

Die Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen auf Betonuntergründen - Ergebnisse einer 12-jährigen Auslagerung an verschiedenen Standorten

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Raupach, Dipl.-Ing. Udo Antons
Institut für Bauforschung, RWTH Aachen

Zusammenfassung:

Zur Sicherstellung der geforderten Standzeiten von Betonbauwerken leisten Oberflächenschutzsysteme, im folgenden kurz OS-Systeme genannt, einen großen Beitrag. Für Langzeituntersuchungen zur Dauerhaftigkeit dieser Systeme wurden im Rahmen einer Langzeitstudie, beginnend 1995, Probekörper auf Sylt (Seeklima) und in Duisburg (Industrieklima) ausgelagert. Ziel dieser Studie war es unter anderem, die in der ZTV-ING vorgeschriebenen künstlichen Bewitterung mit den vorgenommenen Freibewitterungen zu vergleichen. Nahezu alle untersuchten OS-Systeme erfüllten nach 12 jähriger Freibewitterung die in der ZTV-ING genannten Anforderungen hinsichtlich Abreißfestigkeit, Gitterschnitt und Rissüberbrückungsfähigkeit. Die Rissüberbrückungsfähigkeit nahm dabei innerhalb der ersten drei Jahre deutlich ab, danach nur noch langsam. Der Abfall innerhalb der ersten drei Jahre wird durch die künstliche Bewitterung im Rahmen der Eignungsprüfungen gut erfasst.

1 Einleitung

Im Rahmen einer Langzeitstudie, in Auftrag gegeben vom Bundesministerium für Verkehr, wurden gemeinsam von der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin und dem Institut für Bauforschung der RWTH Aachen Versuchsreihen an Beschichtungen und Hydrophobierungen durchgeführt. Durch die Untersuchungen an den seit 12 Jahren an zwei unterschiedlichen Orten in Deutschland freibewitterten Oberflächenschutzsystemen ist es nun erstmals möglich, die Aussagekraft der in der ZTV-ING [1] vorgeschriebenen künstlichen Bewitterung im Bezug auf die Lebensdauer von Beschichtungen zu überprüfen. Als Standorte für die Freibewitterungsstände wurden eine stillgelegte Landebahn im Bereich des Flughafen Westerland auf Sylt (Seeklima) und ein Hof- bzw. Flachdachbereich einer Industrieanlage in Duisburg (Industrieklima) gewählt. In Abb. 1 ist der Freibewitterungsstand für Betonplatten in Duisburg abgebildet.

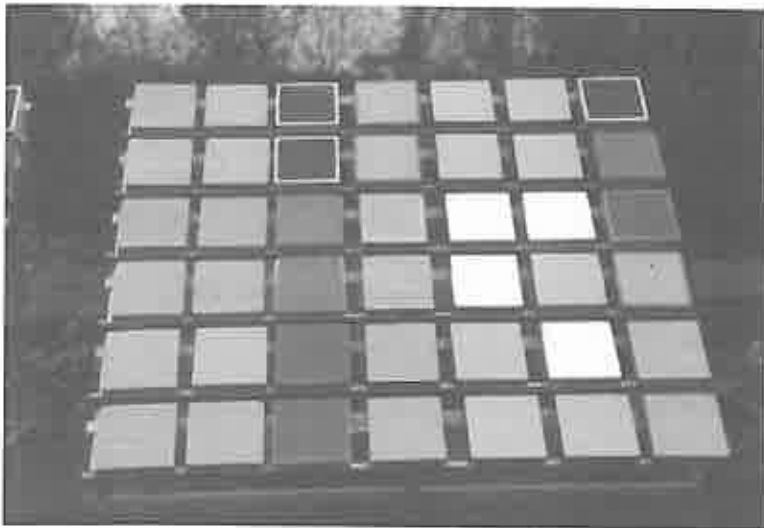


Abbildung 1: Freibewitterungsstand der Betonplatten in Duisburg

2 Versuchsprogramm

Folgende Oberflächenschutzsysteme (siehe Tab. 1) und Untersuchungen waren Bestandteil des Forschungsvorhabens:

- Wirksamkeit gegen Wasseraufnahme und Frost-Einwirkung (OS A Systeme)
- Schutzwirkung gegen Einwirkung von Chloriden und Kohlendioxid (alle untersuchten Systeme)
- Masse- und Maßänderung an freien Filmen (OS B, OS C, OS DI, OS DII, OS E)
- Abreißfestigkeit und Gitterschnittkennwerte (OS B, OS C, OS DI, OS DII, OS E)
- Zugfestigkeit und Reißdehnung an freien Filmen (Systeme OS DI, OS DII, OS E)
- Rissüberbrückung am Verbundkörper (Systeme OS DI, OS DII, OS E)

Tabelle 1: Oberflächenschutzsysteme

System	Beschreibung
1	2
OS A	Hydrophobierung, Silan-Siloxan-Gemische
OS B	Beschichtung für nicht begeh- und befahrbare Flächen (ohne Kratz- bzw Ausgleichsspachtelung), Polymerdispersionen
OS C	Beschichtung mit erhöhter Dichtigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw Ausgleichsspachtelung), Polymerdispersionen
OS DI	Beschichtung mit geringer Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw Ausgleichsspachtel), Polymer-Zement-Gemische
OS DII	Beschichtung mit geringer Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw Ausgleichsspachtel), Polymerdispersion
OS E	Beschichtung mit erhöhter Rissüberbrückungsfähigkeit für nicht begeh- und befahrbare Flächen (mit Kratz- bzw Ausgleichsspachtel), Polyurethan

Die Untersuchungen an den Klassen OS A, OS B und OS C wurden von der BAM bearbeitet. Das ibac untersuchte Systeme der Klassen OS DI, OS DII und OS E. Gegenstand dieser Veröffentlichung sind die vom ibac durchgeführten Versuche nach 12 jähriger Freibewitterung an Betonplatten und Mörtelprismen zu:

- Abreißfestigkeit,
- Gitterschnitt,
- Rissüberbrückung,
- Materialfestigkeit und
- Visuellen Veränderungen.

Zum Vergleich werden Ergebnisse der vorangegangenen Prüfungen [2][3] nach künstlicher Bewitterung und 3 bzw. 5 Jahren Freibewitterung herangezogen. In Tab. 2 sind die unterschiedlichen Bewitterungen und Standorte aufgeführt.

Das zerstörungsfrei Messverfahren mittels NMR-MOUSE war nicht Bestandteil des ursprünglichen Forschungsvorhabens und wurde erst gegen Ende der Untersuchungen nach 12 jähriger Freibewitterung mit in das Untersuchungsprogramm

aufgenommen. Durch "Konservierung" in Normalklima bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte konnten auch Probekörper vorangegangener Zeiträume mit diesem Verfahren untersucht werden.

Tabelle 2: Bewitterung

Bezeichnung	Beschreibung
KB 1	Künstliche Bewitterung nach DIN 53 384: kontinuierliche Strahlung, Strahlungsfunktion B (Bestrahlung H_e : 250 MJ/m ²) 5 h Trocknungsphase, Schwarzstandard-Temperatur 55 °C, 1 h Benässung Schwarzstandard-Temperatur 20 °C, Gesamtdauer 1240 h
KB 2	Künstliche Bewitterung nach DIN 53 384: kontinuierliche Strahlung, Strahlungsfunktion B (Bestrahlung H_e : 500 MJ/m ²) 5 h Trocknungsphase, Schwarzstandard-Temperatur 55 °C, 1 h Benässung Schwarzstandard-Temperatur 20 °C, Gesamtdauer 2480 h
FTS	Temperaturwechselbeanspruchung über 20 Zyklen <ul style="list-style-type: none"> • Warmlagerung: T = 60 °C über 5 h 45 min • Beregnung mit Leitungswasser: T = 12 °C über 15 min Frost-Tausalz-Beanspruchung über 100 Zyklen <ul style="list-style-type: none"> • 2 h Lagerung in gesättigter Kochsalzlösung bei T = -15 °C • 2 h Wasserlagerung bei T = 20 °C
S	Freibewitterung auf Sylt. Probenexposition mit einer Neigung von 45° Richtung Süden. Untersuchungen nach 3a, 5a und 12a
D	Freibewitterung auf Duisburg. Probenexposition mit einer Neigung von 45° Richtung Süden. Untersuchungen nach 3a, 5a und 12a

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Visuelle Bemusterung

Optische Veränderungen auf den Oberflächen der Probekörper nach 12 Jahren Auslagerung werden erfasst und etwaigen Ursachen zugeordnet. Hierfür wurden alle seit Beginn der Studie geprüften Probekörper bei Normalklima bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte ohne UV-Beaufschlagung eingelagert, was einen direkten Vergleich der einzelnen bewitterten und unbewitterten Probenoberflächen ermöglicht.

3.2 Abreißfestigkeit

An jeweils einer beschichteten Betonplatte pro System wurde an 5 Messstellen die Abreißfestigkeit im Ausgangszustand, nach der künstlichen Bewitterung sowie nach 3, 5 und 12 Jahren Freibewitterung bestimmt. Die Prüfungen erfolgten gemäß TP OS (1996), Abschnitt 6.3. Die geprüften Betonplatten wurden anschließend, als Grundlage für spätere visuellen Bemusterungen, ins Normalklima bei 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte eingelagert.

3.3 Rissüberbrückung

Die Prüfung der Rissüberbrückung erfolgte in Anlehnung an TP OS (1996), Abschnitt 6.8. Abweichend zur TP OS wurden drei Prismen pro System im ungealterten Zustand geprüft. Die Stähle der Mörtelprismen wurden an den

Stirnseiten abgesägt und die Prismen mittels zweier Adapter, die auf die Stirnseiten aufgeklebt worden waren, in die Prüfmaschine eingespannt (Abb. 2). Außerdem wurde der Stahl vor der Rissüberbrückungsprüfung durchtrennt.

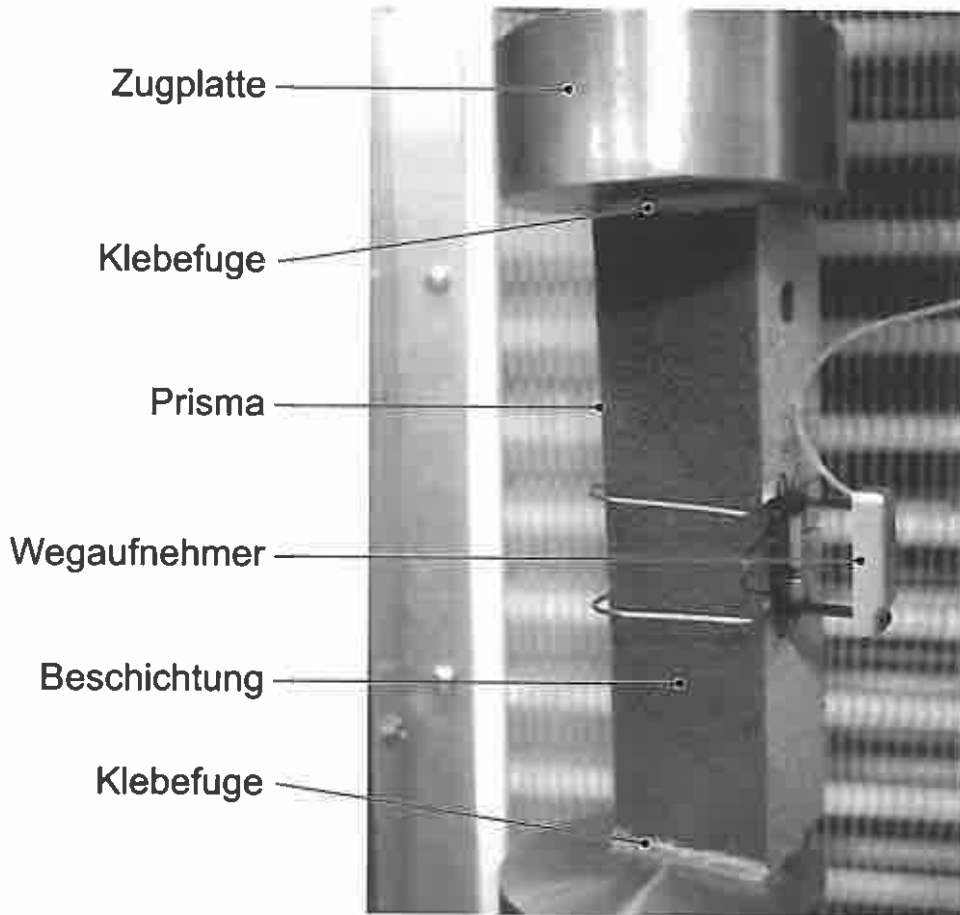


Abbildung 2: Prüfaufbau Rissüberbrückung

Eine Lasteinleitung mit der Zugspannungserzeugenden in der Beschichtungsebene verhindert den Einfluss von Biegeverformungen im Versagensbild. Bei den Prismen der Klassen OS DI und OS DII erfolgte eine Prüfung nach der Rissüberbrückungsklasse I_T , gemäß TP OS, bei den Prismen der Klasse OS E wurde die Rissüberbrückungsklasse II_{T+V} angestrebt (Tab. 3). Bestand das jeweils erste geprüfte Prisma der Klasse OS E die Rissüberbrückungsklasse II_{T+V} nicht, so wurde das zweite Prisma nach der Rissüberbrückungsklasse II_T geprüft. Bestand das jeweils zweite geprüfte Prisma der Klasse OS-E die Rissüberbrückungsklasse II_T nicht, so wurde das dritte Prisma nach der Rissüberbrückungsklasse I_T geprüft. Auf diese Weise konnte die jeweils maximale Rissüberbrückungsklasse eines jeden OS-E Systems nach den einzelnen Bewitterungsabschnitten ermittelt werden.

Zur Erfassung von unterseitigen Rissen wurde nach den dynamischen Versuchen ein Teil der Prismen in Scheiben gesägt. Die Scheiben wurden unter dem Lichtmikroskop bei 16facher Vergrößerung auf unterseitige Anrisse oder Ablösungen vom Untergrund untersucht. Der andere Teil wurde gemäß TP OS (1996), Abschnitt 6.8, bei Raumtemperatur aufgeweitet, um die maximal überbrückbare Rissbreite zu bestimmen

Tabelle 3: Rissüberbrückungsklassen

Klasse	Rissart	Prüfbedingungen	
I _T (B 2 nach DIN EN 1062-7)	Vorhandene und nachträglich entstehende oberflächennahe Risse, max. Rissbreite 0,15 mm, Bewegung unter Temperaturbeanspruchung bis 0,05 mm	w _o = 0,15 mm w _u = 0,10 mm n = 1000 f = 0,03 Hz w = 0,05 mm	}Trapez
II _T (B 3.1 nach DIN EN 1062-7)	Vorhandene und nachträglich entstehende oberflächennahe Risse und/oder Trennrisse, max. Rissbreite 0,3 mm, Bewegung unter Temperaturbeanspruchung bis 0,2 mm	w _o = 0,30 mm w _u = 0,10 mm n = 1000 f = 0,03 Hz w = 0,2 mm	}Trapez
II _{T+V}	Überlagerte Rissbreitenwechsel mit Sinusfunktion aus Temperatur- und Lastbeanspruchung aus Verkehr	und w _L = ±0,05 mm n = 100000 f = 5 Hz	Sinus

Legende

f Frequenz
n Anzahl der Zyklen
w Änderung der Rissbreite
w_L belastungsabhängige Rissbewegung
w_o größte Rissbreite
w_u kleinste Rissbreite

3.4 Schichtdicken

Aus jeder Betonplatte wurde ein Bohrkern aus der Nähe der Abreißfestigkeitsstempel herausgebohrt und mittig durchgesägt. Die Bestimmung der Schichtdicken erfolgte an fünf Messstellen unter dem Lichtmikroskop bei 16facher Vergrößerung (Abb. 3). Analog zu den Schichtdickenmessungen an den Betonplatten wurde bei den Prismen verfahren. Im Bereich der Sollbruchstelle erfolgte die Messung der Schichtdicken der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschichten und bei den OS E Systemen der Verschleißschichten. Dazu wurden die herausgesägten Scheiben unter dem Lichtmikroskop bei 16facher Vergrößerung vermessen. Pro Scheibe wurden 10 Einzelwerte bestimmt. Bei den Prismen, die aufgeweitet worden waren, wurde eine Scheibe senkrecht zur Prismenachse herausgesägt und ebenfalls an 10 Messstellen die Schichtdicke bestimmt.

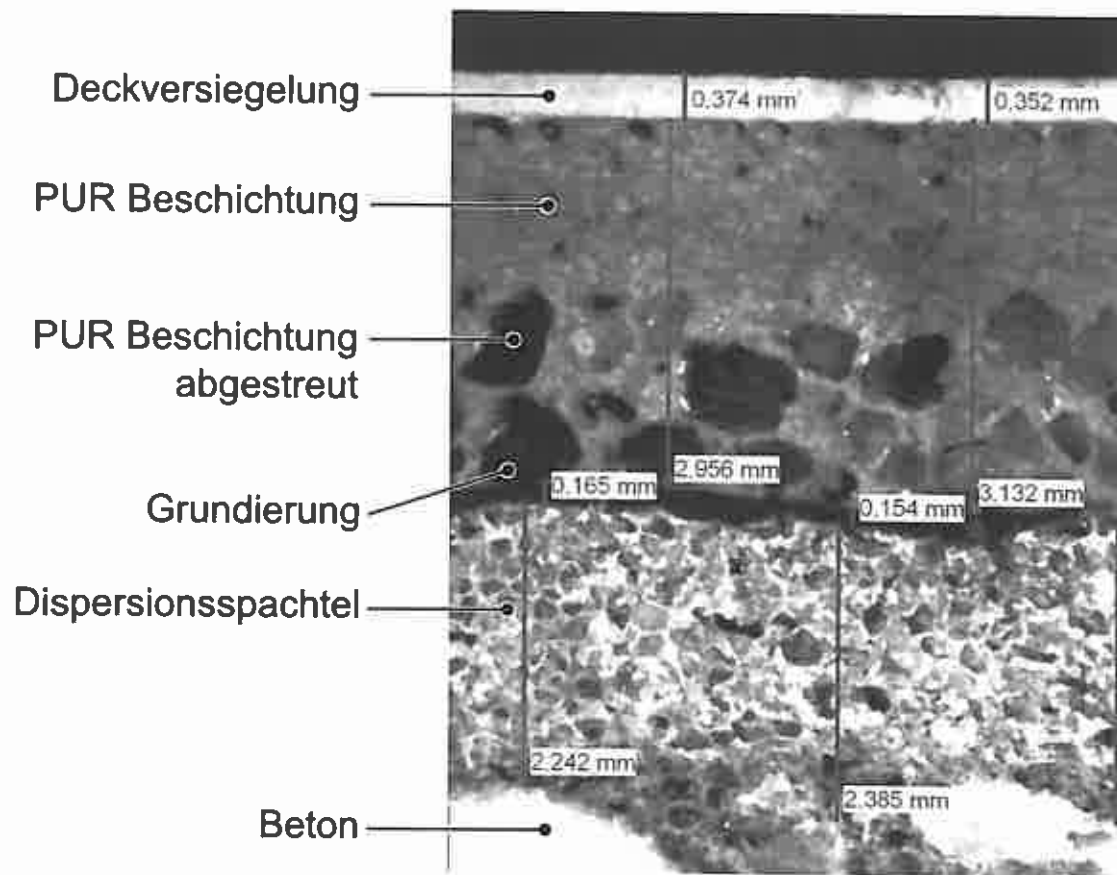


Abbildung 3: Schichtdickenmessung an System E1

3.5 Gitterschnitt

Beim Gitterschnitt werden 4 parallele Linien bis auf den Untergrund des Oberflächenschutzsystems eingeschnitten. Diese werden anschließend durch 4 im rechten Winkel dazu angelegte Schnitte gekreuzt. Hierauf folgt die erste Einstufung der Schnittkanten nach DIN EN ISO 2409, Tabelle 1. Nach mehrmaligem leichtem Bürsten erfolgt die Zweite, nach dem Aufbringen und Abziehen des Klebebandes die dritte Einstufung.

3.6 NMR-MOUSE

Mit dem Nuclear Magnetic Resonance Mobile Universal Surface Explorer, kurz NMR-MOUSE, ist es möglich Veränderungen in Polymerschichten zerstörungsfrei zu messen. Das Grundprinzip beruht darauf, dass die mittels Elektro- und Permanentmagneten zu Schwingungen angeregten Wasserstoffisotope durch ihr Abklingverhalten Rückschlüsse auf die Beweglichkeit der Polymermolekülketten zulassen. Ausführliche Erläuterung zu diesem Prüfverfahren sind [4] zu entnehmen.

4 Ergebnisse

4.1 Visuelle Bemusterung

Beide Auslagerungsstandorte haben unterschiedliche Erscheinungsbilder hervorgerufen. Auf Sylt ausgelagerte DI und DII Probekörper entwickelten mitunter einen großflächigen Flechtenbewuchs (Abb. 4), bei den E Systemen trat dieser nicht auf.

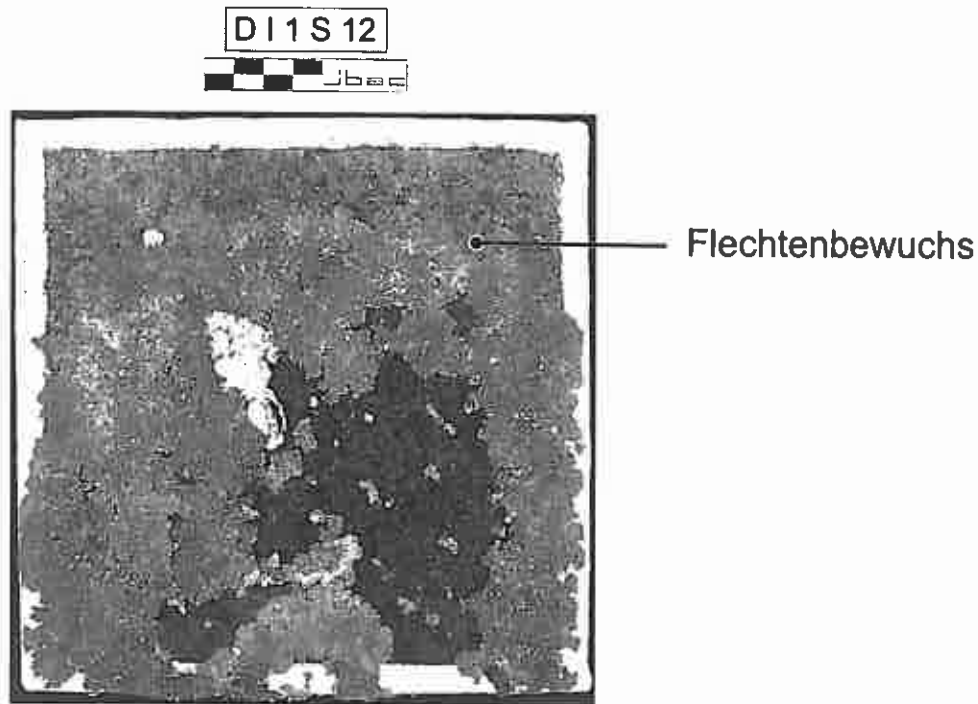


Abbildung 4: System DI 1 nach 12 Jahren Sylt

Sämtliche in Duisburg bewitterten Probekörper weisen hingegen starke Schmutzablagerungen auf (Abb. 5). Sowohl der Bewuchs als auch die Verschmutzungen sind nicht in die Schichten der Oberflächenschutzsysteme eingedrungen.

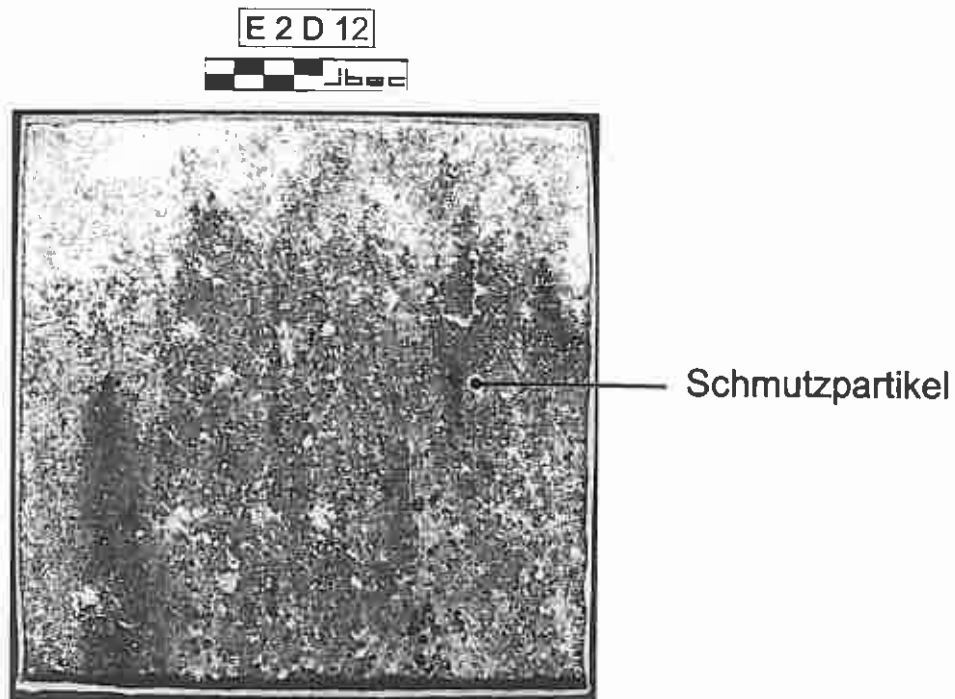


Abbildung 5: System E 2 nach 12 Jahren Duisburg

Eine Vergilbung wie nach der künstlichen Bewitterung konnte bei den freibewitterten Probekörpern nicht festgestellt werden.

Blasen oder Ablösungen vom Betonuntergrund wurden in keinem Fall festgestellt. Risse bildeten sich, an beiden Auslagerungsstandorten, in der Deckversiegelung des System E 2. Alle weiteren Systeme wiesen keine Risse auf.

4.2 Abreißfestigkeit

Durch den Vergleich der Bruchbilder und der Laststufen lassen sich die neun betrachteten Systeme in drei Gruppen einteilen.

- Systeme die eine Bruchspannung von mehr als 3,0 N/mm² erreichen: Ihre Bruchbilder beinhalten meist einen Betonanteil (Bruchbild B) und gehen durch mehrere Schichten. (Systeme DI 3, DII 1 Duisburg, DII 3, E 2 und E 3)
- Systeme mit einer Bruchspannung zwischen 1,5 und 3,0 N/mm²: Ein Versagen im Beton tritt nur noch in geringem Masse in Randbereichen auf. Die Bruchbilder können weiterhin durch mehrere Schichten verlaufen. (Systeme DI 1, DII 1 Sylt und E 1)
- Systeme mit weniger als 1,5 und mehr als 1,0 N/mm² Bruchspannung: Ein Versagen tritt ausschließlich in einer Schicht auf (Systeme DI 2 und DII 2). Einzelergebnisse mit Bruchspannungen von weniger als 1,0 N/mm² sind, wie z.B. bei der FTS Bewitterung des DII 1 Systems, auf Fehler an den Probekörpern oder den Beschichtungen zurückzuführen.

Bei den in den Abbildungen 6 und 7 aufgeführten Bruchbildern treten zwei unterschiedliche Versagensarten auf. Das Kohäsionsversagen verläuft innerhalb einer Schicht und stellt wegen der Auslastung der Materialeigenschaften die gewünschte Versagensart dar. Adhäsionsversagen tritt hingegen zwischen zwei Schichten (z.B. zwischen Feinspachtel und erster Schicht des Oberflächenschutzsystems: Bruchbild FS/OS1) auf.

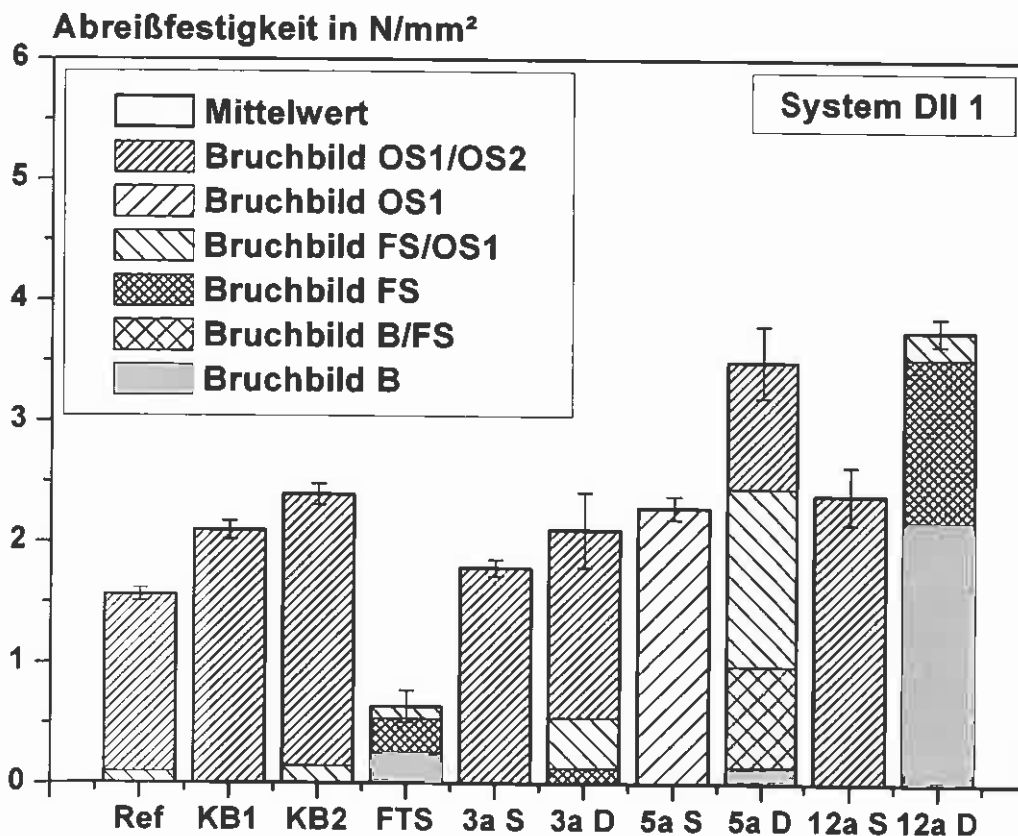


Abbildung 6: Abreißfestigkeit und Bruchbilder System DII 1

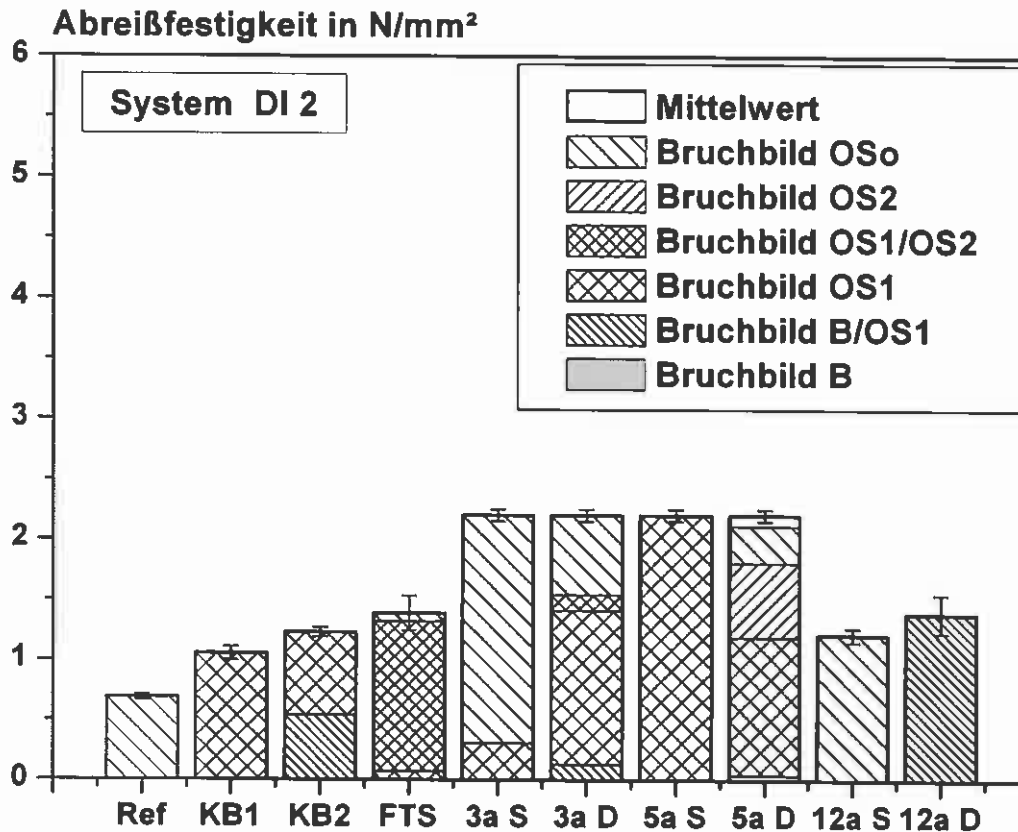


Abbildung 7: Abreißfestigkeit und Bruchbilder System DI 2

Die nach 12 Jahren ermittelten Werte machen deutlich, dass die meisten geprüften Oberflächenschutzsysteme keine signifikante Veränderung der Abreißfestigkeit außerhalb des Streubereiches aufweisen. Ausnahmen machen hier nur das System DI 2 (Abb. 7), mit einer Abnahme der Abreißfestigkeit um ca. 40 % gegenüber der 3 und 5 jährigen Freibewitterung, und die in Duisburg ausgelagerten Proben des System DII 1 (Abb. 6) welche ca. 50 % höhere Abreißfestigkeiten als die übrigen Proben des Systems aufweisen.

Im Vergleich der Auslagerungsstandorte sind die Bruchbilder der 12 Jahresproben jedes einzelnen Oberflächenschutzsystems, mit Ausnahme der Systeme DI 2 und DII 1, quasi untereinander identisch. Weiterhin kann man an der Auswertung der Referenz und der Ergebnisse nach 3 und 5 Jahren verglichen mit 12 Jahren Freibewitterung erkennen dass sich die Bruchbilder bei den Systemen DI 1, DI 3, DII 2, E 1, E 2 und E 3 kaum verändern.

Alle Systeme erfüllen nach 12 Jahren Auslagerung die Anforderungen, der zu erreichenden Abreißfestigkeiten, nach ZTV-ING sowohl beim Mittelwert als auch beim kleinsten Einzelwert

4.3 Rissüberbrückung

Die nach ZTV-ING Teil 3 Abschnitt 4 angestrebten Rissüberbrückungsklassen für Oberflächenschutzsysteme (Tab. 3) werden von den Systemen DI 2, DI 3, E 1 und E 3 sowie allen DII Systemen nach 12 jähriger Freibewitterung erreicht.

Die Systeme DII 1, DII 2 und die auf Sylt ausgelagerte Probe des Systems DII 3 übertreffen die Anforderungen und können somit in die nächst höhere Rissüberbrückungsklasse eingestuft werden. Lediglich die auf Sylt ausgelagerte Probe des System DI 1 und das System E 2 erreichen die angestrebten Rissüberbrückungsklassen nicht.

Bei allen, nach der Rissüberbrückungsklassenprüfung, bis zur maximalen Rissweite aufgeweiteten Systemen ist eine Abnahme der maximalen Rissüberbrückung über die Zeit zu erkennen. Dieser Trend ist vom Zeitpunkt der Applizierung bis zur Prüfung nach 3 Jahren Freibewitterung am stärksten. Die auf diese Phase folgende Entwicklung schwankt nach System und Auslagerungsstandort zwischen leichter Zunahme, Stagnation und weiterer Abnahme, verläuft aber mit wesentlich geringeren Veränderungen.

Ein Vergleich der Referenz ($t = 42$ Tage) mit den Ergebnissen nach künstlicher Bewitterung gibt Aufschluss über den generellen Trend der Entwicklung der Rissüberbrückung bei der Freibewitterung und im Groben über dessen Quantität für die Zeit nach 3 jähriger Auslagerung (Abb. 8).

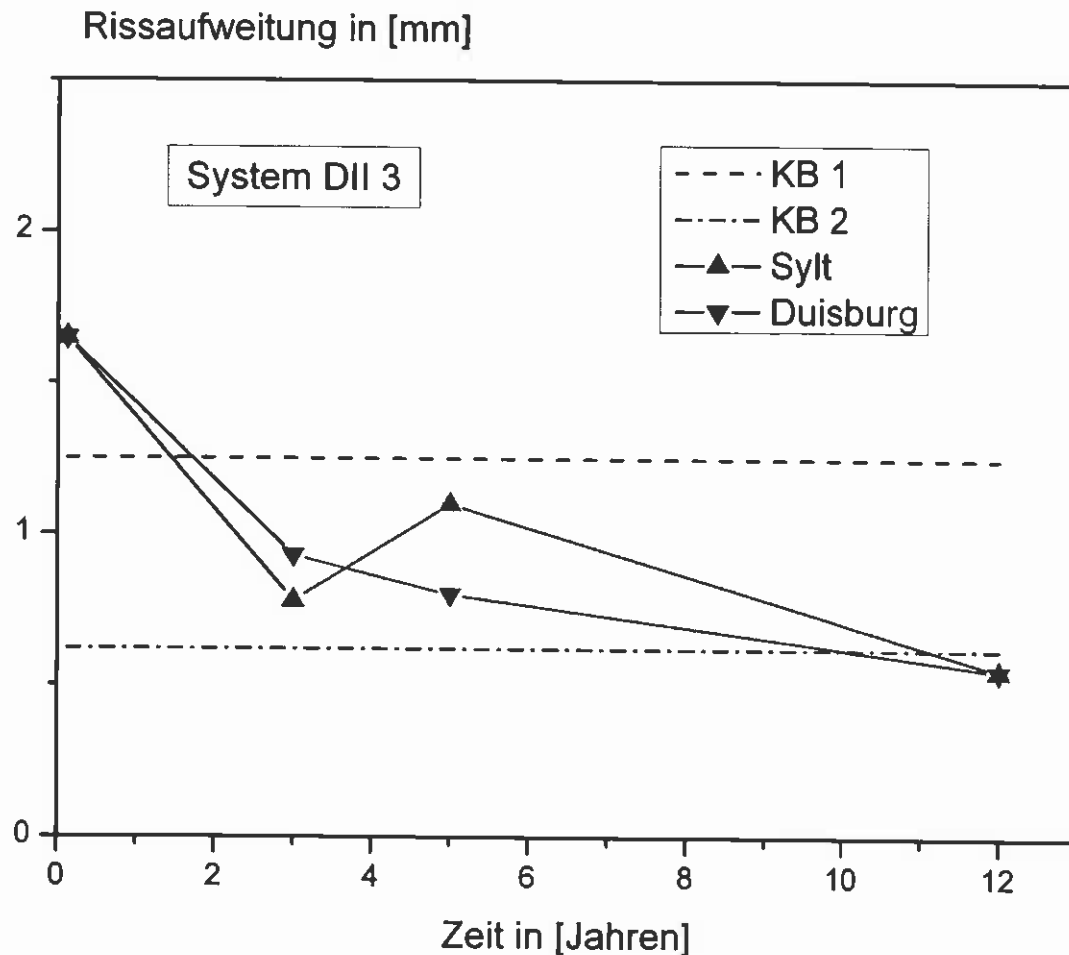


Abbildung 8: Maximalwert der Rissaufweitung am System DII 3

4.4 Schichtdicken

Eine signifikante Veränderung der Schichtdicke, verursacht durch eine Abwitterung der Oberfläche, kann im Rahmen dieser Untersuchung an keinem System festgestellt werden. Die gemessenen Schichtdickenunterschiede sind produktspezifische Schwankungen, die bei der Applikation der Systeme auftreten können.

4.5 Gitterschnitt

Die Systemen DI 1, DI 2 und E 1 konnten wegen der Schichtdicken $> 2000 \mu\text{m}$ dieser Prüfmethode nicht unterzogen werden. Bei den untersuchten Systemen weisen, mit Ausnahme von E 2, alle Systeme nach 12 jähriger Freibewitterung einen Gitterschnittkennwert $GT = 0$ auf. Der in der TP/TL OS (1996) geforderte Grenzwert

für den Gitterschnitt $GT \leq 2$ wird aber auch vom System E 2 ($GT = 2$) eingehalten. Verglichen mit den Ergebnissen der Referenz, der künstlichen Bewitterung und Freibewitterung nach 3 und 5 Jahren erkennt man, dass der Gitterschnittkennwert, mit Ausnahme von System E 2, konstant bleibt oder sich über die Zeit verbessert.

4.6 NMR-MOUSE

Abb. 9 zeigt die mit der NMR-MOUSE ermittelten Relaxationszeiten $T_{2\text{Lang}}$ des auf Beton applizierten DII 2 Systems nach 5 und 12 jähriger Freibewitterung in Duisburg und auf Sylt. Die Werte werden mit einer Referenzprobe verglichen, die 12 Jahre im Labor bei Normalklima, 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte, lagerte.

Nach der 5 jährigen Freibewitterung ist die Relaxationszeit $T_{2\text{Lang}}$ von 1,94 auf 1,78 bzw. 1,75 abgesunken. Eine Reduktion der Relaxationszeit deutet auf eine Abnahme der Polymerkettenbeweglichkeit hin, welche mit einer erhöhten Materialsteifigkeit einhergeht [4]. Der Mittelwert der Relaxationszeit $T_{2\text{Lang}}$ nach 12 jähriger Freibewitterung nimmt gegenüber den 5-Jahreswerten ebenfalls ab, jedoch ist diese Abnahme nicht signifikant. Die Unterschiede zwischen den Auslagerungsstandorten Sylt und Duisburg sind vernachlässigbar.

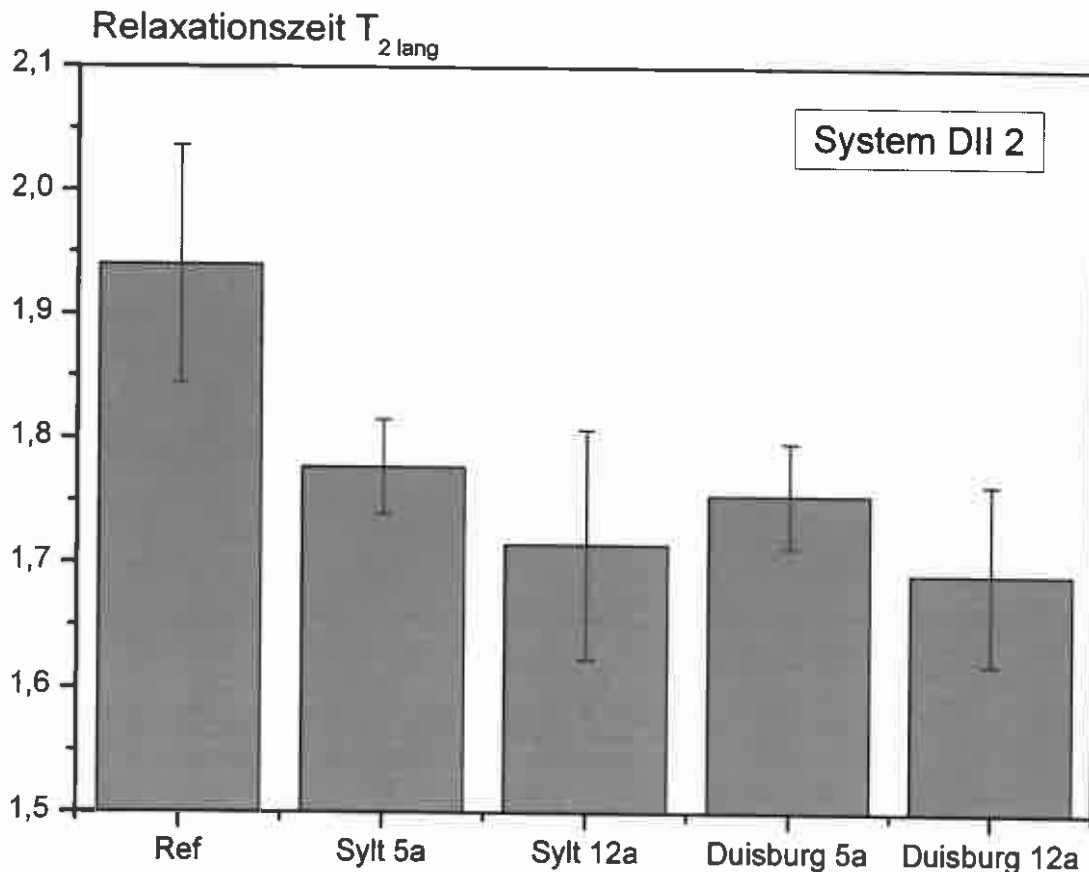


Abbildung 9: Relaxationszeit $T_{2\text{Lang}}$ am System DII 2

Zusammenfassung und Ausblick:

- Die durchgeführten Prüfungen haben gezeigt, dass die in der ZTV-ING geforderten Grenzwerte für Abreißfestigkeit und Gitterschnitt von allen Systemen auch nach 12 jähriger Freibewitterung eingehalten werden. Signifikante Veränderungen der Abreißfestigkeit hat es durch Freibewitterung nur bei zwei Systemen gegeben. Der Gitterschnittkennwert wird, außer bei einem System, durch die Bewitterungen nicht oder nur positiv beeinflusst. Die Resultate der künstlichen Bewitterung decken sich im Bezug auf den Gitterschnitt mit denen der Freibewitterung.
- Nach der visuellen Begutachtung stellte sich heraus, dass sämtlicher Bewuchs und Verschmutzung nur oberflächlich an den Beschichtungen haftet und sich durch Abwaschen entfernen lässt. Verfärbungen, wie bei den künstlichen Bewitterungen, traten bei keinem freibewitterten System auf. Um das ursprüngliche Erscheinungsbild zu erhalten sollten Beschichtungen in regelmäßigen Abständen gereinigt werden.
- Die geforderte Rissüberbrückungsfähigkeit wird von den meisten Systemen nach 12 Jahren Freibewitterung gewährleistet. Die DII-Systeme erfüllen zusätzlich die Anforderungen der nächst höheren Rissüberbrückungsklasse, wogegen ein E- und ein Auslagerungsstandort eines DI-Systems die Anforderungen nicht erfüllen. Bei der Ermittlung der maximal überbrückbaren Rissbreite stellte sich heraus, dass bei den Beschichtungen im Zeitraum der ersten 3 Jahre nach Applikation die Abnahme der Rissüberbrückungsfähigkeit am größten ist. In den darauf folgenden Phasen sind die Veränderungen wesentlich geringer.
- Die künstlichen Bewitterungen können die Quantität und Qualität der Veränderungen des Gitterschnittes und der Rissüberbrückungsfähigkeit nach 12 jähriger Freibewitterung grob widerspiegeln. Die Resultate nach der in der ZTV-ING vorgeschriebenen künstlichen Bewitterung mit 2480 Stunden UV-Beaufschlagung (KB 2) kommen hierbei den Ergebnissen nach 3 bis 12 jähriger Freibewitterung am nächsten.
- Vergleicht man die Ergebnisse der Untersuchungen mit der NMR-MOUSE mit denen der Rissüberbrückungsfähigkeit erkennt man, dass die Abnahme der maximal überbrückbaren Rissbreite vergleichbar mit der Abnahme der Relaxationszeit $T_{2\text{lang}}$ ist. Es ist zu vermuten, dass die Verminderung der Rissüberbrückungsfähigkeit mit dem Ansteigen der Materialsteifigkeit einhergeht.

Zukünftige Forschungsprojekte am Institut für Bauforschung der RWTH-Aachen haben das Ziel, mittels zerstörungsfreier Messmethoden Aussagen über die Restnutzungsdauer von Beschichtungen treffen zu können.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Unterstützung durch die Bundesanstalt für Straßenwesen im Rahmen des Forschungsvorhabens „Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen auf Beton“

Literatur

1. Bundesanstalt für Straßenwesen ; ZTV-ING ; *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Verkehrsbauten*. Dortmund : Verkehrsblatt, 12/2007
2. Raupach, M ; Wolff, L : *Investigating the Durability of Surface Protection Systems for Concrete*, Teddington : The Paint Research Association, 2003. - In: *Coatings for Masonry and Concrete, Conference Papers*, Brussels, June 30 - July 1, 2003
3. Wolff, L.: *Ergebnisse des Forschungsvorhabens: „Prüf- und Anforderungskriterien für die Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen“*, In: "Oberflächenschutzsysteme - Neue Produkte und Forschungsergebnisse" 27. Aachener Baustofftag, Aachen, 31.10.2002
4. Orłowski, J.: *Zerstörungsfreie Bestimmung der Schichtdicken, Feuchtigkeit und Alterung von Beschichtungen mittels NMR-MOUSE*. In: *Restoration of buildings and monuments* In: 38. Aachener Baustofftag, Aachen, 29.10.2009

Literatur zur Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungen

Büttner, T. ; Raupach, M.: *Hydrophobierungen auf Betonoberflächen - Dauerhaftigkeitsbetrachtungen und zerstörungsfreie Prüfung : Hydrophobic Treatments of Concrete Surface - Durability and Non-Destructive Testing*. Ostfildern : Technische Akademie Esslingen, 2009. - In: 1. Kolloquium *Erhaltung von Bauwerken, Ostfildern*, 27. und 28. Januar 2009, (Raupach, M. (Ed.)), S. 241-247 ISBN 3-924813-76-0

Literatur zur Dauerhaftigkeit von Beschichtungen in Parkbauten

Raupach, M. ; Wolff, L. ; Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein ; DBV: *Reduktion der Bewehrungsüberdeckung bei vorhandener Beschichtung bei Parkhaus-Neubauten*. Berlin : Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.. - In: DBV-Heft (2005), Nr. 9, s. auch <http://www.bauwerkserhaltung.ac> im Downloadbereich unter Service