33,91	33,70	32,62								
	U4-N-A3-1	69,79	69,78	67,79						U5-N-A3-1	48,72	48,72	48,70						U6-N-A3-2	38,27	35,63	35,28								
	U4-N-A3-2	69,19	69,19	69,20						U5-N-A3-2	48,03	48,04	48,03						U6-N-A4-1	36,99	33,40	33,85								
	U4-N-A4-1	69,50	69,51	69,31						U5-N-A4-1	47,68	47,68	47,61						U6-N-A4-2	35,18	33,36	33,11								
	U4-N-A4-2	69,09	69,08	69,08						U5-N-A4-2	48,13	48,13	48,13						U6-N-R1-1	24,18	24,35	24,26								
U4-N-R1-1	69,83	69,83	69,85	U5-N-R1-1	47,58	47,59	47,60	U6-N-R1-2	33,15	33,60	32,86																			
U4-N-R1-2	69,44	69,45	69,44	U5-N-R1-2	48,13	48,14	48,13	U6-A1-R1-1	37,32	34,40	34,61																			
U4-A1-R1-1	69,11	69,11	69,11	U5-A1-R1-1	47,32	47,33	47,32	U6-A1-R1-2	27,27	28,47	27,84																			
U4-A1-R1-2	68,87	68,86	68,86	U5-A1-R1-2	47,37	47,37	47,37	U6-A1-R1-3	33,11	32,43	38,38																			
U4-A1-R1-3	68,96	68,96	68,96	U5-A1-R1-3	47,57	47,57	47,58	U6-N-R2-1	30,57	30,15	30,99																			
U4-N-R2-1	68,39	68,59	68,57	U5-N-R2-1	48,82	48,85	48,82	U6-N-R2-2	28,62	28,98	34,91																			
U4-N-R2-2	69,02	69,01	69,01	U5-N-R2-2	48,02	48,01	48,02	U6-A2-R2-1	35,90	38,26	41,57																			
U4-A2-R2-1	68,85	68,85	68,85	U5-A2-R2-1	48,64	48,64	48,64	U6-A2-R2-2	29,76	27,27	28,13																			
U4-A2-R2-2	69,41	69,42	69,51	U5-A2-R2-2	48,87	48,68	48,57	U6-A2-R2-3	28,90	30,02	34,21																			
U4-A2-R2-3	69,21	69,04	69,04	U5-A2-R2-3	48,23	48,25	48,23	U6-N-R3-1	37,07	34,94	40,27																			
U4-N-R3-1	69,50	69,45	69,44	U5-N-R3-1	48,11	48,11	48,10	U6-N-R3-2	38,36	34,81	37,12																			
U4-N-R3-2	68,98	68,98	68,98	U5-N-R3-2	47,73	47,73	47,73	U6-A3-R3-1	30,99	29,66	32,04																			
U4-A3-R3-1	68,53	68,53	68,53	U5-A3-R3-1	48,75	48,75	48,75	U6-A3-R3-2	30,17	27,48	32,72																			
U4-A3-R3-2	69,40	69,40	69,40	U5-A3-R3-2	47,80	47,80	47,81	U6-A3-R3-3	32,72	32,07	31,50																			
U4-A3-R3-3	68,57	68,56	68,57	U5-A3-R3-3	48,36	48,36	48,36	U6-N-R4-1	31,67	33,18	37,08																			
U4-N-R4-1	68,62	68,62	68,62	U5-N-R4-1	48,28	48,28	48,27	U6-N-R4-2	29,41	28,81	31,63																			
U4-N-R4-2	68,78	68,79	68,79	U5-N-R4-2	48,19	48,15	48,14	U6-A4-R4-1	36,16	36,31	37,65																			
U4-A4-R4-1	68,85	68,85	68,85	U5-A4-R4-1	47,98	47,89	47,36	U6-A4-R4-2	30,13	29,93	33,87																			
U4-A4-R4-2	69,12	69,13	69,12	U5-A4-R4-2	47,77	47,78	47,75	U6-A4-R4-3	33,89	28,66	33,64																			
U4-A4-R4-3	68,85	68,86	68,86	U5-A4-R4-3	48,31	48,23	48,11																							
relative Standardabweichung (RSD)							0,59	relative Standardabweichung (RSD)							1,00	relative Standardabweichung (RSD)							11,64							



## 2.7 Rauheit

### Prüfkörper im Originalzustand

Untergrund	Probennummer	ohne AGS					Untergrund	Probennummer	ohne AGS					Untergrund	Probennummer	ohne AGS				
		1	2	3	MW	s			1	2	3	MW	s			1	2	3	MW	s
U1-NP	U1-N-1	111,63	110,54	110,90			U2-NP	U2-N-1	99,45	99,32	100,26			U3-NP	U3-N-1	330,20	374,38	318,52		
	U1-N-2	111,45	111,73	111,42				U2-N-2	100,82	101,50	100,49				U3-N-2	284,44	284,42	250,42		
	U1-N-A1-1	110,24	111,71	110,22				U2-N-A1-1	100,42	100,87	100,66				U3-N-A1-1	284,39	284,36	296,50		
	U1-N-A1-2	109,08	111,56	110,21				U2-N-A1-2	100,44	100,35	100,38				U3-N-A1-2	330,49	374,32	396,50		
	U1-N-A2-1	110,31	109,73	110,41				U2-N-A2-1	99,96	99,01	99,37				U3-N-A2-1	408,53	428,42	431,10		
	U1-N-A2-2	111,39	109,90	110,52				U2-N-A2-2	99,52	100,14	100,51				U3-N-A2-2	440,35	416,51	450,41		
	U1-N-A3-1	112,22	110,14	109,08				U2-N-A3-1	100,26	100,38	100,33				U3-N-A3-1	326,58	338,41	336,50		
	U1-N-A3-2	110,90	110,15	110,92				U2-N-A3-2	100,65	100,71	100,20				U3-N-A3-2	292,46	292,38	248,27		
	U1-N-A4-1	110,59	111,92	110,12				U2-N-A4-1	100,43	100,35	100,44				U3-N-A4-1	296,39	314,52	311,79		
	U1-N-A4-2	112,36	108,94	108,89				U2-N-A4-2	99,23	99,03	99,81				U3-N-A4-2	386,46	382,44	382,48		
U1-AGS1	U1-N-R1-1	110,17	111,46	111,50			U2-AGS1	U2-N-R1-1	100,92	100,87	100,07			U3-AGS1	U3-N-R1-1	336,34	358,46	360,36		
	U1-N-R1-2	112,74	111,13	110,82				U2-N-R1-2	99,70	100,08	100,13				U3-N-R1-2	336,27	282,49	359,25		
	U1-A1-R1-1	110,46	110,14	110,18				U2-A1-R1-1	100,23	99,18	100,71				U3-A1-R1-1	404,44	360,36	370,36		
	U1-A1-R1-2	110,16	109,51	111,82				U2-A1-R1-2	100,41	100,41	100,47				U3-A1-R1-2	381,19	358,29	332,48		
	U1-A1-R1-3	110,81	110,54	112,33				U2-A1-R1-3	99,03	99,31	99,74				U3-A1-R1-3	212,42	222,23	234,22		
U1-AGS2	U1-N-R2-1	110,00	110,15	111,80	110,78	0,89	U2-AGS2	U2-N-R2-1	100,35	100,39	100,42	100,19	0,59	U3-AGS2	U3-N-R2-1	384,29	360,36	356,38	339,72	56,94
	U1-N-R2-2	112,28	110,31	111,23				U2-N-R2-2	101,49	100,45	100,36				U3-N-R2-2	314,41	314,46	314,38		
	U1-A2-R2-1	110,25	110,84	110,97				U2-A2-R2-1	100,73	101,55	100,37				U3-A2-R2-1	336,30	358,25	358,33		
	U1-A2-R2-2	110,49	111,54	109,86				U2-A2-R2-2	100,42	99,43	99,35				U3-A2-R2-2	324,40	348,24	358,37		
	U1-A2-R2-3	111,13	111,17	111,04				U2-A2-R2-3	99,71	99,40	99,55				U3-A2-R2-3	474,04	452,17	428,37		
U1-AGS3	U1-N-R3-1	111,89	109,61	111,98			U2-AGS3	U2-N-R3-1	100,62	100,95	100,98			U3-AGS3	U3-N-R3-1	280,47	326,35	336,28		
	U1-N-R3-2	111,50	110,32	109,66				U2-N-R3-2	100,51	101,21	100,85				U3-N-R3-2	280,42	292,46	270,32		
	U1-A3-R3-1	110,13	111,08	111,76				U2-A3-R3-1	100,33	100,33	100,64				U3-A3-R3-1	344,33	332,17	356,28		
	U1-A3-R3-2	109,90	110,57	109,01				U2-A3-R3-2	99,47	99,43	99,49				U3-A3-R3-2	264,44	276,28	276,27		
	U1-A3-R3-3	109,47	112,20	111,04				U2-A3-R3-3	99,38	99,43	99,92				U3-A3-R3-3	412,10	378,21	386,20		
U1-AGS4	U1-N-R4-1	110,28	110,51	110,23			U2-AGS4	U2-N-R4-1	99,95	99,74	100,24			U3-AGS4	U3-N-R4-1	258,33	326,28	360,27		
	U1-N-R4-2	112,23	111,67	111,79				U2-N-R4-2	100,65	101,15	100,63				U3-N-R4-2	416,60	462,23	428,30		
	U1-A4-R4-1	111,46	110,71	110,85				U2-A4-R4-1	100,84	100,09	100,32				U3-A4-R4-1	344,24	366,26	356,22		
	U1-A4-R4-2	112,10	111,23	110,68				U2-A4-R4-2	100,20	99,39	100,21				U3-A4-R4-2	310,13	322,08	298,19		
	U1-A4-R4-3	109,73	110,53	109,73				U2-A4-R4-3	99,88	100,08	99,86				U3-A4-R4-3	310,20	254,20	264,16		
RSD						0,80	RSD						0,59	RSD						16,76

Untergrund	Probennummer	ohne AGS					Untergrund	Probennummer	ohne AGS					Untergrund	Probennummer	ohne AGS				
		1	2	3	MW	s			1	2	3	MW	s			1	2	3	MW	s
U4-NP	U4-N-1	126,17	125,91	125,63			U5-NP	U5-N-1	372,21	384,19	372,19			U6-NP	U6-N-1	146,93	168,98	166,94		
	U4-N-2	123,60	126,41	124,66				U5-N-2	360,19	306,39	306,42				U6-N-2	395,09	397,27	351,50		
	U4-N-A1-1	125,00	125,57	125,11				U5-N-A1-1	444,87	450,30	368,39				U6-N-A1-1	184,22	166,08	178,98		
	U4-N-A1-2	125,72	124,36	122,87				U5-N-A1-2	330,16	318,25	306,36				U6-N-A1-2	146,97	151,83	158,08		
	U4-N-A2-1	123,38	121,77	126,20				U5-N-A2-1	338,25	338,16	438,20				U6-N-A2-1	438,36	425,90	438,27		
	U4-N-A2-2	125,16	125,50	123,38				U5-N-A2-2	370,32	304,26	360,26				U6-N-A2-2	115,95	129,95	125,75		
	U4-N-A3-1	127,08	127,64	124,80				U5-N-A3-1	363,83	375,91	375,94				U6-N-A3-1	392,18	402,25	402,18		
	U4-N-A3-2	125,09	125,45	123,86				U5-N-A3-2	310,07	298,05	309,99				U6-N-A3-2	158,03	170,01	170,12		
	U4-N-A4-1	125,44	125,64	126,12				U5-N-A4-1	432,16	456,09	465,94				U6-N-A4-1	292,28	347,95	270,27		
	U4-N-A4-2	125,41	125,24	122,26				U5-N-A4-2	426,23	426,03	414,01				U6-N-A4-2	192,21	182,22	182,26		
U4-AGS1	U4-N-R1-1	125,09	125,49	124,13			U5-AGS1	U5-N-R1-1	304,11	314,15	336,10			U6-AGS1	U6-N-R1-1	177,07	178,71	164,03		
	U4-N-R1-2	125,27	125,53	124,61				U5-N-R1-2	328,25	360,28	370,22				U6-N-R1-2	170,20	191,32	188,36		
	U4-A1-R1-1	125,05	124,05	124,49				U5-A1-R1-1	312,17	306,68	396,27				U6-A1-R1-1	192,27	180,17	182,90		
	U4-A1-R1-2	124,20	125,32	124,41				U5-A1-R1-2	432,24	420,22	430,21				U6-A1-R1-2	369,82	360,83	380,00		
	U4-A1-R1-3	124,95	124,13	124,93				U5-A1-R1-3	374,19	318,32	330,30				U6-A1-R1-3	156,05	163,15	164,80		
U4-AGS2	U4-N-R2-1	126,43	126,96	125,24	125,11	1,01	U5-AGS2	U5-N-R2-1	440,12	405,90	393,83	374,60	45,19	U6-AGS2	U6-N-R2-1	228,02	228,01	284,24	241,77	103,14
	U4-N-R2-2	126,37	126,24	125,93				U5-N-R2-2	449,82	371,90	371,82				U6-N-R2-2	216,17	226,24	204,23		
	U4-A2-R2-1	124,43	124,03	125,32				U5-A2-R2-1	338,14	372,17	338,17				U6-A2-R2-1	204,34	170,15	204,32		
	U4-A2-R2-2	125,45	125,21	125,78				U5-A2-R2-2	404,08	392,11	392,13				U6-A2-R2-2	216,31	238,40	238,27		
	U4-A2-R2-3	124,81	126,15	124,46				U5-A2-R2-3	438,21	448,28	392,19				U6-A2-R2-3	494,28	416,13	452,06		
U4-AGS3	U4-N-R3-1	125,47	126,07	124,35			U5-AGS3	U5-N-R3-1	405,98	393,95	393,89			U6-AGS3	U6-N-R3-1	170,04	182,10	158,12		
	U4-N-R3-2	124,17	124,67	124,09				U5-N-R3-2	405,92	393,99	405,99				U6-N-R3-2	158,03	170,01	170,12		
	U4-A3-R3-1	126,07	125,96	125,94				U5-A3-R3-1	338,17	348,27	338,26				U6-A3-R3-1	434,05	444,14	400,34		
	U4-A3-R3-2	124,65	124,14	124,14				U5-A3-R3-2	326,13	326,16	414,11				U6-A3-R3-2	356,21	344,21	344,38		
	U4-A3-R3-3	124,68	125,03	125,41				U5-A3-R3-3	360,26	370,32	370,40				U6-A3-R3-3	198,23	182,23	188,22		
U4-AGS4	U4-N-R4-1	126,64	127,00	124,70			U5-AGS4	U5-N-R4-1	428,13	406,02	383,86			U6-AGS4	U6-N-R4-1	144,10	156,14	132,27		
	U4-N-R4-2	124,85	125,68	124,44				U5-N-R4-2	418,12	405,91	405,98				U6-N-R4-2	212,03	200,06	190,14		
	U4-A4-R4-1	126,49	125,22	125,81				U5-A4-R4-1	338,23	336,23	360,30				U6-A4-R4-1	148,07	148,05	136,13		
	U4-A4-R4-2	124,07	125,16	124,62				U5-A4-R4-2	326,15	326,17	314,12				U6-A4-R4-2	378,24	366,22	356,12		
	U4-A4-R4-3	124,76	125,89	125,02				U5-A4-R4-3	426,24	414,20	426,30				U6-A4-R4-3	171,94	171,96	171,94		
RSD						0,81	RSD						12,06	RSD						42,66

## 2.8 Wasseraufnahmekoeffizient

Prüfkörper im Originalzustand

Bezeichnung	Untergrund	Probennummer	WA in 24 h [kg] OP	Fläche [cm <sup>2</sup> ]	w-Wert			AW w-Wert
					ohne AGS EW	MW	s	ohne AGS
ohne AGS	U1	U1-N-1	0,0034	0,029	0,02	0,023	0,003	WA
		U1-N-2	0,0030	0,029	0,02			WA
nur AGS ohne Reini- gung		U1-N-A1-1	0,0037	0,028	0,03			WA
		U1-N-A1-2	0,0041	0,028	0,03			WA
		U1-N-A2-1	0,0038	0,028	0,03			WA
		U1-N-A2-2	0,0035	0,029	0,03			WA
		U1-N-A3-1	0,0040	0,029	0,03			WA
		U1-N-A3-2	0,0031	0,029	0,02			WA
		U1-N-A4-1	0,0036	0,029	0,03			WA
	U1-N-A4-2	0,0030	0,029	0,02	WA			
ohne AGS	U2	U2-N-1	0,0081	0,028	0,06	0,058	0,003	WA
		U2-N-2	0,0080	0,028	0,06			WA
nur AGS ohne Reini- gung		U2-N-A1-1	0,0079	0,028	0,06			WA
		U2-N-A1-2	0,0077	0,028	0,06			WA
		U2-N-A2-1	0,0078	0,029	0,06			WA
		U2-N-A2-2	0,0070	0,028	0,05			WA
		U2-N-A3-1	0,0080	0,029	0,06			WA
		U2-N-A3-2	0,0072	0,028	0,05			WA
		U2-N-A4-1	0,0075	0,028	0,05			WA
	U2-N-A4-2	0,0071	0,029	0,05	WA			
ohne AGS	U3	U3-N-1	0,0012	0,028	0,01	0,008	0,001	WA
		U3-N-2	0,0011	0,028	0,01			WA
nur AGS ohne Reini- gung		U3-N-A1-1	0,0013	0,028	0,01			WA
		U3-N-A1-2	0,0011	0,028	0,01			WA
		U3-N-A2-1	0,0014	0,028	0,01			WA
		U3-N-A2-2	0,0011	0,028	0,01			WA
		U3-N-A3-1	0,0014	0,028	0,01			WA
		U3-N-A3-2	0,0013	0,028	0,01			WA
		U3-N-A4-1	0,0012	0,028	0,01			WA
	U3-N-A4-2	0,0011	0,028	0,01	WA			
ohne AGS	U4	U4-N-1	0,0017	0,030	0,01	0,011	0,001	WA
		U4-N-2	0,0015	0,030	0,01			WA
nur AGS ohne Reini- gung		U4-N-A1-1	0,0016	0,030	0,01			WA
		U4-N-A1-2	0,0016	0,030	0,01			WA
		U4-N-A2-1	0,0014	0,030	0,01			WA
		U4-N-A2-2	0,0015	0,030	0,01			WA
		U4-N-A3-1	0,0017	0,030	0,01			WA
		U4-N-A3-2	0,0017	0,031	0,01			WA
		U4-N-A4-1	0,0017	0,030	0,01			WA
	U4-N-A4-2	0,0015	0,030	0,01	WA			
ohne AGS	U5	U5-N-1	0,0811	0,030	0,55	0,546	0,017	WH
		U5-N-2	0,0811	0,030	0,55			WH
nur AGS ohne Reini- gung		U5-N-A1-1	0,0813	0,030	0,55			WH
		U5-N-A1-2	0,0841	0,030	0,57			WH
		U5-N-A2-1	0,0823	0,030	0,56			WH
		U5-N-A2-2	0,0871	0,030	0,60			WH
		U5-N-A3-1	0,0809	0,030	0,55			WH
		U5-N-A3-2	0,0824	0,031	0,55			WH
		U5-N-A4-1	0,0810	0,030	0,54			WH
	U5-N-A4-2	0,0824	0,031	0,55	WH			
ohne AGS	U6	U6-N-1	0,0435	0,031	0,29	0,286	0,011	WA
		U6-N-2	0,0418	0,030	0,28			WA
nur AGS ohne Reini- gung		U6-N-A1-1	0,0394	0,031	0,26			WA
		U6-N-A1-2	0,0418	0,030	0,28			WA
		U6-N-A2-1	0,0408	0,030	0,27			WA
		U6-N-A2-2	0,0418	0,031	0,28			WA
		U6-N-A3-1	0,0399	0,030	0,27			WA
		U6-N-A3-2	0,0407	0,030	0,27			WA
		U6-N-A4-1	0,0442	0,031	0,30			WA
	U6-N-A4-2	0,0396	0,030	0,27	WA			

S	Saugend
WH	Wasserhemmend
WA	Wasserabweisend
WU	Wasserundurchlässig

### 3. Stufe III: Nach Auftrag AGS – Vor Bewitterung

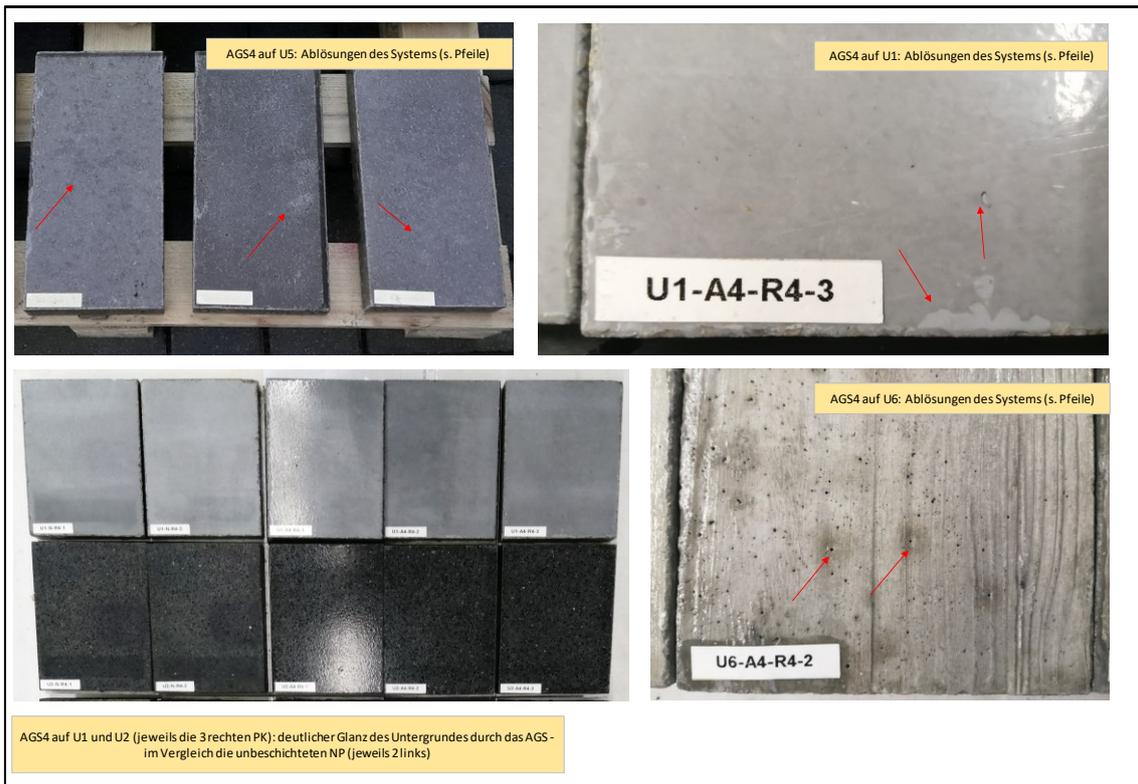
#### 3.5 Schichtdicke

Schichtdicke [µm] nach Auftrag - vor Bewitterung																																												
AGS	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag						AGS	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag						AGS	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag																							
			Messwert			MW	s	RSD				Messwert			MW	s	RSD				Messwert			MW	s	RSD																		
			1	2	3						1	2	3							1	2	3																						
AGS1	U1	U1-N-A1-1	46,00	45,00	45,00				AGS1	U2	U2-N-A1-1	35,00	36,00	50,00				AGS1	U3	U3-N-A1-1	38,00	37,00	37,00				AGS1	U3	U3-N-A1-2	35,00	37,00	39,00				AGS1	U3	U3-A1-R1-1	35,00	35,00	35,00	35,27	2,19	6
		U1-N-A1-2	43,00	48,00	50,00						U2-N-A1-2	55,00	56,00	48,00						U3-A1-R1-2	30,00	34,00	35,00						U3-A1-R1-3	35,00	34,00	33,00												
		U1-A1-R1-1	54,00	55,00	52,00	49,80	3,71	7			U2-A1-R1-1	53,00	57,00	51,00	50,67	7,01	14			U3-N-A2-1	33,00	32,00	32,00						U3-N-A2-2	32,00	32,00	32,00						U3-A2-R2-1	35,00	38,00	35,00	34,13	3,02	9
		U1-A1-R1-2	50,00	50,00	54,00						U2-A1-R1-2	56,00	58,00	52,00						U3-N-A2-3	32,00	32,00	32,00						U3-A2-R2-2	33,00	31,00	31,00						U3-A2-R2-3	37,00	40,00	39,00			
AGS2	U1	U1-N-A2-1	48,00	50,00	54,00				AGS2	U2	U2-N-A2-1	46,00	50,00	46,00				AGS2	U3	U3-N-A3-1	81,00	83,00	81,00				AGS2	U3	U3-N-A3-2	77,00	78,00	77,00				AGS2	U3	U3-A3-R3-1	90,00	76,00	109,00	82,20	8,55	10
		U1-N-A2-2	50,00	53,00	53,00						U2-N-A2-2	44,00	49,00	52,00						U3-N-A3-3	81,00	86,00	83,00						U3-A3-R3-2	81,00	86,00	83,00												
		U1-A2-R2-1	52,00	49,00	47,00	50,20	3,03	6			U2-A2-R2-1	44,00	49,00	47,00	46,47	2,59	6			U3-A3-R3-3	77,00	73,00	81,00						U3-N-A4-1	31,00	30,00	31,00						U3-N-A4-2	37,00	36,00	33,00			
		U1-A2-R2-2	49,00	53,00	55,00						U2-A2-R2-2	43,00	44,00	46,00						U3-A4-R4-1	32,00	32,00	33,00	32,60	1,88	6			U3-A4-R4-2	31,00	32,00	32,00						U3-A4-R4-3	33,00	34,00	32,00			
AGS3	U1	U1-N-A3-1	162,00	165,00	161,00				AGS3	U2	U2-N-A3-1	113,00	122,00	116,00				AGS3	U3	U3-N-A4-1	41,00	47,00	47,00				AGS3	U3	U3-N-A4-2	42,00	45,00	54,00				AGS3	U3	U3-A4-R4-1	51,00	53,00	55,00	47,40	5,58	12
		U1-N-A3-2	131,00	132,00	132,00						U2-N-A3-2	113,00	113,00	114,00						U3-A4-R4-2	40,00	41,00	40,00						U3-A4-R4-3	51,00	50,00	54,00												
		U1-A3-R3-1	130,00	130,00	129,00	134,00	16,26	12			U2-A3-R3-1	117,00	119,00	116,00	120,80	12,51	10			U3-N-A4-3	42,00	45,00	54,00						U3-A4-R4-3	33,00	34,00	32,00												
		U1-A3-R3-2	134,00	130,00	130,00						U2-A3-R3-2	145,00	144,00	144,00						U3-A4-R4-3	31,00	32,00	32,00																					
AGS4	U1	U1-N-A4-1	45,00	48,00	47,00				AGS4	U2	U2-N-A4-1	41,00	47,00	47,00				AGS4	U3	U3-N-A4-3	31,00	30,00	31,00				AGS4	U3	U3-N-A4-3	31,00	30,00	31,00				AGS4	U3	U3-A4-R4-3	31,00	32,00	32,00			
		U1-N-A4-2	54,00	57,00	58,00						U2-N-A4-2	42,00	45,00	54,00						U3-N-A4-3	37,00	36,00	33,00						U3-A4-R4-3	31,00	32,00	32,00												
		U1-A4-R4-1	40,00	47,00	48,00	48,40	6,42	13			U2-A4-R4-1	51,00	53,00	55,00	47,40	5,58	12			U3-N-A4-3	37,00	36,00	33,00						U3-A4-R4-3	31,00	32,00	32,00												
		U1-A4-R4-2	53,00	53,00	54,00						U2-A4-R4-2	40,00	41,00	40,00						U3-N-A4-3	37,00	36,00	33,00						U3-A4-R4-3	31,00	32,00	32,00												

Schichtdicke [µm] nach Auftrag - vor Bewitterung																																												
AGS	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag						AGS	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag						AGS	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag																							
			Messwert			MW	s	RSD				Messwert			MW	s	RSD				Messwert			MW	s	RSD																		
			1	2	3						1	2	3							1	2	3																						
AGS1	U4	U4-N-A1-1	52,00	52,00	53,00				AGS1	U5	U5-N-A1-1	70,00	78,00	74,00				AGS1	U6	U6-N-A1-1	33,00	34,00	33,00				AGS1	U6	U6-N-A1-2	34,00	33,00	33,00				AGS1	U6	U6-A1-R1-1	38,00	36,00	36,00	33,80	1,66	5
		U4-N-A1-2	50,00	50,00	52,00						U5-N-A1-2	64,00	63,00	61,00						U6-A1-R1-2	32,00	33,00	32,00						U6-A1-R1-3	34,00	33,00	33,00												
		U4-A1-R1-1	50,00	50,00	50,00	51,47	1,81	4			U5-A1-R1-1	64,00	76,00	77,00	62,13	15,21	24			U6-N-A2-1	37,00	34,00	31,00						U6-N-A2-2	35,00	35,00	36,00						U6-A2-R2-1	36,00	36,00	36,00	35,53	1,81	5
		U4-A1-R1-2	50,00	51,00	50,00						U5-A1-R1-2	76,00	45,00	71,00						U6-N-A2-3	37,00	34,00	31,00						U6-A2-R2-2	34,00	38,00	38,00						U6-A2-R2-3	34,00	36,00	37,00			
AGS2	U4	U4-N-A2-1	52,00	54,00	54,00				AGS2	U5	U5-N-A2-1	42,00	41,00	42,00				AGS2	U6	U6-N-A3-1	36,00	36,00	55,00				AGS2	U6	U6-N-A3-2	33,00	34,00	34,00				AGS2	U6	U6-A3-R3-1	30,00	34,00	32,00	36,20	5,71	16
		U4-N-A2-2	52,00	54,00	50,00						U5-N-A2-2	49,00	72,00	42,00						U6-N-A3-3	36,00	36,00	37,00						U6-A3-R3-2	34,00	40,00	35,00												
		U4-A2-R2-1	53,00	55,00	52,00	52,53	1,96	4			U5-A2-R2-1	43,00	45,00	64,00	46,87	9,26	20			U6-A3-R3-3	36,00	37,00	37,00						U6-A4-R4-1	42,00	36,00	36,00						U6-A4-R4-2	41,00	40,00	36,00	37,47	3,16	8
		U4-A2-R2-2	54,00	56,00	50,00						U5-A2-R2-2	40,00	40,00	40,00						U6-N-A4-1	42,00	36,00	36,00						U6-A4-R4-3	41,00	40,00	36,00												
AGS3	U4	U4-A2-R2-3	50,00	50,00	52,00				AGS3	U5	U5-A2-R2-3	48,00	46,00	49,00				AGS3	U6	U6-N-A4-2	35,00	36,00	36,00				AGS3	U6	U6-A4-R4-1	41,00	36,00	38,00				AGS3	U6	U6-A4-R4-2	41,00	40,00	36,00			
		U4-N-A3-1	170,00	168,00	167,00						U5-N-A3-1	130,00	133,00	138,00						U6-N-A4-3	36,00	36,00	37,00						U6-A4-R4-3	30,00	41,00	38,00												
		U4-N-A3-2	152,00	152,00	154,00						U5-N-A3-2	121,00	121,00	121,00						U6-N-A4-3	36,00	36,00	37,00																					
		U4-A3-R3-1	137,00	146,00	145,00	161,00	22,80	14			U5-A3-R3-1	126,00	122,00	120,00	123,27	7,19	6			U6-N-A4-3	36,00	36,00	37,00																					
AGS4	U4	U4-A3-R3-2	140,00	141,00	142,00				AGS4	U5	U5-A3-R3-2	115,00	108,00	125,00				AGS4	U6	U6-N-A4-3	42,00	36,00	36,00				AGS4	U6	U6-A4-R4-1	41,00	36,00	38,00				AGS4	U6	U6-A4-R4-2	41,00	40,00	36,00			
		U4-A3-R3-3	200,00	201,00	200,00						U5-A3-R3-3	119,00	124,00	126,00						U6-N-A4-3	42,00	36,00	36,00						U6-A4-R4-3	41,00	40,00	36,00												
		U4-N-A4-1	50,00	55,00	58,00						U5-N-A4-1	55,00	65,00	64,00						U6-N-A4-3	42,00	36,00	36,00						U6-A4-R4-3	41,00	40,00	36,00												
		U4-N-A4-2	53,00	54,00	53,00						U5-N-A4-2	63,00	58,00	70,00						U6-N-A4-3	42,00	36,00	36,00						U6-A4-R4-3	41,00	40,00	36,00												



## Fotodokumentation zur Verbalbeschreibung (Beispiel: AGS4)



### 3.7 Glanz

#### Beschichtete Prüfkörper nach Auftrag AGS

Glanz nach Auftrag der AGS													
Untergrund	AGS	Probennummer	vor Auftrag AGS MW	nach Auftrag AGS			Untergrund	AGS	Probennummer	vor Auftrag AGS MW	nach Auftrag AGS		
				MW NP	MW AGS	MW ges.					MW NP	MW AGS	MW ges.
U1	AGS1	U1-N-A1-1	27,73	11,82	11,9	11,87	U4	AGS1	U1-N-A1-1	10,70	9,51	9,69	9,60
		U1-N-A1-2							U1-N-A1-2				
	AGS2	U1-N-A2-1		56,54	55,8	56,19		AGS2	U1-N-A2-1		30,97	31,88	31,43
		U1-N-A2-2							U1-N-A2-2				
	AGS3	U1-N-A3-1		46,62	49,9	48,24		AGS3	U1-N-A3-1		48,47	49,35	48,91
		U1-N-A3-2							U1-N-A3-2				
	AGS4	U1-N-A4-1		86,76	84,9	85,81		AGS4	U1-N-A4-1		88,4	89,28	88,84
		U1-N-A4-2							U1-N-A4-2				

Untergrund	AGS	Probennummer	vor Auftrag AGS MW	nach Auftrag AGS			Untergrund	AGS	Probennummer	vor Auftrag AGS MW	nach Auftrag AGS		
				MW NP	MW AGS	MW ges.					MW NP	MW AGS	MW ges.
U2	AGS1	U1-N-A1-1	22,59	10,49	10,7	10,59	U5	AGS1	U1-N-A1-1	0,10	0,53	0,51	0,52
		U1-N-A1-2							U1-N-A1-2				
	AGS2	U1-N-A2-1		38,99	39,8	39,40		AGS2	U1-N-A2-1		0,15	0,17	0,16
		U1-N-A2-2							U1-N-A2-2				
	AGS3	U1-N-A3-1		50,34	49,9	50,10		AGS3	U1-N-A3-1		25,66	25,6	25,63
		U1-N-A3-2							U1-N-A3-2				
	AGS4	U1-N-A4-1		82,57	83,3	82,94		AGS4	U1-N-A4-1		13,29	13,57	13,43
		U1-N-A4-2							U1-N-A4-2				

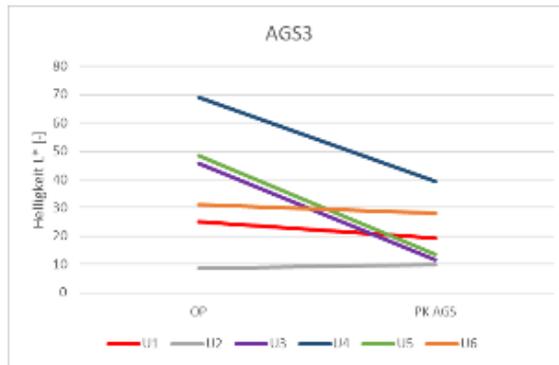
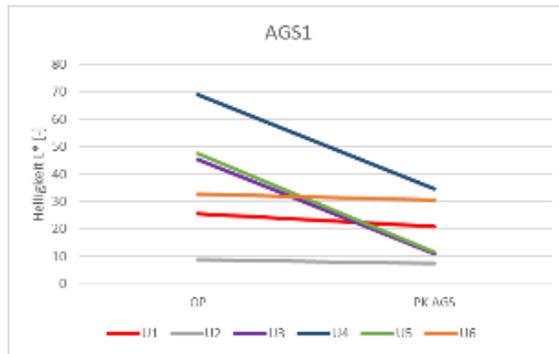
  

Untergrund	AGS	Probennummer	vor Auftrag AGS MW	nach Auftrag AGS			Untergrund	AGS	Probennummer	vor Auftrag AGS MW	nach Auftrag AGS		
				MW NP	MW AGS	MW ges.					MW NP	MW AGS	MW ges.
U3	AGS1	U1-N-A1-1	0,52	0,76	0,79	0,78	U6	AGS1	U1-N-A1-1	0,19	0,20	0,19	0,20
		U1-N-A1-2							U1-N-A1-2				
	AGS2	U1-N-A2-1		4,07	4,15	4,11		AGS2	U1-N-A2-1		0,19	0,18	0,19
		U1-N-A2-2							U1-N-A2-2				
	AGS3	U1-N-A3-1		18,68	18,4	18,54		AGS3	U1-N-A3-1		23,15	23,04	23,10
		U1-N-A3-2							U1-N-A3-2				
	AGS4	U1-N-A4-1		9,37	9,57	9,47		AGS4	U1-N-A4-1		24,02	23,61	23,82
		U1-N-A4-2							U1-N-A4-2				

### 3.8 Helligkeit

#### Beschichtete PK nach Auftrag AGS

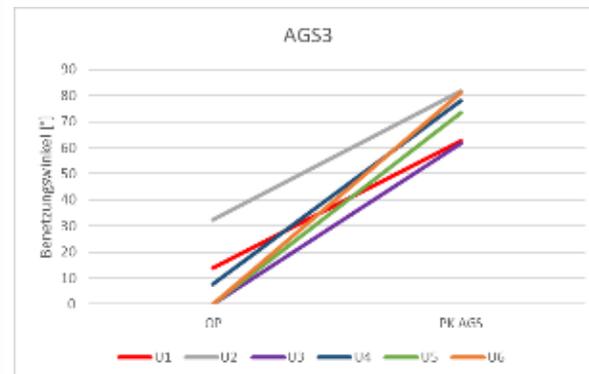
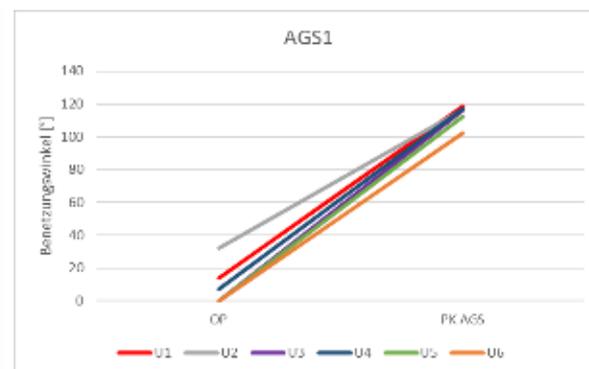
Veränderung der Originalprüfkörper durch den Auftrag eines AGS					
AGS		OP	PK AGS	Veränderung Helligkeit	
				[-fache]	[%]
AGS1	U1	25,60	20,92	1	-18
	U2	8,77	7,45	1	-15
	U3	45,29	11,00	11	-76
	U4	68,98	34,78	1	-50
	U5	47,42	11,72	12	-75
	U6	32,65	30,66	31	-6
AGS2	U1	25,38	25,13	1	-1
	U2	8,32	8,51	1	2
	U3	45,44	11,51	12	-75
	U4	69,13	34,98	1	-49
	U5	48,53	14,49	14	-70
	U6	32,67	33,02	33	1
AGS3	U1	25,11	19,34	1	-23
	U2	8,63	9,85	1	14
	U3	45,51	11,64	12	-74
	U4	68,83	39,18	1	-43
	U5	48,30	13,55	14	-72
	U6	31,04	27,93	28	-10
AGS4	U1	26,12	25,46	1	-3
	U2	8,70	9,46	1	9
	U3	45,18	11,23	11	-75
	U4	68,94	41,55	1	-40
	U5	47,91	14,54	15	-70
	U6	33,36	34,14	34	2



### 3.9 Benetzungswinkel

#### Beschichtete PK nach Auftrag AGS

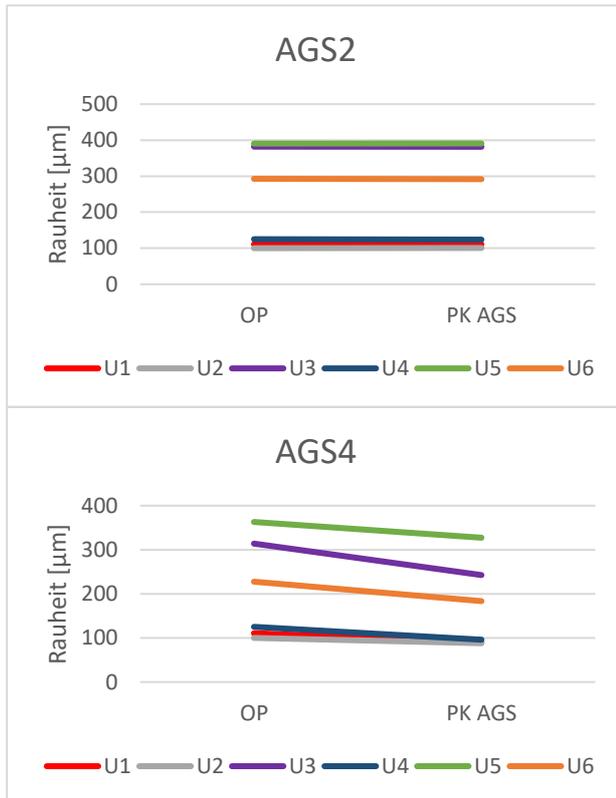
Veränderung der Originalprüfkörper durch den Auftrag eines AGS					
AGS		OP	PK AGS	Abnahme Benetzbarkeit	
				[-fache]	[%]
AGS1	U1	13,78	118,75	9	762
	U2	32,07	116,53	4	263
	U3	0,00	116,12	116	1501
	U4	7,32	117,16	16	
	U5	0,00	112,18	112	
	U6	0,00	102,32	102	
AGS2	U1	13,49	110,49	8	719
	U2	32,37	112,23	3	247
	U3	0,00	98,27	98	1349
	U4	7,85	113,73	14	
	U5	0,00	116,78	117	
	U6	0,00	107,86	108	
AGS3	U1	13,96	62,51	4	348
	U2	32,23	81,84	3	154
	U3	0,00	61,63	62	897
	U4	7,82	77,93	10	
	U5	0,00	73,29	73	
	U6	0,00	81,04	81	
AGS4	U1	13,74	77,92	6	467
	U2	32,58	70,56	2	117
	U3	0,00	61,28	61	995
	U4	7,43	81,33	11	
	U5	0,00	76,65	77	
	U6	0,00	80,28	80	



### 3.10 Rauheit

Beschichtete PK nach Auftrag AGS

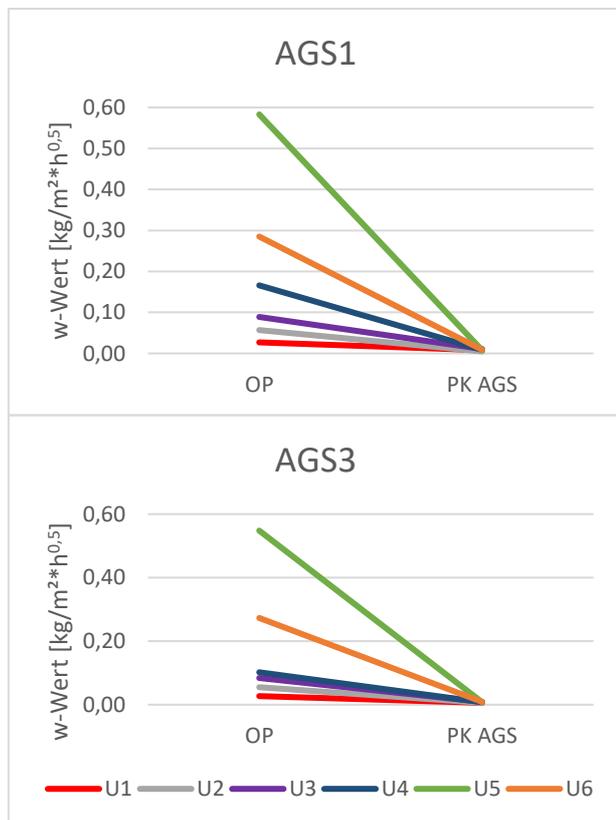
Veränderung der Originalprüfkörper durch den Auftrag eines AGS					
AGS		OP	PK AGS	Veränderung Rauheit	
				[-fache]	[%]
AGS1	U1	110,66	109,92	1	-1
	U2	99,94	98,09	1	-2
	U3	319,56	315,38	1	-1
	U4	124,61	124,83	1	0
	U5	368,96	365,72	1	-1
	U6	249,24	238,47	1	-4
AGS2	U1	110,81	110,70	1	0
	U2	100,06	100,63	1	1
	U3	382,05	381,68	1	0
	U4	125,07	123,86	1	-1
	U5	390,61	390,92	1	0
	U6	292,70	291,76	1	0
AGS3	U1	110,57	108,25	1	-2
	U2	99,83	90,70	1	-9
	U3	336,25	156,74	2	-53
	U4	125,11	103,44	1	-17
	U5	354,67	280,18	1	-21
	U6	321,33	156,21	2	-51
AGS4	U1	110,78	90,38	1	-18
	U2	100,09	88,04	1	-12
	U3	313,96	242,61	1	-23
	U4	125,23	96,07	1	-23
	U5	363,10	327,39	1	-10
	U6	227,63	183,56	1	-19



### 3.11 Wasseraufnahmekoeffizient

Beschichtete PK nach Auftrag AGS

Veränderung der Originalprüfkörper durch den Auftrag eines AGS					
AGS		OP	PK AGS	Veränderung w-Wert	
				[-fache]	[%]
AGS1	U1	0,027	0,008	3	-70
	U2	0,057	0,005	11	-91
	U3	0,089	0,011	8	-88
	U4	0,166	0,009	18	-95
	U5	0,583	0,008	73	-99
	U6	0,285	0,009	32	-97
AGS2	U1	0,023	0,014	2	-39
	U2	0,055	0,008	7	-85
	U3	0,084	0,014	6	-83
	U4	0,108	0,013	8	-88
	U5	0,567	0,054	11	-90
	U6	0,281	0,012	23	-96
AGS3	U1	0,027	0,006	5	-78
	U2	0,055	0,006	9	-89
	U3	0,084	0,009	9	-89
	U4	0,102	0,008	13	-92
	U5	0,548	0,008	69	-99
	U6	0,273	0,009	30	-97
AGS4	U1	0,027	0,006	5	-78
	U2	0,055	0,005	11	-91
	U3	0,078	0,006	13	-92
	U4	0,108	0,004	27	-96
	U5	0,537	0,004	134	-99
	U6	0,280	0,004	70	-99



Wasseraufnahmevermögen nach DIN 4108-3 und DIN EN 1062-3

AGS	U	OP	WA-Vermögen		AGS	U	OP	WA-Vermögen	
			PK mit AGS	Klasse				PK mit AGS	Klasse
AGS1	U1	WA	WA	W <sub>3</sub>	AGS3	U1	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U2	WA	WA	W <sub>3</sub>		U2	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U3	WA	WA	W <sub>3</sub>		U3	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U4	WA	WA	W <sub>3</sub>		U4	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U5	WH	WA	W <sub>3</sub>		U5	WH	WA	W <sub>3</sub>
	U6	WA	WA	W <sub>3</sub>		U6	WA	WA	W <sub>3</sub>
AGS2	U1	WA	WA	W <sub>3</sub>	AGS4	U1	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U2	WA	WA	W <sub>3</sub>		U2	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U3	WA	WA	W <sub>3</sub>		U3	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U4	WA	WA	W <sub>3</sub>		U4	WA	WA	W <sub>3</sub>
	U5	WH	WA	W <sub>3</sub>		U5	WH	WA	W <sub>3</sub>
	U6	WA	WA	W <sub>3</sub>		U6	WA	WA	W <sub>3</sub>

Klassen nach DIN 4108-3

S	Saugend	$w > 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$
WH	Wasserhemmend	$w \leq 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$
WA	Wasserabweisend	$w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$
WU	Wasserundurchlässig	$w \leq 0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$

Klassen nach DIN EN 1062-3

W <sub>0</sub>	keine Anforderungen	
W <sub>1</sub>	Wasserundurchlässigkeit hoch	$w > 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$
W <sub>2</sub>	Wasserundurchlässigkeit mittel	$w > 0,1 \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$
W <sub>3</sub>	Wasserundurchlässigkeit niedrig	$w \leq 0,1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}0,5)$

### 3.12 Abreißfestigkeit

#### Abreißfestigkeit AGS3 und AGS4

AGS	Untergrund	Probennummer	Abreißfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]		s	Bruchart in % der Bruchfläche								
			EW	MW		Kohäsionsbruch				Adhäsionsbruch				
						B	BE	VK	D/O	ABE	AGVK	AO	AK	
AGS3	U1	U1-A3-HZF-1	4,654	4,522	0,376	100								
		U1-A3-HZF-2	4,815			100								
		U1-A3-HZF-3	4,098			100								
	U2	U2-A3-HZF-1	5,204	5,464	0,233	100								
		U2-A3-HZF-2	5,536			95					5			
		U2-A3-HZF-3	5,653			95					5			
	U3	U3-A3-HZF-1	2,581	2,646	0,071	100								
		U3-A3-HZF-2	2,721			95					5			
		U3-A3-HZF-3	2,635			100								
	U4	U4-A3-HZF-1	4,396	4,317	0,103	60							40	
		U4-A3-HZF-2	4,201			80						20		
		U4-A3-HZF-3	4,355			100								
	U5	U5-A3-HZF-1	4,260	4,401	0,141	100								
		U5-A3-HZF-2	4,541			100								
		U5-A3-HZF-3	4,402			100								
	U6	U6-A3-HZF-1	1,291	1,367	0,173	100								
		U6-A3-HZF-2	1,565			100								
		U6-A3-HZF-3	1,245			100								
AGS4	U1	U1-A4-HZF-1	3,441	3,404	0,106	60							40	
		U1-A4-HZF-2	3,284			65						35		
		U1-A4-HZF-3	3,486			60						40		
	U2	U2-A4-HZF-1	4,571	4,549	0,036	60							40	
		U2-A4-HZF-2	4,568			100								
		U2-A4-HZF-3	4,507			100								
	U3	U3-A4-HZF-1	2,828	2,836	0,012	100								
		U3-A4-HZF-2	2,830			80						20		
		U3-A4-HZF-3	2,850			100								
	U4	U4-A4-HZF-1	4,825	4,895	0,481	60							40	
		U4-A4-HZF-2	4,453			80						10	10	
		U4-A4-HZF-3	5,408			70						20	10	
	U5	U5-A4-HZF-1	4,730	4,826	0,100	100								
		U5-A4-HZF-2	4,930			100								
		U5-A4-HZF-3	4,818			100								
	U6	U6-A4-HZF-1	0,947	0,955	0,027	100								
		U6-A4-HZF-2	0,985			85							15	
		U6-A4-HZF-3	0,933			70							30	

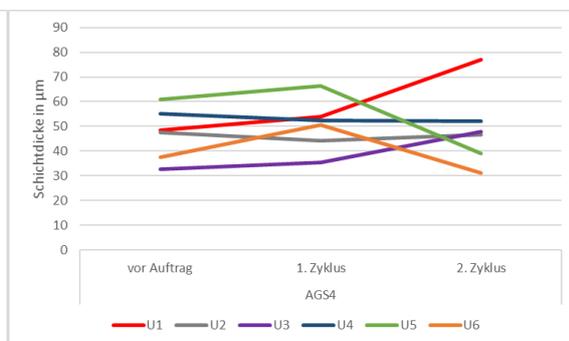
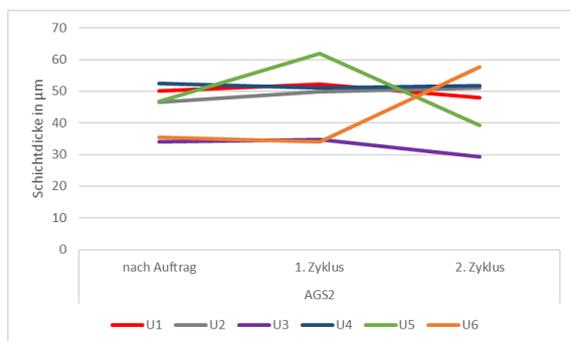
#### 4. Ergebnisse Stufe VII: Nach Bewitterung und Reinigung

Da die Daten dieser Stufe über 30.000 Einzelwerte und diverse Diagramme umfassen (Datenvolumen etwa 50 MB), werden sie den Gutachtern umfassend auf einem Datenträger mit allen weiteren Daten aus den Stufen I bis VIII bereitgestellt. An dieser Stelle erfolgt die Dokumentation nur auszugsweise, kann jedoch vollständig beim Autor der vorliegenden Arbeit angefordert werden.

##### 4.1 Schichtdicke

Beispiel: AGS1, Diagramme AGS2 und AGS4

AGS	Bezeichnung	Untergrund	Probennummer	nach Auftrag					1. Zyklus					2. Zyklus				
				Messwert			Mittelwert	s	Messwert			Mittelwert	s	Messwert			Mittelwert	s
				1	2	3			1	2	3			1	2	3		
AGS1	mit AGS ohne Reinigung	U1	U1-N-A1-1	46,00	45,00	45,00	49,80	3,71	32,00	38,00	38,00	42,50	7,93	47,00	46,00	56,00	55,83	9,08
			U1-N-A1-2	43,00	48,00	50,00			48,00	49,00	50,00			62,00	69,00	55,00		
	mit AGS und Reinigung		U1-A1-R1-1	54,00	55,00	52,00			48,00	60,00	60,00			51,00	51,00	52,00		
			U1-A1-R1-2	50,00	50,00	54,00			40,00	41,00	41,00			38,00	35,00	37,00		
			U1-A1-R1-3	50,00	52,00	53,00			41,00	40,00	42,00			47,00	47,00	47,00		
	mit AGS ohne Reinigung		U2	U2-N-A1-1	35,00	36,00			50,00	50,67	7,01			31,00	50,00	47,00		
		U2-N-A1-2		55,00	56,00	48,00	57,00	54,00	60,00			56,00	29,00	53,00				
	mit AGS und Reinigung	U2-A1-R1-1		53,00	57,00	51,00	50,00	51,00	47,00			52,00	52,00	52,00				
		U2-A1-R1-2		56,00	58,00	52,00	48,00	47,00	50,00			32,00	32,00	53,00				
		U2-A1-R1-3		47,00	50,00	56,00	47,00	45,00	42,00			47,00	47,00	42,00				
	mit AGS ohne Reinigung	U3		U3-N-A1-1	38,00	37,00	37,00	35,27	2,19			30,00	29,00	29,00	29,83	38,14	35,00	38,00
			U3-N-A1-2	35,00	37,00	39,00	30,00			31,00	30,00	30,00	30,00	30,00				
	mit AGS und Reinigung		U3-A1-R1-1	35,00	35,00	35,00	34,00			32,00	33,00	41,00	45,00	47,00				
			U3-A1-R1-2	30,00	34,00	35,00	126,00			122,00	122,00	40,00	41,00	41,00				
			U3-A1-R1-3	35,00	34,00	33,00	35,00			32,00	31,00	21,00	25,00	21,00				
	mit AGS ohne Reinigung		U4	U4-N-A1-1	52,00	52,00	53,00			51,47	1,81	53,00	50,00	54,00			54,00	13,40
		U4-N-A1-2		50,00	50,00	52,00	59,00	54,00	54,00			57,00	55,00	31,00				
	mit AGS und Reinigung	U4-A1-R1-1		50,00	50,00	50,00	53,00	49,00	45,00			53,00	50,00	51,00				
		U4-A1-R1-2		50,00	51,00	50,00	49,00	47,00	50,00			38,00	37,00	36,00				
		U4-A1-R1-3		56,00	52,00	54,00	80,00	85,00	83,00			52,00	53,00	50,00				
	mit AGS ohne Reinigung	U5		U5-N-A1-1	70,00	78,00	74,00	62,13	15,21			82,00	94,00	97,00	86,50	25,97		
			U5-N-A1-2	64,00	63,00	61,00	81,00			84,00	81,00	81,00	89,00	80,00				
	mit AGS und Reinigung		U5-A1-R1-1	64,00	76,00	77,00	74,00			74,00	78,00	84,00	82,00	82,00				
			U5-A1-R1-2	76,00	45,00	71,00	35,00			34,00	32,00	54,00	56,00	52,00				
U5-A1-R1-3			37,00	38,00	38,00	32,00	32,00			33,00	54,00	54,00	53,00					
mit AGS ohne Reinigung	U6		U6-N-A1-1	33,00	34,00	33,00	33,80			1,66	82,00	130,00	131,00	77,50			34,42	31,00
		U6-N-A1-2	34,00	33,00	33,00	41,00		44,00	37,00		89,00	121,00	83,00					
mit AGS und Reinigung		U6-A1-R1-1	38,00	36,00	36,00	33,00		34,00	33,00		22,00	25,00	20,00					
		U6-A1-R1-2	32,00	33,00	32,00	34,00		34,00	34,00		44,00	46,00	43,00					
		U6-A1-R1-3	34,00	33,00	33,00	35,00		34,00	34,00		43,00	48,00	46,00					



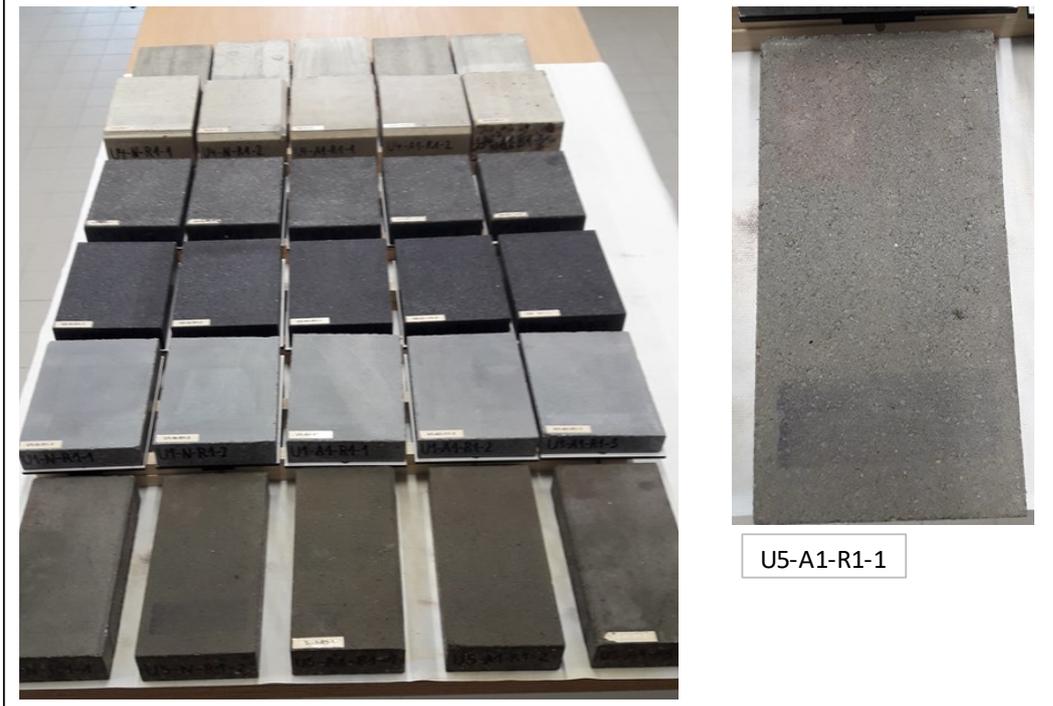
## 4.2 Visuelle Begutachtung

Funktionalität mit Fotodokumentation

Beispiel: AGS1, Zyklus 1

AGS	Bezeichnung	Untergrund	Probennummer	Farbmittel					größter Einzelwert	F
				Wechselfelder				Festfeld		
				Lack1 rot	Lack2 silber	Lack3 grün	Lack4 schwarz	Marker schwarz		
AGS1: 1. Zyklus	ohne AGS mit Reinigung	U1	U1-N-R1-1	0	0	0	0	0	0	0
			U1-N-R1-2	0	0	0	0	0	0	0
	mit AGS und Reinigung		U1-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0
			U1-A1-R1-2	0	0	0	0	0	0	0
			U1-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0	0	0
	ohne AGS mit Reinigung	U2	U2-N-R1-1	0	0	0	0	0	0	0
			U2-N-R1-2	0	0	0	0	0	0	0
	mit AGS und Reinigung		U2-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0
			U2-A1-R1-2	0	0	0	0	0	0	0
			U2-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0	0	0
	ohne AGS mit Reinigung	U3	U3-N-R1-1	0	0	1	0	1	1	2
			U3-N-R1-2	0	0	1	0	1	1	2
	mit AGS und Reinigung		U3-A1-R1-1	0	0	1	0	0	1	1
			U3-A1-R1-2	0	0	0	0	0	0	0
			U3-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0
				0	0	0	0	0	0	0
	ohne AGS mit Reinigung	U4	U4-N-R1-1	0	0	1	0	0	1	1
			U4-N-R1-2	0	0	1	0	0	1	1
	mit AGS und Reinigung		U4-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0
			U4-A1-R1-2	0	0	0	0	0	0	0
			U4-A1-R1-3	1	0	0	0	0	1	1
				0	0	0	0	0	0	0
ohne AGS mit Reinigung	U5	U5-N-R1-1	0	0	1	0	1	1	2	
		U5-N-R1-2	0	0	1	0	2	2	3	
mit AGS und Reinigung		U5-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0	
		U5-A1-R1-2	0	0	0	0	0	0	0	
		U5-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0	
			0	0	0	0	0	0	0	
ohne AGS mit Reinigung	U6	U6-N-R1-1	0	0	1	0	1	1	2	
		U6-N-R1-2	0	0	1	0	2	2	3	
mit AGS und Reinigung		U6-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0	
		U6-A1-R1-2	0	0	0	0	0	0	0	
		U6-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0	
			0	0	0	0	0	0	0	

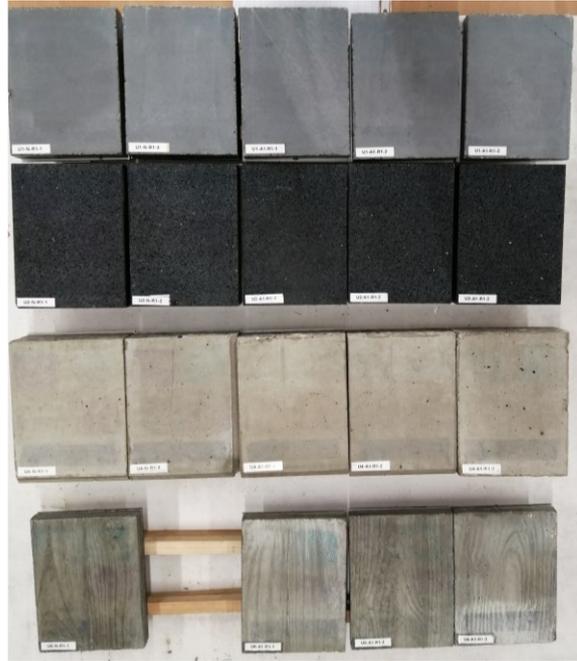
Bilder AGS1 nach 1. Zyklus



Beispiel: AGS1, Zyklus 7

AGS	Bezeichnung	Untergrund	Probennummer	Farbmittel					größter Einzelwert	F
				Wechselfelder				Festfeld		
				Lack25 weiß	Lack26 blau	Lack27 schwarz	Lack28 gelb	Marker schwarz		
AGS1: 7. Zyklus	ohne AGS mit Reinigung	U1	U1-N-R1-1	0	1	0	0	0	1	1
			U1-N-R1-2	0	1	0	0	0	1	1
	mit AGS und Reinigung		U1-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0
			U1-A1-R1-2	0	0	0	0	1	1	1
			U1-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0
	ohne AGS mit Reinigung	U2	U2-N-R1-1	0	1	0	0	1	1	2
			U2-N-R1-2	0	1	0	0	1	1	2
	mit AGS und Reinigung		U2-A1-R1-1	0	1	0	0	0	1	1
			U2-A1-R1-2	0	1	0	0	0	1	1
			U2-A1-R1-3	0	1	0	0	0	1	1
	ohne AGS mit Reinigung	U3	U3-N-R1-1							
			U3-N-R1-2							
	mit AGS und Reinigung		U3-A1-R1-1							
			U3-A1-R1-2							
			U3-A1-R1-3							
	ohne AGS mit Reinigung	U4	U4-N-R1-1	0	1	0	0	1	1	2
			U4-N-R1-2	0	1	0	0	1	1	2
	mit AGS und Reinigung		U4-A1-R1-1	0	0	0	0	1	1	1
			U4-A1-R1-2	0	0	0	0	1	1	1
			U4-A1-R1-3	0	1	0	0	1	1	2
ohne AGS mit Reinigung	U5	U5-N-R1-1								
		U5-N-R1-2								
mit AGS und Reinigung		U5-A1-R1-1								
		U5-A1-R1-2								
		U5-A1-R1-3								
ohne AGS mit Reinigung	U6	U6-N-R1-1	1	3	1	1	2	3	8	
		U6-N-R1-2								
mit AGS und Reinigung		U6-A1-R1-1	1	2	0	0	1	2	4	
		U6-A1-R1-2	1	1	0	0	1	1	3	
		U6-A1-R1-3	1	1	0	0	1	1	3	

Bilder AGS1 nach 7. Zyklus



U1

U2

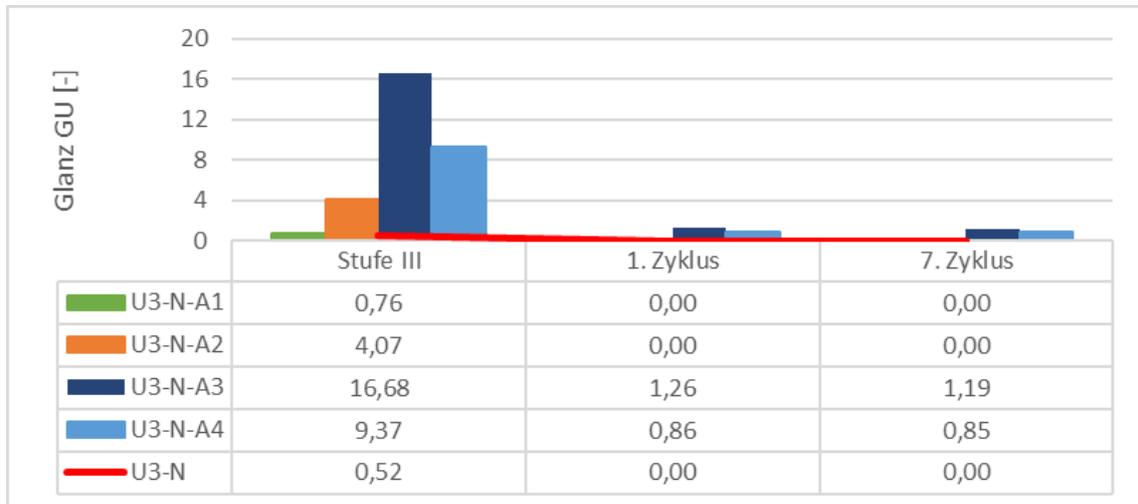
U4

U6

### 4.3 Glanz

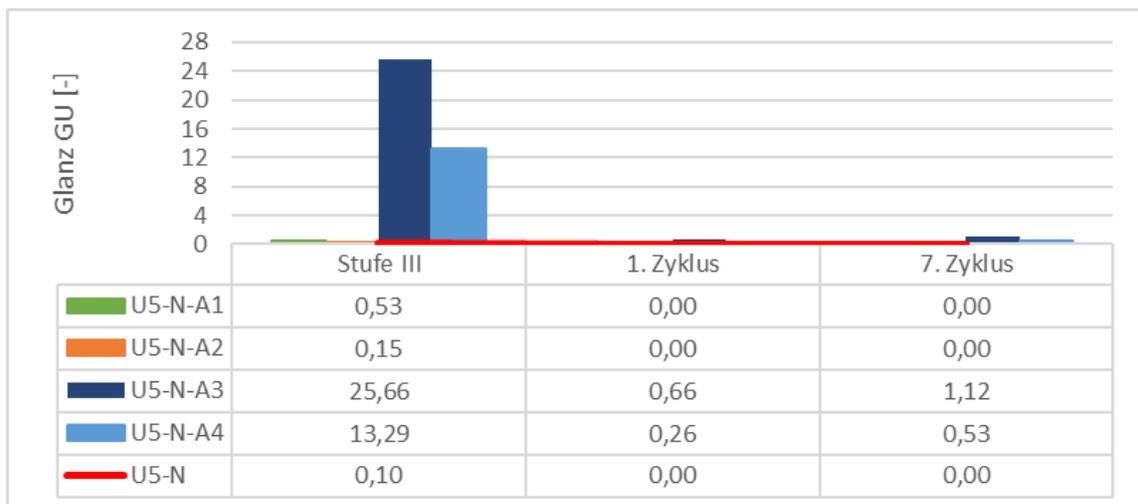
U3: Glanzentwicklung der Originalprüfkörper (U3-NP) ohne AGS

sowie der AGS-beschichteten Prüfkörper mit Bewitterung ohne Reinigung (U3-N-A)



U5: Glanzentwicklung der Originalprüfkörper (U5-NP) ohne AGS

sowie der AGS-beschichteten Prüfkörper mit Bewitterung ohne Reinigung (U5-N-A)



#### 4.4 Helligkeit

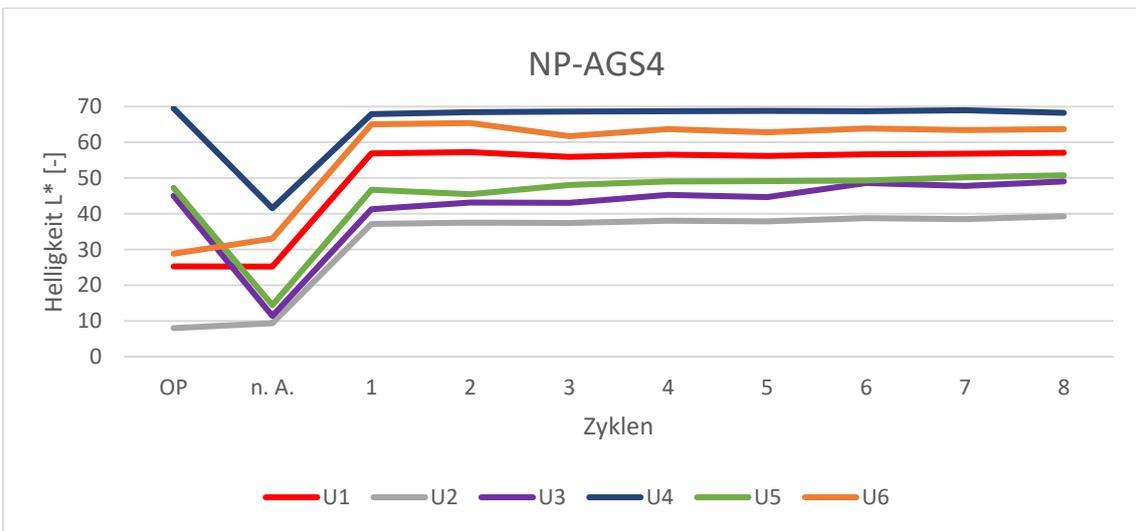
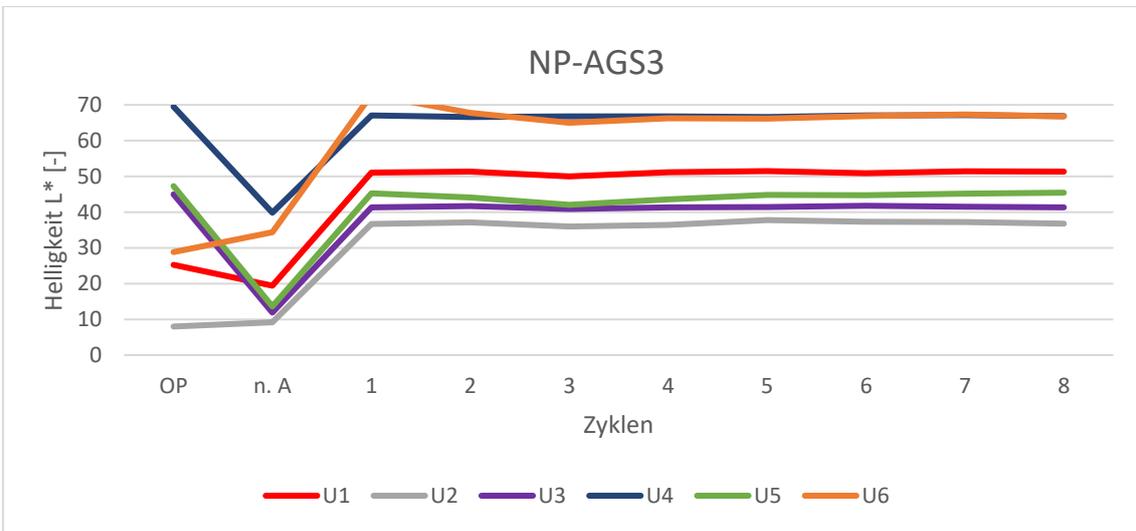
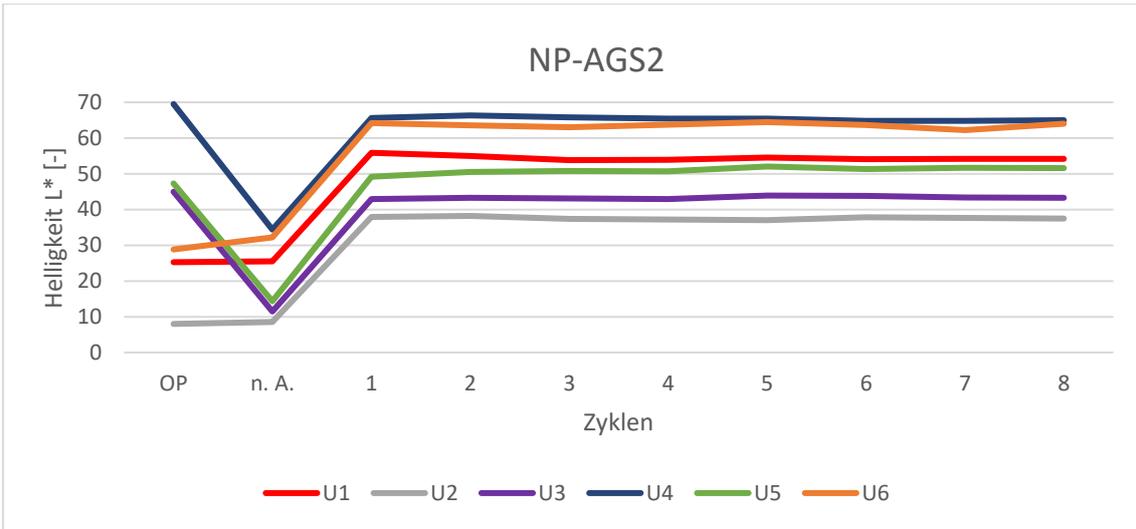
Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung

Nullproben mit AGS nach Auftrag bis 8. Zyklus											
	OP	Mittelwerte nach Zyklus									
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8	
		AGS1 - Nullproben	U1	25,27	20,43	51,51	51,50	51,09	51,54	52,49	51,62
	U2	8,00	7,42	32,99	33,22	32,89	32,99	33,05	33,52	33,76	33,67
	U3	44,98	11,34	37,13	37,16	37,23	37,29	36,85	37,94	38,32	38,03
	U4	69,51	35,56	64,87	65,10	64,87	64,89	65,23	64,98	65,20	65,32
	U5	47,29	11,40	43,40	43,32	45,20	44,46	44,89	44,59	44,92	44,96
	U6	28,83	33,71	67,02	67,48	68,11	67,32	67,19	67,31	66,61	68,04

	OP	Mittelwerte nach Zyklus									
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8	
		AGS2 - Nullproben	U1	25,27	25,50	55,87	54,97	53,83	53,88	54,53	54,05
	U2	8,00	8,55	37,89	38,21	37,40	37,22	37,07	37,84	37,67	37,48
	U3	44,98	11,47	42,91	43,26	43,08	42,94	43,87	43,78	43,38	43,26
	U4	69,51	34,39	65,61	66,35	65,80	65,47	65,41	64,80	64,84	64,95
	U5	47,29	14,35	49,18	50,51	50,77	50,71	52,04	51,33	51,67	51,56
	U6	28,83	32,18	64,20	63,55	63,00	63,72	64,46	63,68	62,24	64,05

	OP	Mittelwerte nach Zyklus									
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8	
		AGS3 - Nullproben	U1	25,27	19,43	51,08	51,38	50,01	51,20	51,48	50,93
	U2	8,00	9,18	36,68	37,15	35,97	36,42	37,78	37,30	37,22	36,80
	U3	44,98	11,90	41,35	41,66	40,85	41,36	41,40	41,82	41,53	41,36
	U4	69,51	39,85	67,09	66,64	66,78	66,81	66,62	67,08	67,14	66,84
	U5	47,29	13,62	45,28	44,11	42,04	43,55	44,85	44,72	45,16	45,44
	U6	28,83	34,38	72,88	67,76	65,04	66,24	66,18	66,90	67,32	66,79

	OP	Mittelwerte nach Zyklus									
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8	
		AGS4 - Nullproben	U1	25,27	25,22	56,91	57,24	55,90	56,54	56,21	56,60
	U2	8,00	9,33	37,13	37,50	37,38	38,07	37,89	38,80	38,48	39,29
	U3	44,98	11,42	41,22	43,11	43,09	45,30	44,64	48,60	47,76	49,05
	U4	69,51	41,55	67,88	68,38	68,58	68,66	68,75	68,66	68,93	68,23
	U5	47,29	14,44	46,71	45,49	48,01	49,02	49,10	49,28	50,21	50,76
	U6	28,83	33,02	65,02	65,38	61,74	63,69	62,82	63,89	63,46	63,71



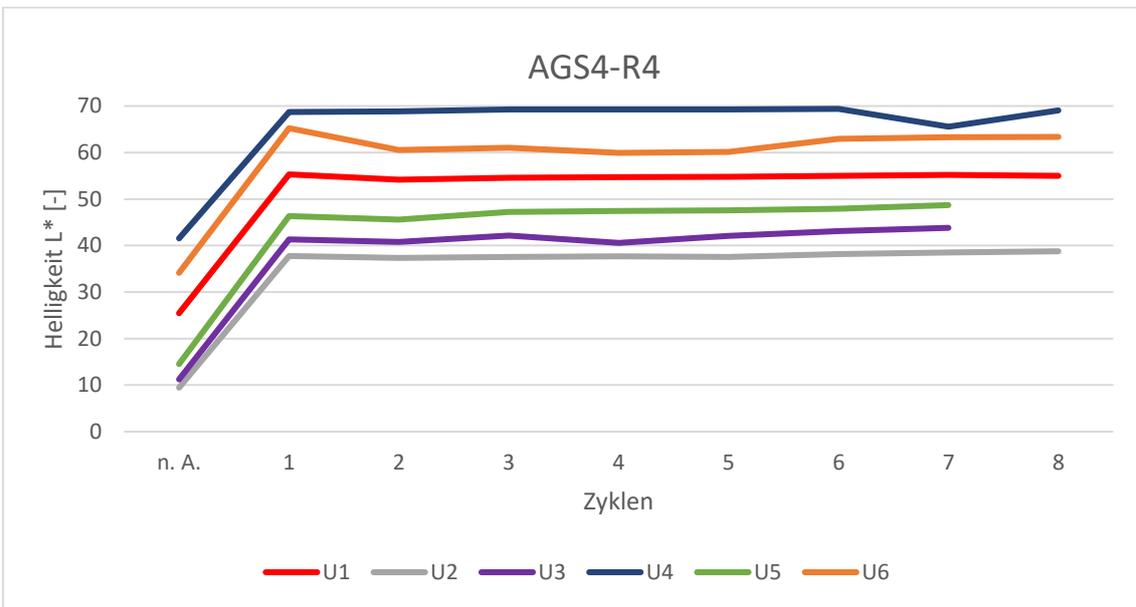
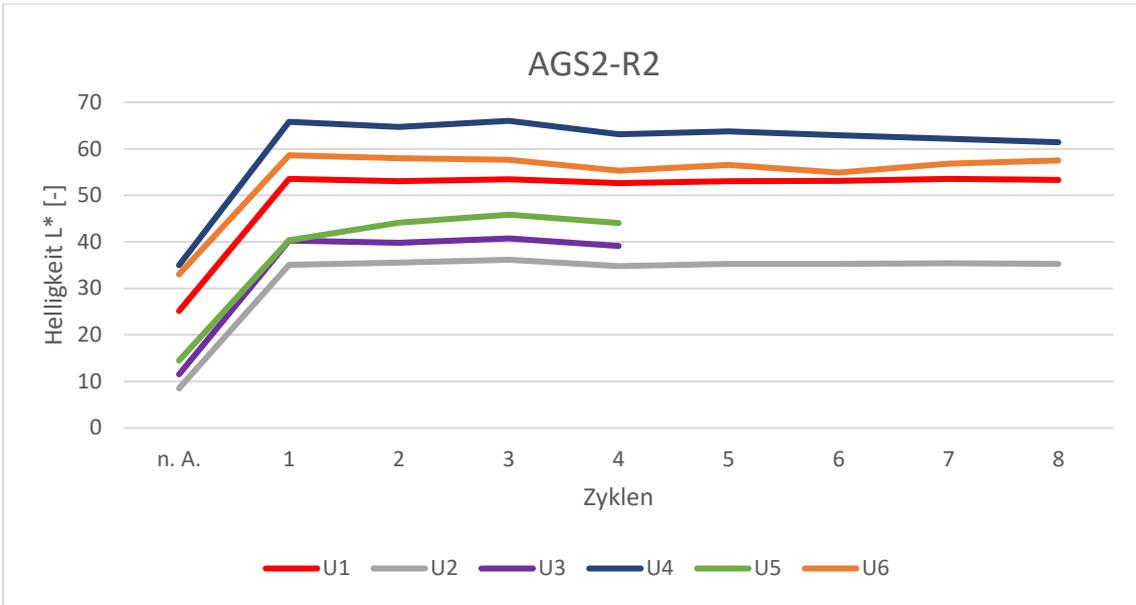
Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

AGS-beschichtete Prüfkörper (mit Farbauftrag und Reinigung) nach Auftrag bis 8. Zyklus										
AGS		Mittelwerte nach Zyklus								
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8
AGS1	U1	20,92	51,93	52,68	52,45	52,63	52,97	53,23	53,21	53,49
	U2	7,45	31,43	33,50	34,53	33,20	34,19	33,86	33,69	33,65
	U3	11,00	36,87	38,01	37,18	37,00				
	U4	34,78	62,88	63,80	62,44	62,97	62,59	62,36	62,21	61,36
	U5	11,72	35,80	40,75	41,01	40,52				
	U6	30,66	60,48	63,09	60,35	60,07	57,79	59,83	58,53	57,77

Mittelwerte nach Zyklus										
AGS		Mittelwerte nach Zyklus								
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8
AGS2	U1	25,13	53,54	53,02	53,43	52,64	53,02	53,11	53,54	53,30
	U2	8,51	35,09	35,55	36,15	34,80	35,28	35,25	35,40	35,23
	U3	11,51	40,27	39,78	40,74	39,11				
	U4	34,98	65,79	64,70	66,02	63,14	63,72	62,90	62,15	61,42
	U5	14,49	40,36	44,15	45,84	44,03				
	U6	33,02	58,61	58,01	57,62	55,34	56,53	54,88	56,79	57,52

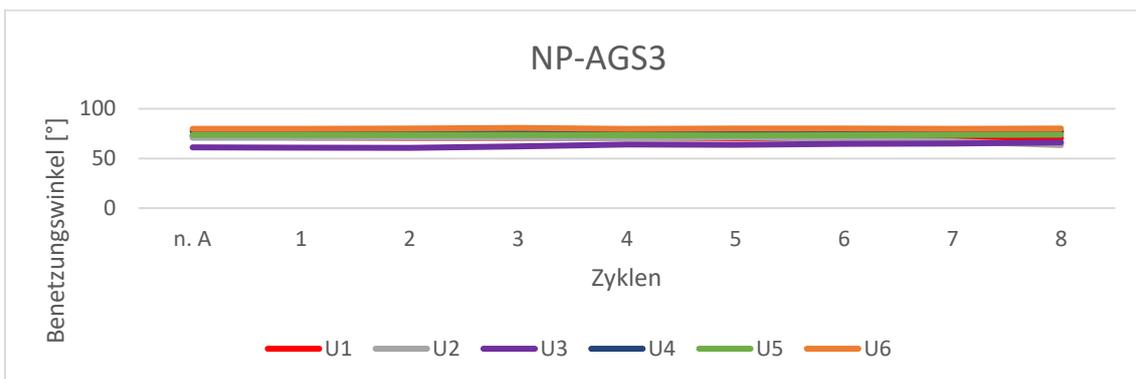
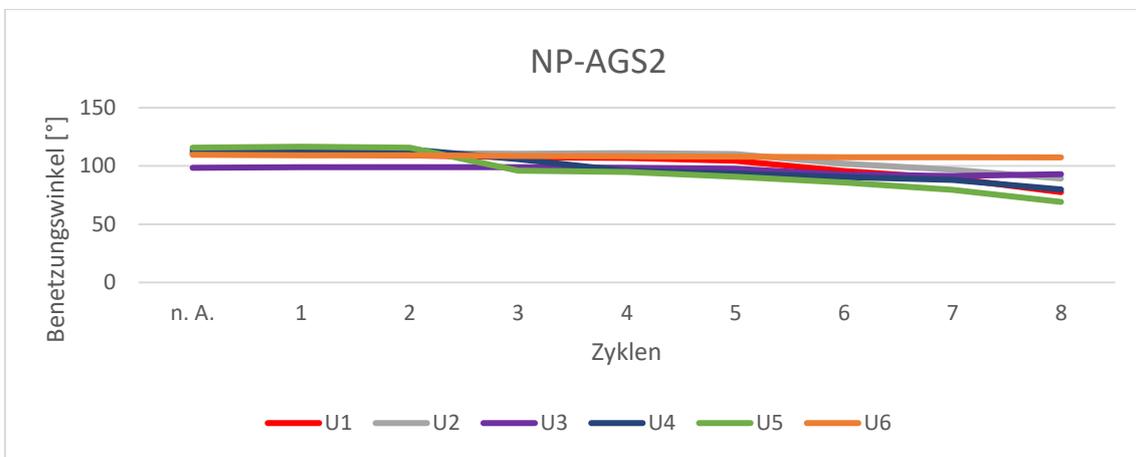
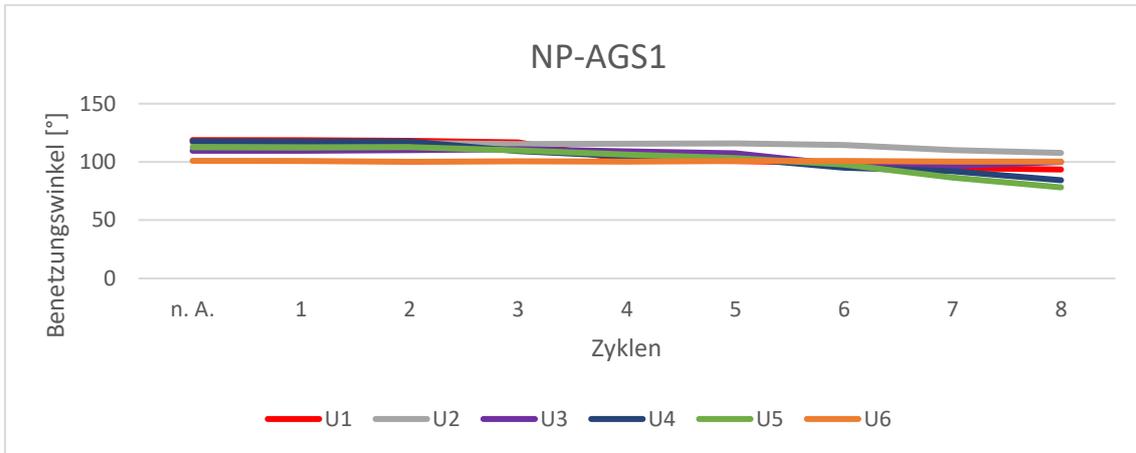
Mittelwerte nach Zyklus										
AGS		Mittelwerte nach Zyklus								
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8
AGS3	U1	19,34	51,16	47,11	50,27	50,59	50,61	50,90	56,00	51,15
	U2	9,85	37,09	37,36	36,71	37,03	36,16	36,97	36,93	36,97
	U3	11,64	40,54	40,72	40,36	40,26	40,00	40,39	40,34	40,32
	U4	39,18	64,46	63,91	65,29	64,82	64,42	65,72	65,47	65,68
	U5	13,55	45,50	44,07	42,98	44,76	44,30	44,61	44,76	44,76
	U6	27,93	59,78	56,95	56,31	57,06	56,80	58,00	57,77	58,44

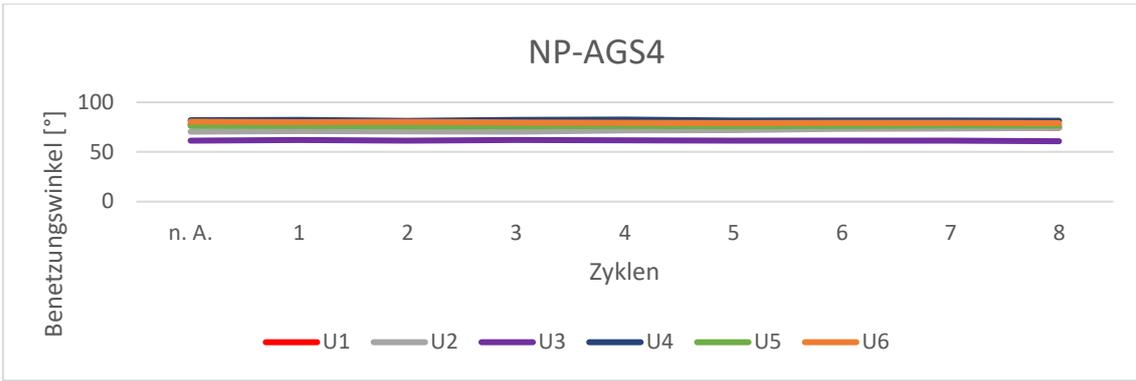
Mittelwerte nach Zyklus										
AGS		Mittelwerte nach Zyklus								
		n. A.	1	2	3	4	5	6	7	8
AGS4	U1	25,46	55,30	54,17	54,55	54,71	54,81	54,99	55,22	54,97
	U2	9,46	37,74	37,33	37,57	37,66	37,56	38,16	38,53	38,77
	U3	11,23	41,34	40,77	42,18	40,59	42,10	43,13	43,81	
	U4	41,55	68,69	68,83	69,25	69,28	69,25	69,39	65,58	69,09
	U5	14,54	46,37	45,56	47,25	47,43	47,56	47,95	48,70	
	U6	34,14	65,24	60,53	61,02	59,96	60,12	62,93	63,31	63,39



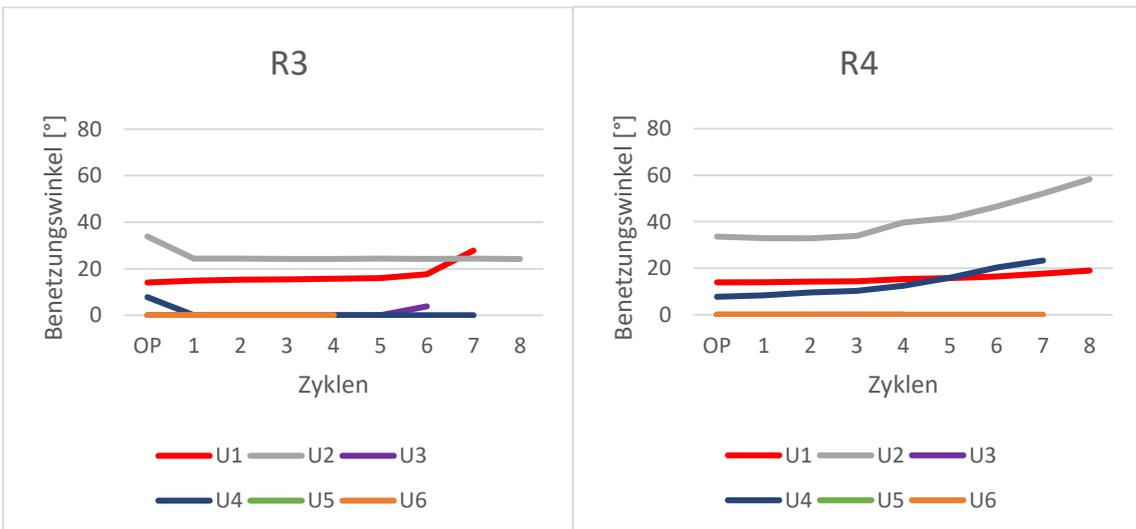
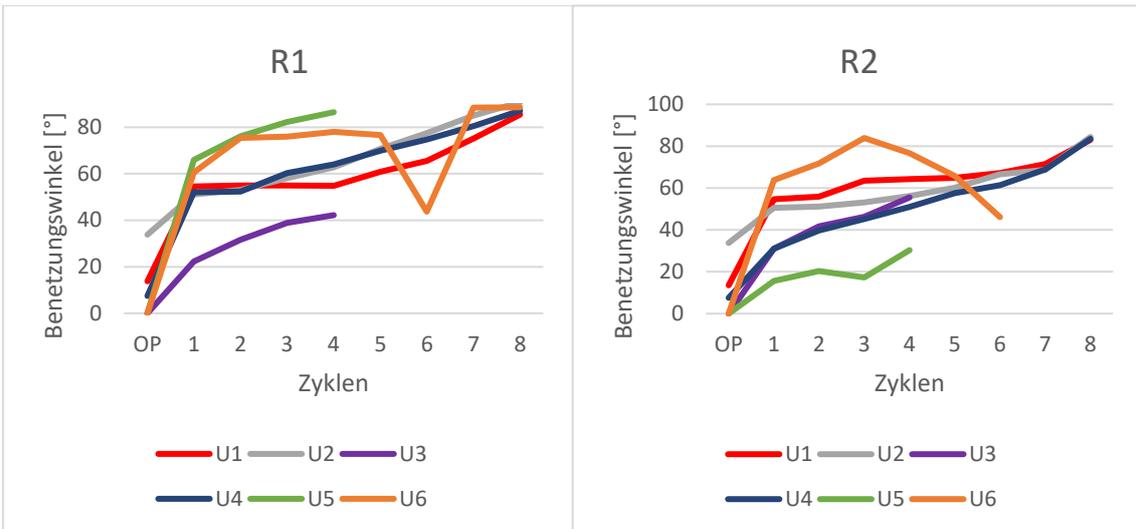
## 4.5 Benetzungswinkel

Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung



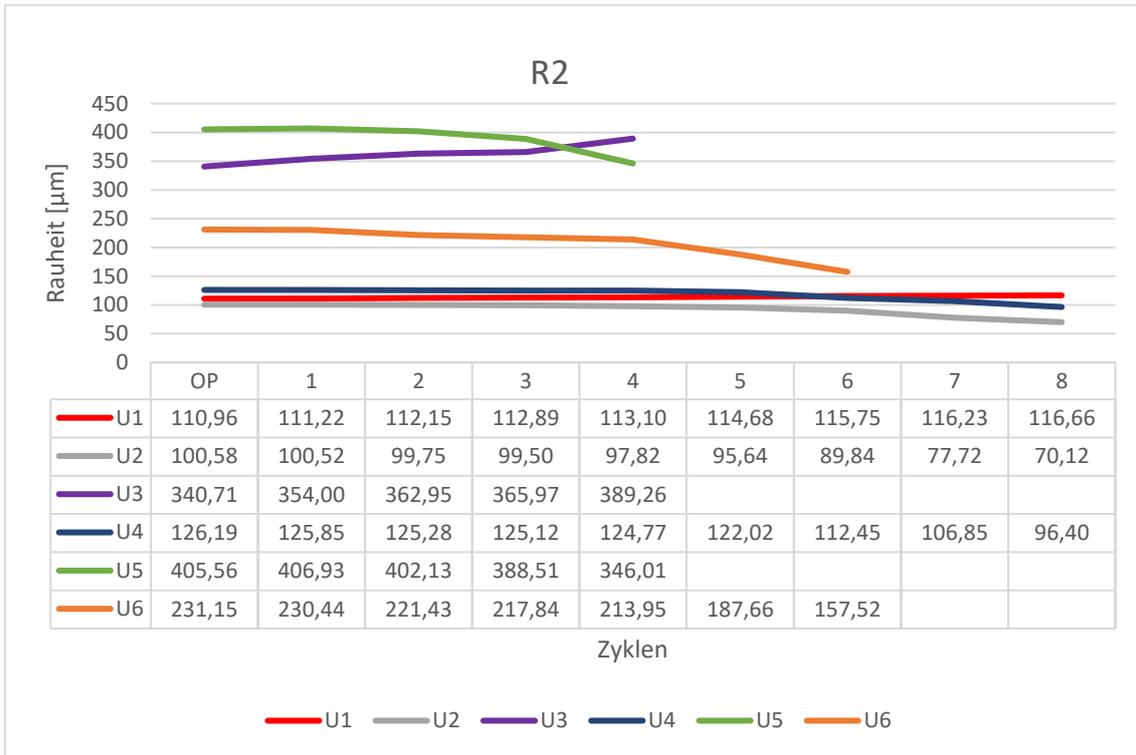


### Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung

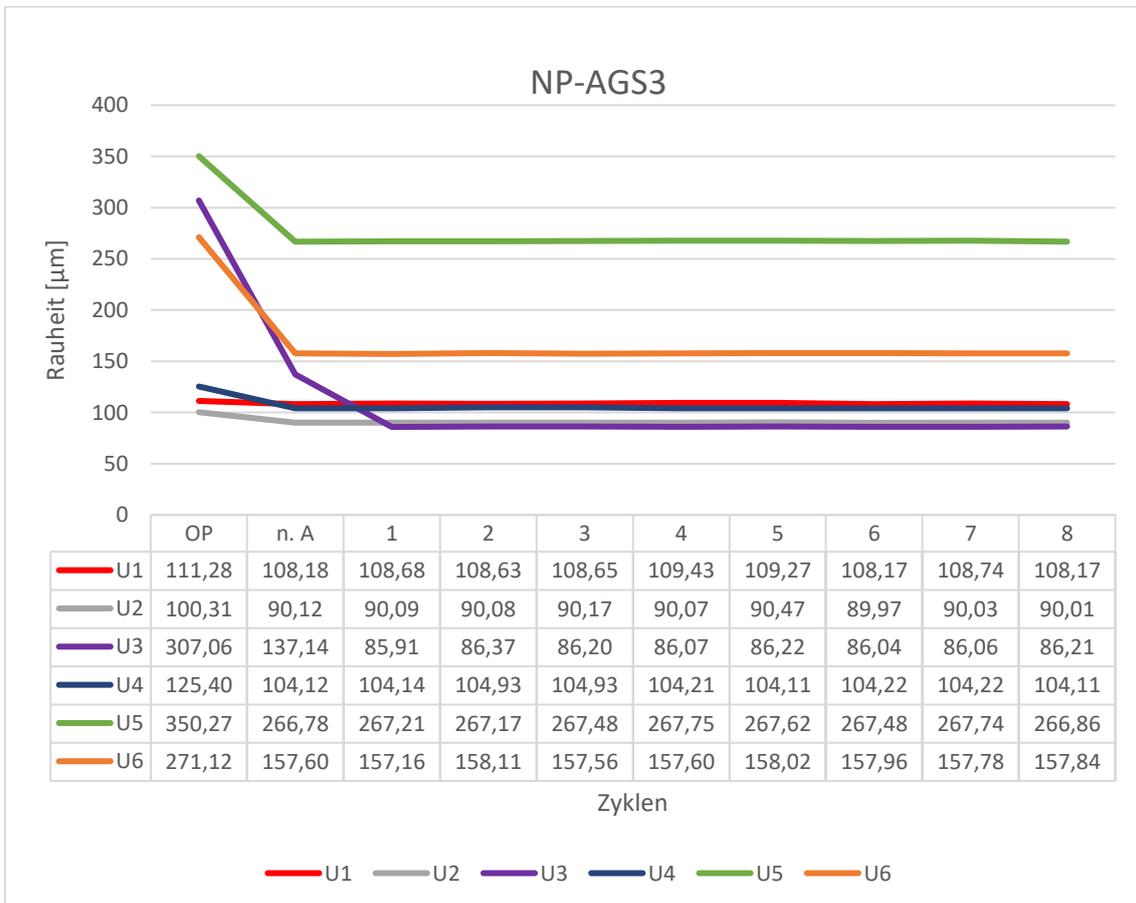


## 4.6 Rauheit

Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung: R2

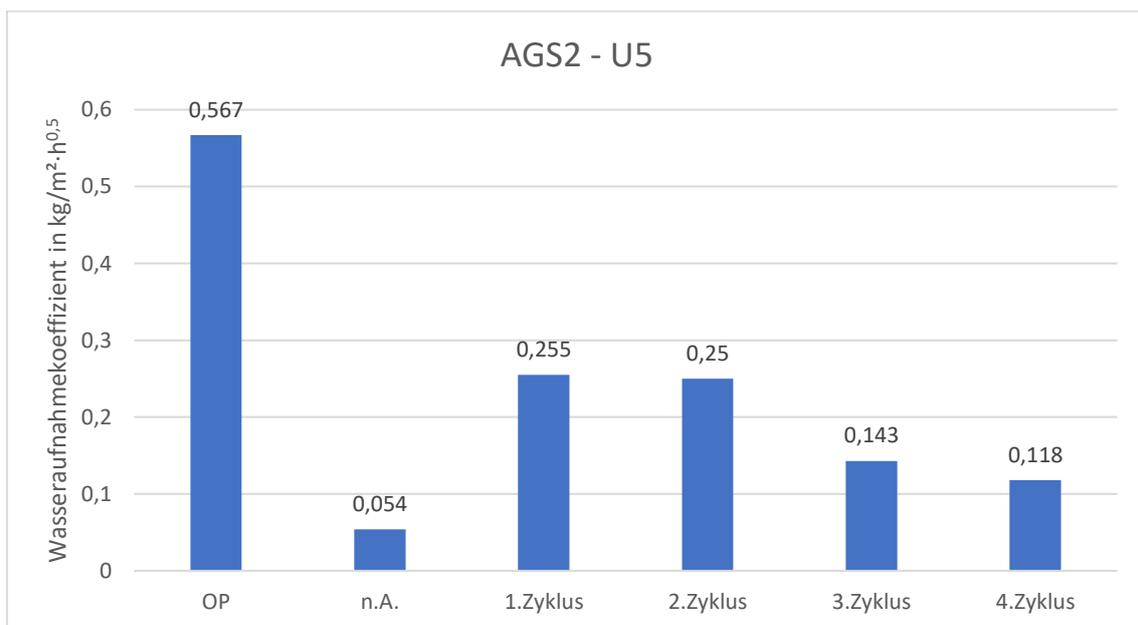
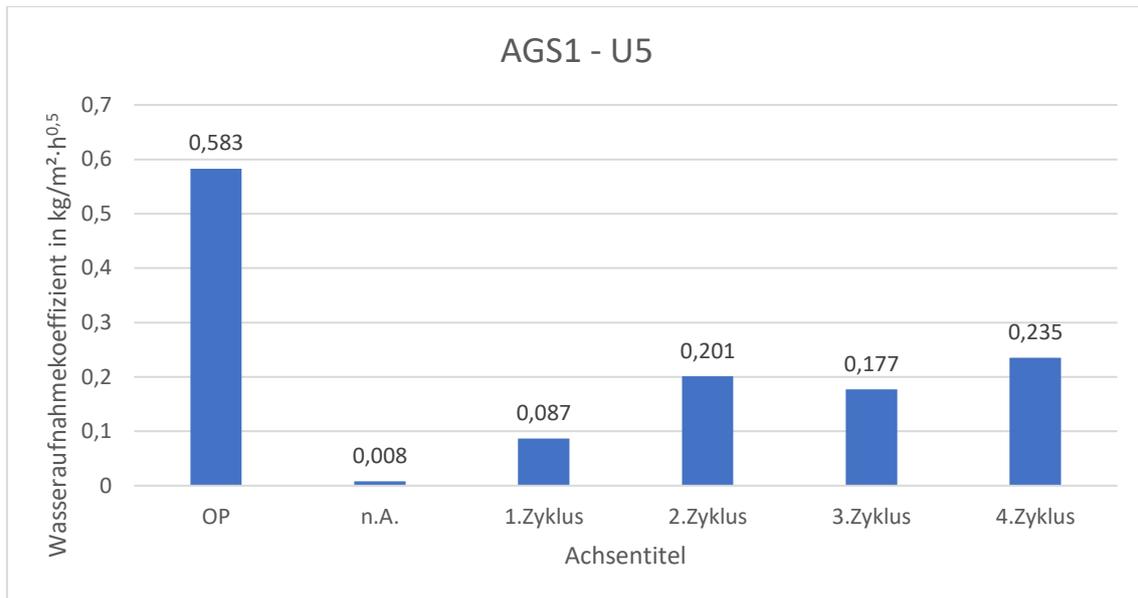


Beschichtete Prüfkörper (Nullproben) mit Bewitterung: AGS3



#### 4.7 Wasseraufnahmekoeffizient

Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung: AGS1+AGS2

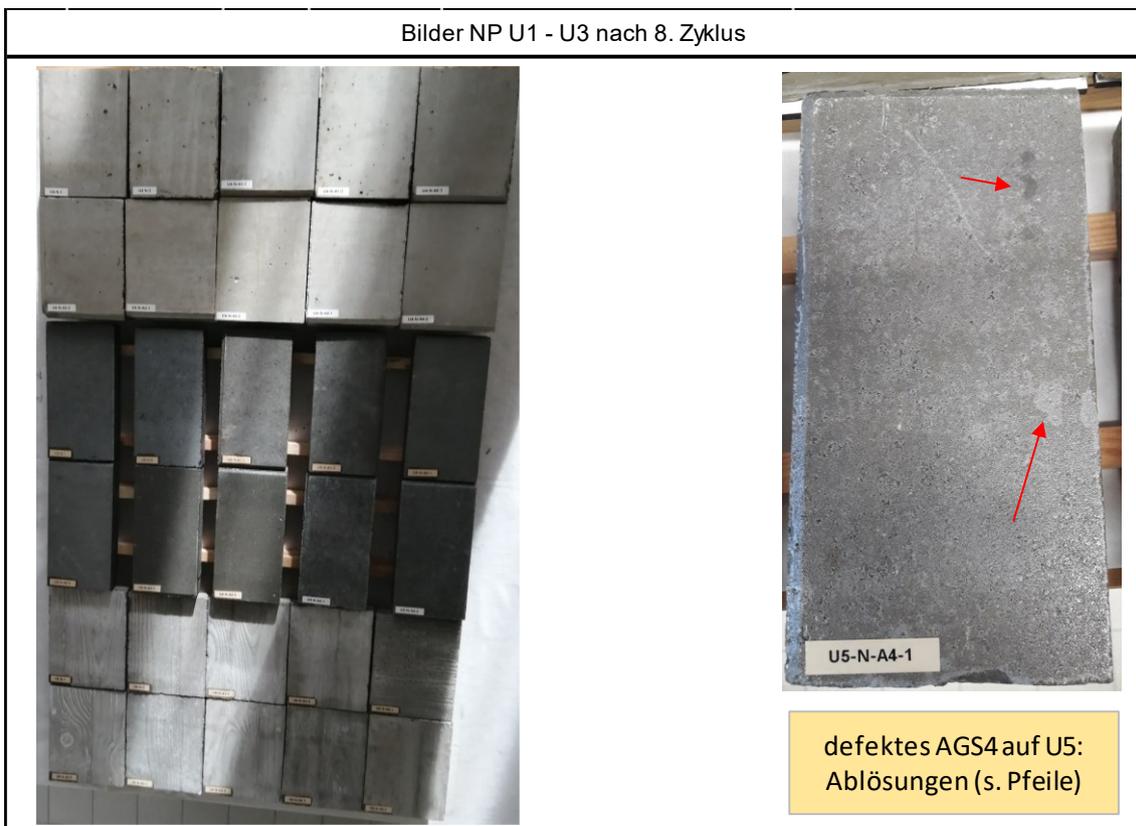
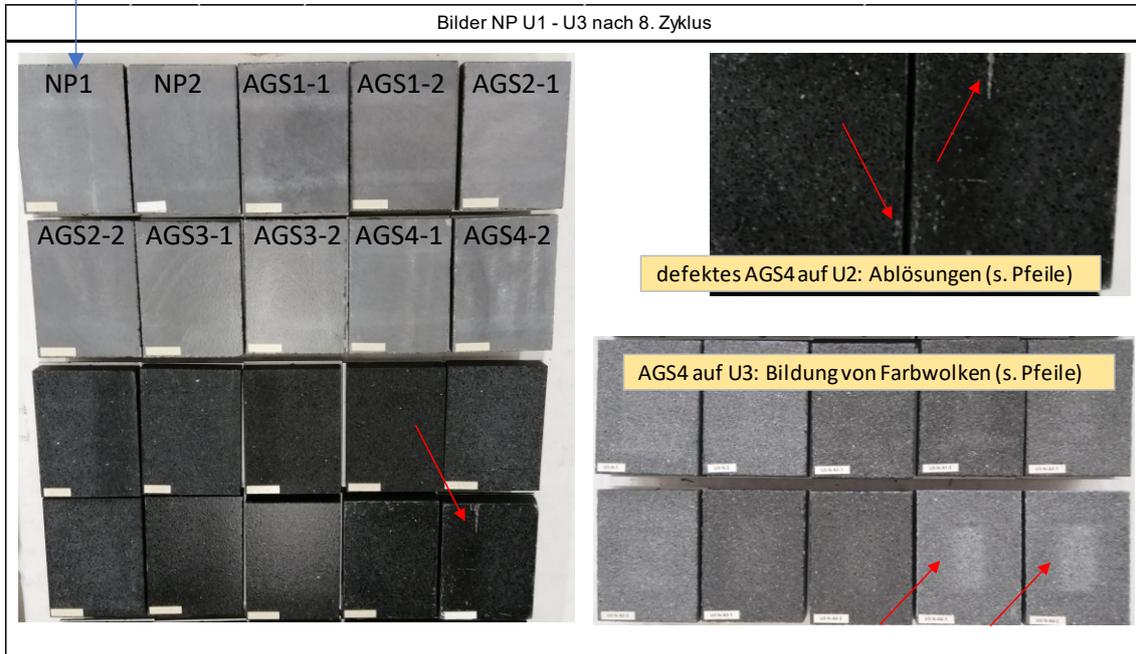


## 5. Stufe VIII: Abschlussuntersuchungen nach 8 Zyklen

### 5.1 Visuelle Begutachtung

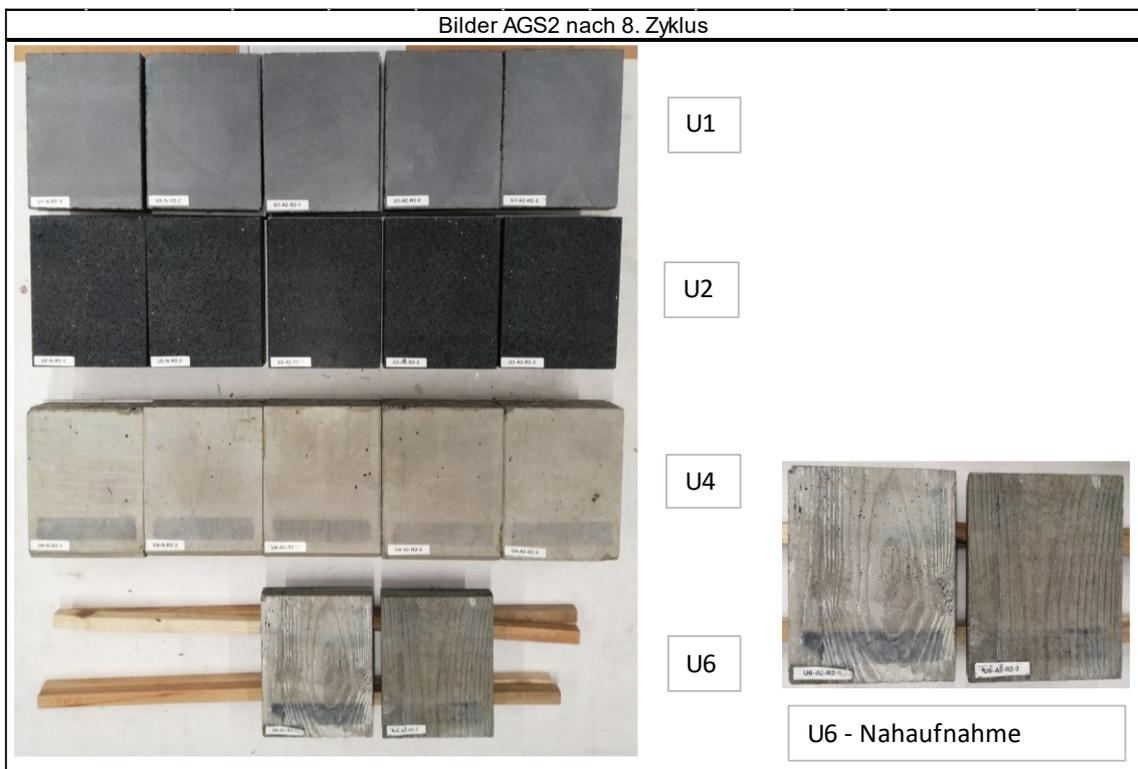
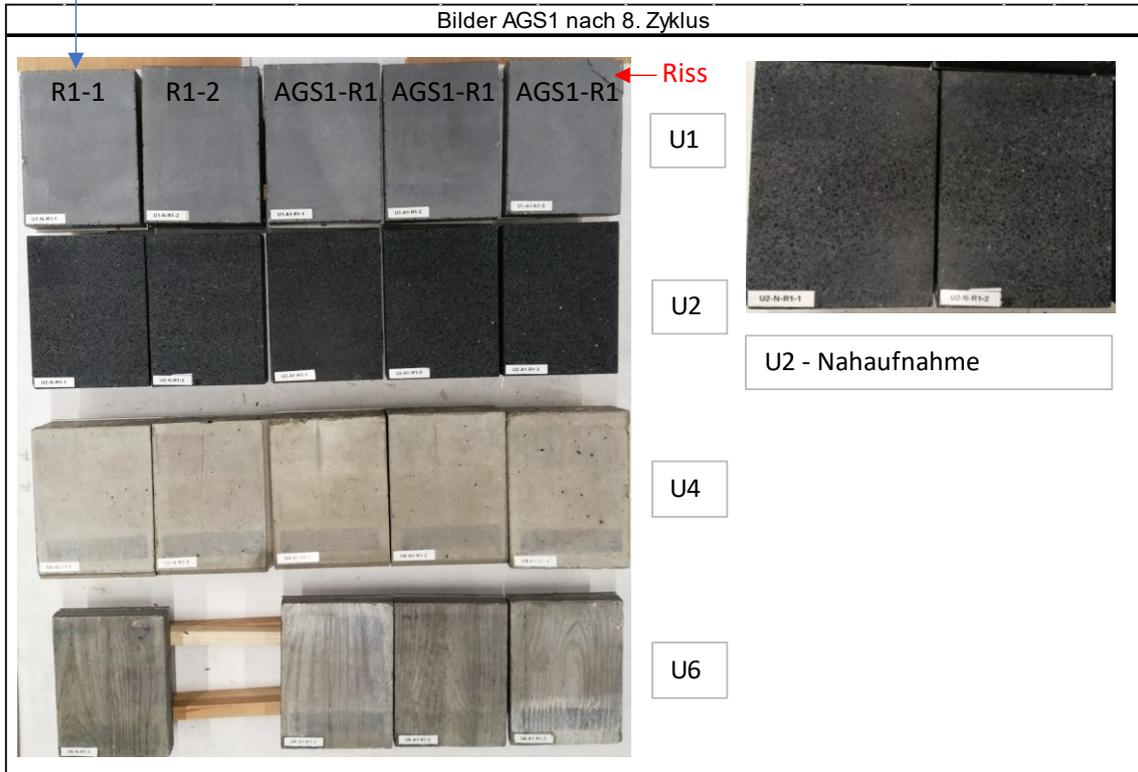
Fotodokumentation unbeschichtete und beschichtete Nullproben: U1 bis U6

(die Position der NP und PK mit AGS entspricht für alle Untergründe der beispielhaften Bezeichnung des Untergrundes U1)



Unbeschichtete und beschichtete PK mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung nach acht Zyklen: AGS1 bis AGS4

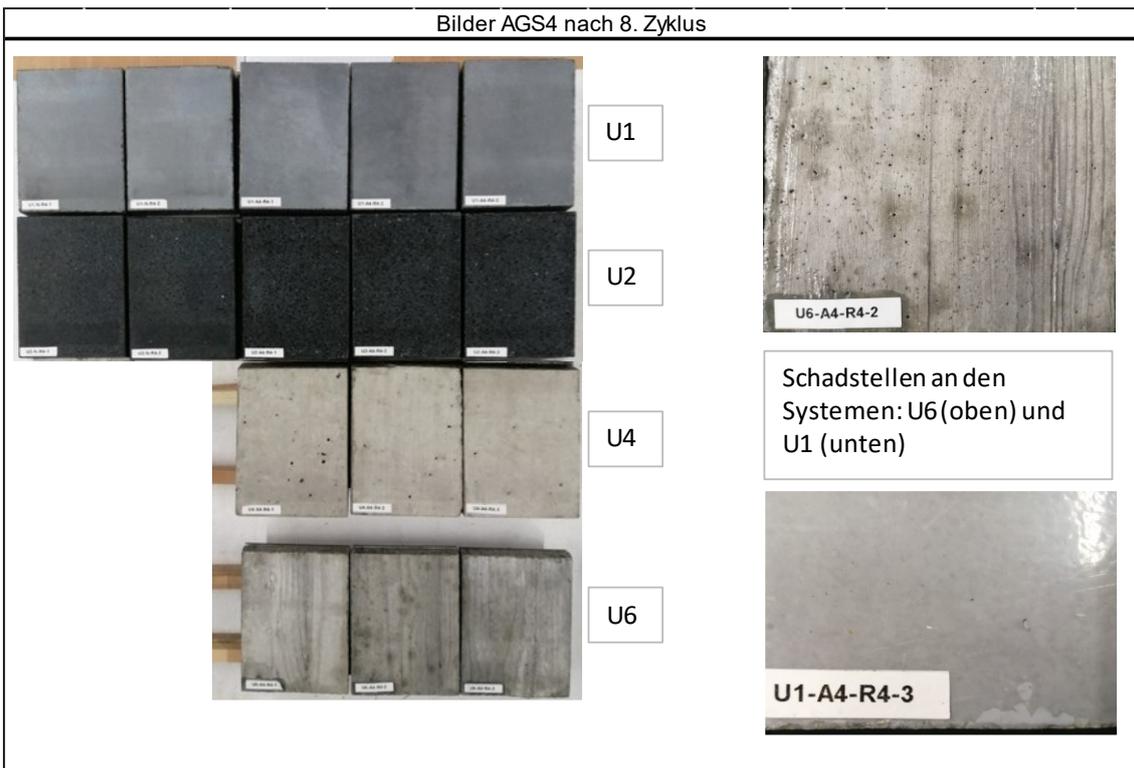
(die Position der PK mit AGS und ohne AGS (R) entspricht für alle Untergründe der beispielhaften Bezeichnung des Untergrundes U1)



Bilder AGS3 nach 8. Zyklus



Bilder AGS4 nach 8. Zyklus



Funktionalität: Zyklen 1 bis 8

Unbeschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung: R3 – R4

R	Untergrund	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Reiniger R3	U1	U1-N-R3-1	0	0	0	0	0	6	6	
		U1-N-R3-2	0	0	0	0	0	6	6	
	U2	U2-N-R3-1	0	0	0	0	0	1	2	4
		U2-N-R3-2	0	0	0	0	0	2	2	4
	U3	U3-N-R3-1	0	0	4	1	1	12		
		U3-N-R3-2	0	0	3	1	1	11		
	U4	U4-N-R3-1	0	0	0	0	0	0	7	
		U4-N-R3-2	0	0	0	0	0	2	7	
	U5	U5-N-R3-1	5	3	5	17				
		U5-N-R3-2	5	3	5	17				
	U6	U6-N-R3-1	4	5	4	11				
		U6-N-R3-2	4	5	4	11				
aussortierte Proben [Stk.]			0	0	0	0	4	4	6	10
aussortierte Proben [%]			0	0	0	0	33	33	50	83

R	Untergrund	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Reiniger R4	U1	U1-N-R4-1	0	0	0	2	1	2	3	3
		U1-N-R4-2	0	0	0	2	0	1	3	3
	U2	U2-N-R4-1	0	0	1	3	1	7	3	5
		U2-N-R4-2	0	0	1	3	1	7	3	5
	U3	U3-N-R4-1	2	2	7	14				
		U3-N-R4-2	2	2	7	14				
	U4	U4-N-R4-1	2	1	1	3	1	3	7	
		U4-N-R4-2	2	1	1	3	1	3	7	
	U5	U5-N-R4-1	4	5	8	13				
		U5-N-R4-2	4	5	8	14				
	U6	U6-N-R4-1	1	1	3	4	1	7	8	
		U6-N-R4-2	2	3	6	13				
aussortierte Proben [Stk.]			0	0	0	0	5	5	5	8
aussortierte Proben [%]			0	0	0	0	42	42	42	67

Beschichtete Prüfkörper mit Bewitterung, Farbauftrag und Reinigung: AGS1 – AGS2

AGS	Untergrund	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
AGS1	U1	U1-A1-R1-1	0	0	0	0	0	0	0	1
		U1-A1-R1-2	0	0	0	2	1	0	1	2
		U1-A1-R1-3	0	0	0	0	0	0	0	1
	U2	U2-A1-R1-1	0	0	1	1	0	0	1	2
		U2-A1-R1-2	0	0	1	1	0	0	1	2
		U2-A1-R1-3	0	0	1	1	0	0	1	2
	U3	U3-A1-R1-1	1	0	7	8				
		U3-A1-R1-2	0	0	7	9				
		U3-A1-R1-3	0	0	2	8				
	U4	U4-A1-R1-1	0	0	0	1	1	1	1	3
		U4-A1-R1-2	0	0	0	1	1	1	1	3
		U4-A1-R1-3	1	0	0	1	1	2	2	4
	U5	U5-A1-R1-1	0	1	4	12				
		U5-A1-R1-2	0	1	3	12				
		U5-A1-R1-3	0	0	3	12				
	U6	U6-A1-R1-1	0	0	1	2	1	1	4	4
		U6-A1-R1-2	0	0	0	1	0	0	3	3
		U6-A1-R1-3	0	0	4	2	2	1	3	4
aussortierte Proben [Stk.]			0	0	0	0	6	6	6	6
aussortierte Proben [%]			0	0	0	0	33	33	33	33

AGS	Untergrund	Probennummer	Funktionalität F							
			Zyklus							
			1	2	3	4	5	6	7	8
AGS2	U1	U1-A2-R2-1	0	0	0	0	0	0	1	0
		U1-A2-R2-2	0	0	0	1	0	0	1	0
		U1-A2-R2-3	0	0	0	0	0	0	0	0
	U2	U2-A2-R2-1	0	0	0	1	0	0	1	6
		U2-A2-R2-2	0	0	0	2	0	0	1	6
		U2-A2-R2-3	0	0	0	1	0	0	1	6
	U3	U3-A2-R2-1	0	0	1	12				
		U3-A2-R2-2	0	0	2	11				
		U3-A2-R2-3	0	0	2	11				
	U4	U4-A2-R2-1	1	0	1	1	1	1	2	3
		U4-A2-R2-2	0	0	0	1	1	1	2	3
		U4-A2-R2-3	0	0	0	1	0	0	3	3
	U5	U5-A2-R2-1	1	2	4	10				
		U5-A2-R2-2	2	2	4	9				
		U5-A2-R2-3	1	2	3	11				
	U6	U6-A2-R2-1	1	1	2	4	2	4	7	8
		U6-A2-R2-2	1	1	1	1	3	3	3	8
		U6-A2-R2-3	1	1	4	6	5	9		
aussortierte Proben			0	0	0	0	6	6	7	7
aussortierte Proben [%]			0	0	0	0	33	33	39	39

## 5.2 Abreißfestigkeit

### Abreißfestigkeit AGS3 und AGS4

AGS	Untergrund	Probennummer	Abreißfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]		s	Bruchart in % der Bruchfläche								
			EW	MW		Kohäsionsbruch				Adhäsionsbruch				
						B	BE	VK	D/O	ABE	AGVK	AO	AK	
AGS NP	U1	U1-N-A3-1	4,421	4,546	0,177	100								
		U1-N-A3-2	4,671			100								
AGS+R	U1	U1-A3-R3-1	4,450	4,477	0,191	100								
		U1-A3-R3-2	4,681			50							50	
AGS+R	U1	U1-A3-R3-3	4,301			100								
		U2-N-A3-1	5,301	5,394	0,132	20								80
AGS+R	U2	U2-N-A3-2	5,487					10						
		U2-A3-R3-1	5,386	5,387	0,002	20								80
AGS+R	U2	U2-A3-R3-2	5,385					20						10
		U2-A3-R3-3	5,389			20						10	70	
AGS3	U3	U3-N-A3-1	2,557	2,582	0,035	10							80	10
		U3-N-A3-2	2,607			10								90
AGS3	U3	U3-A3-R3-1	2,488	2,620	0,115	70								30
		U3-A3-R3-2	2,696			80								20
AGS3	U3	U3-A3-R3-3	2,677			100								
		U4-N-A3-1	4,479	4,208	0,383									100
AGS3	U4	U4-N-A3-2	3,937					10						
		U4-A3-R3-1	3,889	4,307	0,362	100								
AGS3	U4	U4-A3-R3-2	4,507					60						
		U4-A3-R3-3	4,524			80								20
AGS3	U5	U5-N-A3-1	4,402	4,404	0,003	15								85
		U5-N-A3-2	4,406			10								90
AGS3	U5	U5-A3-R3-1	4,417	4,344	0,275	20							80	
		U5-A3-R3-2	4,039			10							90	
AGS3	U5	U5-A3-R3-3	4,575			30							70	
		U6-N-A3-1	1,253	1,281	0,040	100								
AGS3	U6	U6-N-A3-2	1,309					100						
		U6-A3-R3-1	1,335	1,315	0,023	100								
AGS3	U6	U6-A3-R3-2	1,290					100						
		U6-A3-R3-3	1,320			100								
AGS4	U1	U1-N-A4-1	2,077	2,159	0,116								20	80
		U1-N-A4-2	2,241			100								
AGS4	U1	U1-A4-R4-1	3,327	3,353	0,037	60								40
		U1-A4-R4-2	3,395			80								20
AGS4	U1	U1-A4-R4-3	3,336			100								
		U2-N-A4-1	2,801	2,847	0,064	100								
AGS4	U2	U2-N-A4-2	2,892											25
		U2-A4-R4-1	3,953	3,862	0,299								40	60
AGS4	U2	U2-A4-R4-2	3,529											30
		U2-A4-R4-3	4,105			30							35	35
AGS4	U3	U3-N-A4-1	2,670	2,610	0,086	5							5	90
		U3-N-A4-2	2,549			25							25	50
AGS4	U3	U3-A4-R4-1	1,686	1,751	0,105								60	40
		U3-A4-R4-2	1,696			40							40	20
AGS4	U3	U3-A4-R4-3	1,872			40							40	20
		U4-N-A4-1	3,412	3,274	0,196	10								60
AGS4	U4	U4-N-A4-2	3,135											
		U4-A4-R4-1	4,520	4,596	0,066	100								
AGS4	U4	U4-A4-R4-2	4,633					20						
		U4-A4-R4-3	4,635			20							70	10
AGS4	U5	U5-N-A4-1	2,586	2,670	0,118	10								90
		U5-N-A4-2	2,753			10								90
AGS4	U5	U5-A4-R4-1	1,102	1,336	0,406	80								20
		U5-A4-R4-2	1,805			20								80
AGS4	U5	U5-A4-R4-3	1,101			20							80	
		U6-N-A4-1	0,833	0,817	0,023	100								
AGS4	U6	U6-N-A4-2	0,801					100						
		U6-A4-R4-1	0,819	0,858	0,037	100								
AGS4	U6	U6-A4-R4-2	0,862					100						
		U6-A4-R4-3	0,892										80	20

Proben bereits vor Beendigung des 8. Zyklus aussortiert, aber in die Prüfung mit einbezogen

## Publikations- und Vortragsliste

### Publikationen

- 11/2021 Jäntsch, S., von Laar, C., Bombeck, H. (2020), *Graffitienschutz auf Beton. Tagungsband der 31. Hanseatischen Sanierungstage, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN: 978-3-7388-0536-9, S.253-270*
- 08/2021 Jäntsch, S., Diederichs, U. (2021), *Graffiti Protection on Concrete in the New Building and in the Renovation., Key Engineering Materials, vol. 898, Trans Tech Publications, Ltd., doi:10.4028/www.scientific.net/kem.898.9., page 9-17*
- 04/2020 Jäntsch, S., von Laar, C., Bombeck, H. (2020), *Functionality and durability of anti-graffiti-systems on concrete. MATEC Web of Conferences 322, Proceedings MADBUD`2020, Polen, ISBN: 978-2-7598-9108-5, page 1-11*
- 01/2020 Jäntsch, S., von Laar, C., Bombeck, H. (2020) *Anti-Graffiti-Systems for Concrete – Surfaces. Proceedings Binders 2019, Tschechien, ISBN 978-80-214-5816-1, page 33-38*

### Vorträge

- 12/2019 Vortrag „Anti-Graffiti-Systeme und Graffiti-Entfernung“ im Wahlpflichtmodul Beschichtungen, Bauingenieurwesen-Master, Dozentin: Prof. Dr. rer. nat. Claudia von Laar
- 11/2020 *Graffiti protection on concrete in the new building and the renovation. 22nd International Conference of Rehabilitation and Reconstruction of Buildings (CRRB 2020) WTA-Conference (online), 19.11.2020, Brno, Tschechien*
- 10/2020 *Functionality and durability of anti-graffiti-systems on concrete. MADBUD`2020, MATEC Web of Conferences, 20.10.2020, Krakau, Polen*
- 12/2019 *Anti-Graffiti-Systems on Concrete, 7th ICBM: „International Conference Binders and Materials“, Brno University of Technology, 05.12.2019, Brno, Tschechien*



## Curriculum Vitae

### **Persönliche Angaben**

Name *Sandra Jäntsch*  
Anschrift *Schweriner Straße 1*  
*23970 Wismar*  
Telefon *0170 / 650 65 89*  
E-Mail *ingenieurbuero-jaentsch@web.de*  
Geburtsdatum *14. Oktober 1977*  
Geburtsort *Schwerin*  
Familienstand *verheiratet, drei Kinder*

### **Beruflicher Werdegang**

*Seit 07/2022 Selbstständigkeit: Ingenieurbüro Jäntsch*  
*09/2018 bis 06/2022 Angestellte Bauingenieurin, Ingenieurbüro Prof. Ulrich Diederichs, Wismar*  
*09/2017 bis 02/2018 Wissenschaftliche Hilfskraft, Fakultät für Ingenieurwissenschaften im Bereich Bauingenieurwesen (Hochschule Wismar), Forschungsprojekt: Schadenanalyse an Holzbauteilen in Biogasanlagen mittels Schallwellenmessung*  
*10/2011 bis 04/2017 Bauingenieurin, Garten-, Landschafts- und Wegebau GLW Siefert, Bresegard bei Eldena*  
*07/2000 bis 08/2004 Kauffrau im Groß- und Außenhandel, Bereich Tiefbau Raab Karcher Baustoffe GmbH, Schwerin*

### **Ausbildung / Studium**

*Seit 10/2017 Promotionsstudentin der Universität Rostock in Kooperation mit der Hochschule Wismar*  
*09/2009 bis 11/2011 Studium zum Master of Engineering an der Hochschule Wismar*  
*09/2004 bis 09/2009 Studium zum Bachelor of Engineering an der Hochschule Wismar*  
*08/1997 bis 07/2000 Ausbildung zur Kauffrau im Groß- und Außenhandel, Raab Karcher Baustoffe GmbH, Ludwigslust und Schwerin*  
*1994 bis 1997 Regionales Berufliches Bildungszentrum, Fachgymnasium Wirtschaft, Ludwigslust*  
*1988 bis 1994 Verbundene Haupt- und Realschule, Eldena (Realschulabschluss)*