

Wolfgang Breit, Eva-Maria Ladner

**Dauerhaftigkeit von riss-
überbrückungsfähigen
Beschichtungssystemen unter
realitätsnaher Beanspruchung**

F 3021

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-8167-9979-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

Gebäude 60
Gottlieb-Daimler-Straße
67663 Kaiserslautern
Telefon: (0631) 2 05 – 22 97
Telefax: (0631) 2 05 – 31 01
E-Mail: wolfgang.breit@bauing.uni-kl.de
www.bauing.uni-kl.de/fwb

ENDBERICHT

F239-9201536

vom 31.01.2017

SWD-10.08.18.7-14.03

Dauerhaftigkeit von rissüberbrückungsfähigen Beschichtungssystemen unter realitätsnaher Beanspruchung

**Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des
Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.**

(Aktenzeichen: SWD - 10.08.18.7-14.03)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Dieser Bericht umfasst 75 Seiten (inkl. Deckblatt).

Wiedergabe, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Kaiserslautern gestattet. Jede Haftung des Fachgebiets und seiner Mitarbeiter aus mündlichen oder schriftlichen Auskünften, Beratungen oder Gutachten ist, soweit gesetzlich zulässig, ausgeschlossen. Von Ansprüchen Dritter sind wir freizustellen.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Übersicht	4
1 Ausgangssituation.....	5
1.1 Kurzbeschreibung.....	5
1.2 Beschreibung der zu lösenden Probleme.....	5
1.3 Begründung des Forschungsvorhabens.....	6
1.4 Forschungsverbund / Projektbegleitung / Beratergruppe.....	7
1.5 Ausgangsbasis.....	7
2 Aufbau des Forschungsvorhabens.....	8
2.1 Allgemein.....	8
2.2 Modul I.....	8
2.3 Modul II.....	9
2.4 Modul III.....	9
3 Durchführung und Ergebnisse der Module.....	10
3.1 Modul I.....	10
3.1.1 Vorausgegangenes Forschungsvorhaben.....	10
3.1.2 Festlegung der Parameter.....	10
3.2 Modul II.....	13
3.2.1 Allgemein.....	13
3.2.2 Herstellung Probekörper.....	13
3.2.3 Einleitung der Risse.....	15
3.2.4 Applikation einer Rissbandage.....	16
3.2.5 Beschichten der Probekörper.....	19
3.2.6 Durchführung der Verschleißversuche.....	20
3.2.7 Ergebnisse der Verschleißversuche.....	22
3.2.8 Bestimmung von Materialparametern.....	49
3.2.9 Tribologie.....	56
3.3 Modul III.....	60
3.3.1 Allgemein.....	60

3.3.2	Einleitung	60
3.3.3	Anwendungsbereich	60
3.3.4	Normative Verweisungen	60
3.3.5	Definitionen	61
3.3.6	Prinzip	62
3.3.7	Geräte und Prüfmittel	62
3.3.8	Probekörper	63
3.3.9	Durchführung der Prüfungen	64
3.3.10	Beurteilung	65
3.3.11	Prüfbericht.....	67
4	Zusammenfassung	68
	Literaturverzeichnis.....	69
	Abbildungsverzeichnis.....	72
	Tabellenverzeichnis.....	75

Übersicht

BBR-Bericht:	SWD-10.08.18.7-14.03
Titel :	Dauerhaftigkeit von rissüberbrückungsfähigen Beschichtungssystemen unter realitätsnaher Beanspruchung
Zuwendungsgeber:	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) Zukunft BAU Deichmanns Aue 31-37 D-53179 Bonn
Zuwendungsgeber, vertreten durch:	Herr Dipl.-Ing. Steffen Kisseler
Bearbeiter:	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit (TU Kaiserslautern) Dipl.-Ing. Eva-Maria Ladner (TU Kaiserslautern)
Interne Forschungsnummer:	F239-9201536
Ausgestellt am:	31.01.2017
Berichtsumfang:	75 Seiten

1 Ausgangssituation

1.1 Kurzbeschreibung

Parkhäuser und Industriefußböden werden oft kostengünstig aus Stahlbeton hergestellt. Sowohl in Parkhäusern als auch bei Industrieböden werden gefugte und fugenlose Konstruktionen gewählt. Zur Erhöhung und Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Konstruktion und/oder zur Erhöhung des Verschleißwiderstandes werden die Oberflächen i. d. R. mit Oberflächenschutzsystemen nach DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen" [1] beschichtet. Bei befahrenen Flächen ergeben sich trotz Fugen regelmäßig erhebliche Schäden, wenn es nach unplanmäßigen Rissbildungen zu Rissflankenabbrüchen durch Überfahrungen (Nutzung) kommt. Neben den damit verbundenen Nutzungseinschränkungen gehen optische Beeinträchtigungen damit einher [2 bis 5].

Die Prüfung der Rissüberbrückungsfähigkeit von Beschichtungssystemen erfolgt zurzeit mit Verfahren, die die tatsächliche Beanspruchung derartiger Beschichtungen in Parkbauten nicht praxisnah simuliert.

Im Hinblick auf die Anwendungssicherheit von rissüberbrückenden Oberflächenschutzsystemen besteht daher Bedarf nach einem praxisnäheren Verfahren.

1.2 Beschreibung der zu lösenden Probleme

Im Allgemeinen werden Parkbauten als Hochbauten aufgefasst [6, 7]. Tatsächlich weisen diese Gebäude aber eher die Beanspruchungen von Verkehrsbauwerken auf und sollten dementsprechend geplant werden. Aus Gründen der Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Konstruktion ist daher bei direkt befahrenen Parkdecks gemäß DIN 1045 (Expositionsklasse XD3) eine Ausführung nur mit zusätzlichen Maßnahmen (z. B. rissüberbrückende Beschichtung) notwendig [8].

Die technischen Anforderungen an die Oberflächenschutzsysteme sind für diesen Anwendungsfall extrem anspruchsvoll, da zum einen die Abdichtung des Stahlbetons gegen eindringende Chloride gewährleistet und zum anderen die Beständigkeit gegen Verschleißbeanspruchung durch PKW-Befahrung gegeben sein muss [9].

Zurzeit gibt es kein normatives Prüfverfahren, das die Überfahrbarkeit von beschichteten Rissen unter praxisgerechter Beanspruchung beinhaltet. In der Praxis können solche Überfahrungen bereits nach kurzer Nutzungszeit zu erheblichen Schäden führen.

Der normative Nachweis erfolgt zurzeit anhand der Rissüberbrückungsfähigkeit von Beschichtungstoffen, bei denen ein unbelasteter Riss kontinuierlich aufgeweitet wird bzw. die Rissbreite periodisch geändert wird [10]

Um die notwendige Anwendungssicherheit zu schaffen, ist es daher erforderlich, ein Prüfverfahren zu entwickeln, das in der Lage ist, Oberflächenschutzsysteme für den Anwendungsfall "Überfahrbarkeit von Rissen" zielsicher zu bewerten.

1.3 Begründung des Forschungsvorhabens

Nach DIN EN 1062-7 [10] wird die Rissüberbrückungsfähigkeit nach zwei Verfahren bestimmt:

- Verfahren A: Die Rissbreite wird mit definierter Geschwindigkeit kontinuierlich aufgeweitet bis die Beschichtung reißt oder die geforderte Rissbreite erreicht ist.
- Verfahren B: Die Rissbreite ändert sich periodisch in Abhängigkeit von der Temperatur bis die Beschichtung oder das Beschichtungssystem reißt oder der dynamische Zyklus beendet ist.

Bei beiden Verfahren wird die Rissüberbrückungsfähigkeit nur anhand von Rissbreiten bzw. in Abhängigkeit von einer Prüftemperatur jedoch ohne die Berücksichtigung der gegebenen Belastungen durch Fahrzeuge geprüft. Diese Verfahren spiegeln nicht die Realität wider, weshalb hier Handlungsbedarf gesehen wird, ein aussagekräftiges Prüfverfahren zur Beurteilung des Oberflächenverschleißes im Rissbereich zu entwickeln, um einen besseren Bezug zur Praxis und die notwendige Anwendungssicherheit herstellen zu können.

1.4 Forschungsverbund / Projektbegleitung / Beratergruppe

Das Projekt wurde durchgeführt von:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit

Dipl.-Ing. Eva-Maria Ladner

Technische Universität Kaiserslautern

Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen

Gottlieb-Daimler-Straße, Geb. 60

D-67663 Kaiserslautern

Das Projekt wurde seitens des BBR begleitet von:

Dipl.-Ing. Steffen Kisseler

KISSELER ING

i. A. des Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Prälat-Marschall-Str. 95

D-42784 Haan-Gruiten

1.5 Ausgangsbasis

Die Untersuchungen bauen auf den Forschungsprojekten "Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen" (SF-10.08.18.7-11.26) [11] und "Systematische Erforschung der Rissflankenbruchneigung von befahrenen Industrieböden" (SF-10.08.18.7-11.44) [12] auf und sollen die dort nicht behandelte Lücke der "rissüberbrückenden Beschichtungssysteme" schließen. Im erst genannten Projekt konnte gezeigt werden, dass der Verschleiß von Oberflächenschutzsystemen mit den erstmals eingesetzten praxisnahen Prüfverfahren des PAT- sowie des DAT-Tests (Parking Abrasion Test, Driving Abrasion Test) zu differenzierbaren und zu in der Praxis anwendbaren Ergebnissen führt.

Erste Ergebnisse hierzu wurden im Januar 2013 im Kolloquium Erhaltung von Bauwerken der Technischen Akademie Esslingen sowie bei ACCTA 2013 in Johannesburg veröffentlicht [13, 14].

Ferner werden die Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben an unbeschichteten stark beanspruchten Betonoberflächen berücksichtigt [5].

Die beschriebene Problematik ist in der Fachwelt bekannt und wird in der einschlägigen Literatur thematisiert (siehe auch Literaturverzeichnis).

2 Aufbau des Forschungsvorhabens

2.1 Allgemein

Das Forschungsvorhaben „Dauerhaftigkeit von rissüberbrückungsfähigen Beschichtungssystemen unter realitätsnaher Beanspruchung“ soll die Lücke zwischen der Leistungsfähigkeit von Oberflächenschutzsystemen im Bereich von Rissen und der Problematik von Rissflankenabbrüchen bei überfahrenen Rissen schließen. Hierzu ist es notwendig die rissüberbrückungsfähigen Oberflächenschutzsysteme unter realitätsnahen Belastungen zu untersuchen. Das Projekt ist hierzu in drei Module untergliedert. In Modul I werden zunächst alle für die geplante Zielrichtung des Projektes vorliegenden Ergebnisse der vorangegangenen Forschungsvorhaben aufgearbeitet und in ein Versuchsprogramm überführt. Modul II beinhaltet die umfangreichen praktischen Untersuchungen und stellt den Schwerpunkt im vorliegenden Forschungsvorhaben dar. Im abschließenden Modul III wird eine anwendungsorientierte Prüfvorschrift mit entsprechenden Bewertungskriterien erarbeitet.

2.2 Modul I

Modul I: Versuchsplanung

Hierzu zählen im Einzelnen folgende Positionen:

- Auswahl der Oberflächenschutzsysteme (basierend auf der Kategorisierung des Projektes SF-10.08.18.7-11.26, [11])
- Planung der durchzuführenden Untersuchungen (PAT- und DAT)
- Festlegung der zu prüfenden Rissbreite (im Bereich der Herstellerangaben, sowie größere Rissbreiten)
- Auswahl des Betons (Referenzbeton nach DIN EN 1766 [15], Beton entsprechend der Praxiserfahrungswerte)
- Festlegung der maximalen Radlast
- ...

Die vorgenannten Parameter wurden mit der Beratergruppe abgestimmt.

Im Rahmen der Versuchsplanung wurden die Ergebnisse aus vorhandenen PAT- und DAT-Tests sowie den Forschungsvorhaben zur Rissflankenbruchneigung stark beanspruchter Betonoberflächen hinsichtlich der geplanten Versuche ausgewertet und bewertet. Die relevanten Einflussparameter wurden zusammengetragen und in Modul II berücksichtigt.

2.3 Modul II

Durchführung von Verschleißversuchen an beschichteten Rissen

Die Untersuchungen wurden im Wesentlichen (in Abstimmung mit der Beratergruppe) mit dem Prüfverfahren DAT-Test durchgeführt. Hierzu wurden in den Grundkörpern aus Beton entsprechende Rissvorgaben eingestellt und diese anschließend mit verschiedenen rissüberbrückenden Oberflächenschutzsystemen beschichtet. Im Rahmen der Versuche wurden der Verschleiß, die Funktionsfähigkeit der Rissüberbrückung und ggf. die Neigung zum Rissflankenabbruch bewertet. Für die Bestimmung der vorangegangenen Kriterien wurden unterschiedliche Prüf- und Messtechniken angewendet.

Die Fa. Keyence Deutschland GmbH unterstützte das Projekt dabei aus messtechnischer Sicht fachlich und finanziell. Ziel war es, mit Hilfe des neuen Laserscanverfahrens zu einem schnellen und bewertbaren Ergebnis zu kommen. Bei diesem Verfahren ist grundsätzlich auch die Möglichkeit gegeben, das Laserscanverfahren für den Praxisbereich zu etablieren.

Zusätzlich wurden an Zugproben die Materialkennwerte bestimmt, da diese Rückschlüsse auf das Verschleißverhalten zulassen. Ebenfalls wurde das tribologische System untersucht.

2.4 Modul III

Zusammenstellung der Prüfergebnisse und Erarbeitung eines Prüfkonzeptes

Nach Auswertung aller Versuche und der Verifizierung der wesentlichen Einflussgrößen erfolgte die Ausarbeitung eines Prüfkonzeptes. Darin wurden sämtliche Randbedingungen und Prüfparameter wie z. B. Auflast und Intervalldauer festgelegt. Weiterhin erfolgte die Bestimmung der zur Auswertung heranzuziehenden Bewertungskriterien und Festlegung von Schadensklassen zur Vergleichbarkeit der verwendeten Oberflächenschutzsysteme.

3 Durchführung und Ergebnisse der Module

3.1 Modul I

3.1.1 Vorausgegangenes Forschungsvorhaben

Grundlage für dieses Forschungsvorhaben war das vorausgegangene Projekt „Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen“ [11].

In diesem wurden zwei neu entwickelte Prüfverfahren, der Parking Abrasion Test und der Driving Abrasion Test, zur Ermittlung des Verschleißes von Beschichtungssystemen erprobt. Beide Prüfverfahren ermöglichen grundsätzlich eine bessere Beurteilung des Verschleißes von Parkhausbeschichtungssystemen als die bisher normativ vorgeschriebenen Prüfverfahren.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass bei der Herstellung der Probekörper für den Driving Abrasion Test in Zukunft nur ein Oberflächenschutzsystem je Probekörper (Ring) verwendet werden sollte, da die unterschiedlichen Höhen im Schichtaufbau, die je nach Hersteller teils stark variieren, die Versuchsdurchführung und die Lasermessungen und somit auch die Auswertung und Darstellung der Messergebnisse erschweren.

In den Untersuchungen wurde ebenfalls deutlich, dass die geprüften Oberflächenschutzsysteme über stark unterschiedliche Abriebwiderstände verfügen und eine Differenzierung durch Schichtdickenmessung und Laserscannung möglich ist. Die Genauigkeit zur Bestimmung des Verschleißes ist mit beiden Verfahren gegenüber der Bohrkernentnahme höher und aufgrund der zerstörungsfreien Messmethode vorteilhafter. In Kombination mit einer optischen Beurteilung und Einstufung in die genannten Verschleißklassen lässt sich auch bei beginnendem Verschleiß eine gute Einschätzung bezüglich der Verschleißigenschaften treffen. Die relativ einfache Auswertung der Messergebnisse und die Möglichkeit der 3D-Visualisierung überwiegen gegenüber dem Zeitaufwand der Ergebnisaufbereitung.

3.1.2 Festlegung der Parameter

Modul I beinhaltet die Versuchsplanung. Im Rahmen der Versuchsplanung wurden die Ergebnisse aus bereits durchgeführten PAT- und DAT-Tests sowie den Forschungsvorhaben zur Rissflankenbruchneigung stark beanspruchter Betonoberflächen hinsichtlich der geplanten Versuche ausgewertet und bewertet. Mit der Beratergruppe wurden dabei folgende Parameter für die Untersuchungen in Modul II festgelegt:

Für die Prüfungen wurden die Oberflächenschutzsysteme OS 11a und OS 11b sowie zusätzlich ein OS 8 mit Rissbandagen festgelegt. Insgesamt sollen mit dem Driving Abrasion Test bis zu maximal 10 Systeme (in Abhängigkeit von den ersten Ergebnissen) geprüft werden. Die Betongrundkörper dafür wurden im Labor der TU Kaiserslautern hergestellt. Die Mischungszusammensetzung für die Betongrundkörper kann Tabelle 3.1 entnommen werden. Es handelt sich dabei um eine praxisübliche Betonzusammensetzung der Festigkeitsklasse C 35/45, sodass die Anforderungen an die Expositionsklasse (XD3) eingehalten wurden.

Tabelle 3.1 Mischungszusammensetzung der Betongrundkörper

Verwendete Materialien	kg/m³
Zement CEM I 42,5	367
Wasser	163
Sand 0/2	590
Kies 2/8	663
Kies 8/16	558
Zusatzmittel (FM)	1,8
Bemerkungen	w/z-Wert 0,45

Je Probekörper wurden insgesamt sechs Stellen zum Einleiten von Rissen vorgesehen. Zwei dieser Stellen sind für die Applikationen von Rissbandagen vorgesehen, an zwei weiteren Stellen soll eine Rissbreite von 0,2 mm und den letzten beiden eine Rissbreite von 0,3 mm (siehe Abbildung 3.1) eingestellt werden. Wie im vorausgegangen Forschungsvorhaben wurde die Achslast erneut auf 450 kg festgelegt.

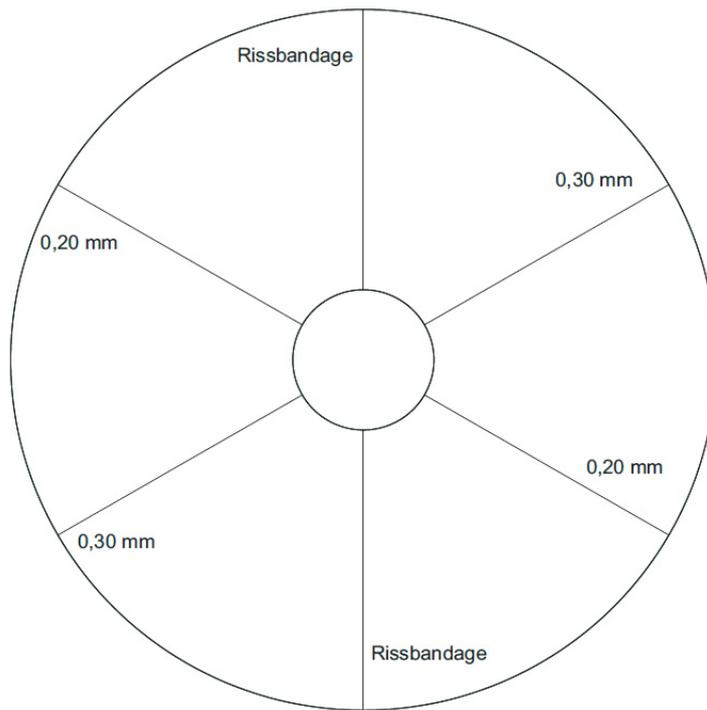


Abbildung 3.1 Skizze Anordnung Risse

3.2 Modul II

3.2.1 Allgemein

Modul II beinhaltet die Durchführung von Verschleißversuchen an beschichteten Rissen.

Hierzu wurden Grundkörper aus Beton hergestellt und entsprechende Rissvorgaben eingestellt bevor diese anschließend mit verschiedenen rissüberbrückenden Oberflächenschutzsystemen beschichtet wurden. Im Rahmen der Versuche wurden der Verschleiß, die Funktionsfähigkeit der Rissüberbrückung und ggf. die Neigung zum Rissflankenabbruch bewertet. Für die Bestimmung der vorangegangenen Kriterien wurden unterschiedliche Prüf- und Messtechniken angewendet. U. a. wird mit Hilfe des neuen Laserscanverfahrens der Verschleiß dokumentiert, sodass ein schnell bewertbares Ergebnis vorliegt.

3.2.2 Herstellung Probekörper

Die Herstellung verlief bei allen Probekörpern gleichermaßen. Die Ringe haben eine Dicke von 0,2 m und einen Ringdurchmesser von 1,5 m. Es wurde eine Metallschalung verwendet. Die Schalung mit eingebrachter Bewehrung ist in Abbildung 3.2 zu sehen. Sechs Rissbleche wurden (gleichmäßig verteilt) wie in Abbildung 3.2 dargestellt in jedem Probekörper eingebaut. Je Betonage konnte ein Ring hergestellt werden. Über die beiden Leerrohre je Rissbleche wurden nach dem Aushärten die Risse indiziert.



Abbildung 3.2 Grundkörper vor der Betonage (links) und Detail Rissblech (rechts)

In Abbildung 3.3 ist der Einbau des Betons dargestellt. Besondere Sorgfalt war bei den Rissblechen notwendig, um ein Verrutschen zu verhindern. Anschließend erfolgte die Nivellierung mit einer Messlatte (Abbildung 3.4).



Abbildung 3.3 Einbau des Betons



Abbildung 3.4 Nivellieren und Glätten des Probekörpers



Abbildung 3.5 Glätten des Probekörpers (links) und fertiger Grundkörper (rechts)

Die Oberfläche wurde mit einer Traufel und einem Reibebrett nivelliert, sodass sie schließlich möglichst frei von Luftporen war und die Unebenheiten ausgeglichen wurden (Abbildung 3.4 und Abbildung 3.5). Die Bestimmung der Frischbetonkennwerte erfolgte nach DIN EN 12350-5 [16]. Neben dem Ausbreitmaß und der Rohdichte nach DIN EN 12350-7 [17] wurde der Luftporengehalt bestimmt. Die Ergebnisse der Frischbetonprüfungen können der Tabelle 3.2 entnommen werden.

Tabelle 3.2 Frischbetonkennwerte

Ringnummer	Rohdichte [kg/dm ³]	Ausbreitmaß [mm]	LP-Gehalt [%]	Bemerkung
1	2,32	350	3,4	Rissbandage
3	2,36	300	1,6	
4	2,25	310	3,3	
2	2,32	380	3,0	Deckversiegelung
5	2,32	420	2,8	Deckversiegelung
6	2,24	450	3,5	
7	2,28	370	2,8	

Tabelle 3.3 Festbetonkennwerte

Ringnummer	Probekörpernummer	Prüfalter [d]	Rohdichte [kg/dm ³]	Druckfestigkeit [N/mm ²]
1	7-9	7	2,32	51,4
	10-12	28	2,31	60,7
2	13-15	7	2,35	52,9
	16-18	28	2,36	61,7
3	19-21	7	2,21	40,4
	22-24	28	2,20	42,1
4	25-27	7	2,32	56,5
	28-30	28	2,31	65,4
5	31-33	7	2,27	44,4
	34-36	28	2,25	50,3
6	43-45	7	2,33	48,8
	46-48	28	2,33	58,0
7	49-51	7	2,19	39,3
	52-54	28	2,17	46,4

Für die Bestimmung der Festbetonkennwerte wurden bei jeder Betonage sechs Würfel hergestellt. Die Druckfestigkeiten wurden nach sieben und 28 Tagen ermittelt. Die Bestimmung der Festigkeiten erfolgte nach DIN EN 12390-3 [18] und können Tabelle 3.3 entnommen werden. Vor dem Beschichten wurde die geforderte Oberflächenrauigkeit von 0,3 bis 0,5 mm durch Sandstrahlen mit Korund nach DIN EN 1766 [15] erzeugt.

3.2.3 Einleitung der Risse

Die Risse wurden zunächst mit sog. kegelförmigen Risskeilen über die Leerrohre eingeleitet (siehe Abbildung 3.6 und Abbildung 3.7). Für jeden Riss wurden zwei Risskeile benötigt. Diese wurden entsprechend so weit eingeschlagen, bis die gewünschte Rissbreite erreicht war. Anschließend verblieben die Risskeile auch während dem Beschichten in dem Probekörper, da sich zum einen

die Risse wieder verschließen würden und zum anderen so die Möglichkeit gegeben ist die Rissbreiten zu einem späteren Zeitpunkt zu variieren.



Abbildung 3.6 Sandgestrahlter Betongrundkörper mit eingeleiteten Rissen

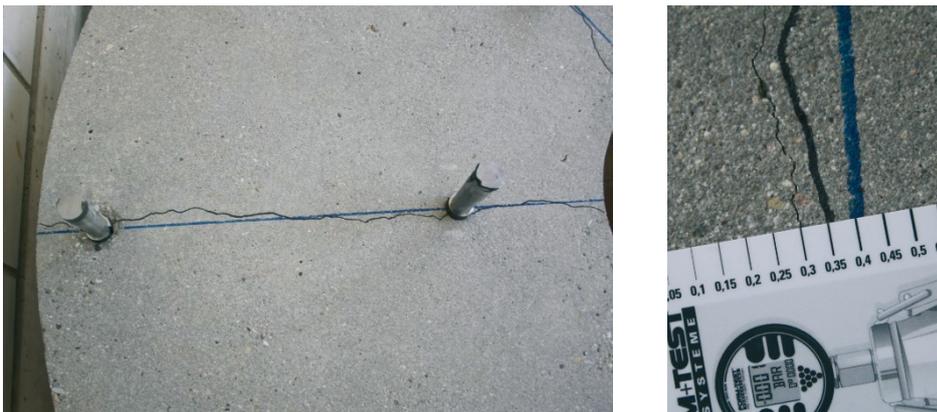


Abbildung 3.7 Detailaufnahme Riss mit Rissbreite 0,3 mm

3.2.4 Applikation einer Rissbandage

Die Beschichtung eines Probekörpers dauerte aufgrund der Aushärtezeiten ca. eine Woche. In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 3.8 bis Abbildung 3.14) sind die einzelnen Applikationsschritte des Grundkörpers dargestellt. Appliziert wurde ein OS 8-System mit Rissbandage. In Abbildung 3.8 ist links der mit einem OS 8-System beschichtete Probekörper vor der Einleitung der Risse dargestellt.

Die Risse wurden zunächst mit kegelförmigen Risskeilen über die Leerrohre eingeleitet (Abbildung 3.8 rechts). Für jeden Riss wurden zwei Risskeile benötigt. Diese wurden so weit eingeschlagen, bis die gewünschte Rissbreite erreicht war. Anschließend verblieben die Risskeile auch während des Beschichtens in dem Probekörper (Abbildung 3.9 bis Abbildung 3.14), da sich

die Risse sonst wieder schließen würden. Über die Risskeile wurde anschließend das Beschichtungssystem durch den Hersteller appliziert.



Abbildung 3.8 OS 8-System ohne Rissbandage (links) und Einleitung der Risse (rechts)



Abbildung 3.9: Markierung zur Überprüfung der Rissweite (links) und Abfräsen der Betonoberfläche (rechts)

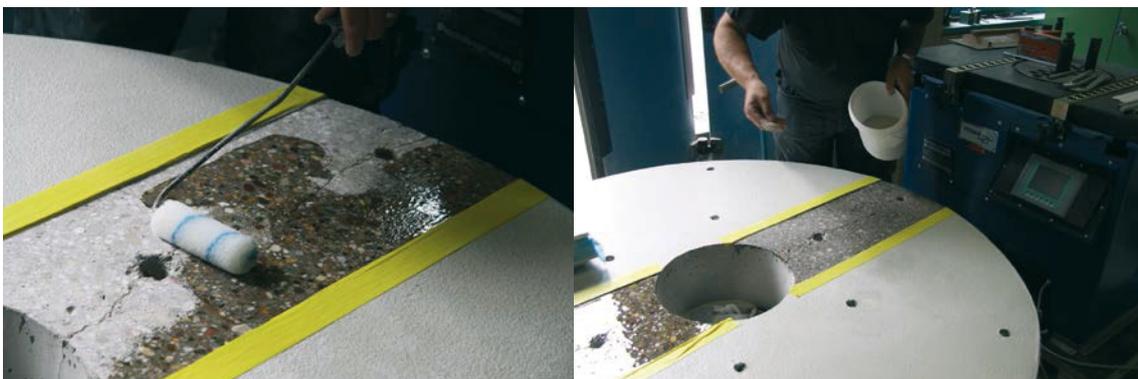


Abbildung 3.10: Applizieren (links) und Absanden (rechts) der Grundierung



Abbildung 3.11: Abgesandete Risse

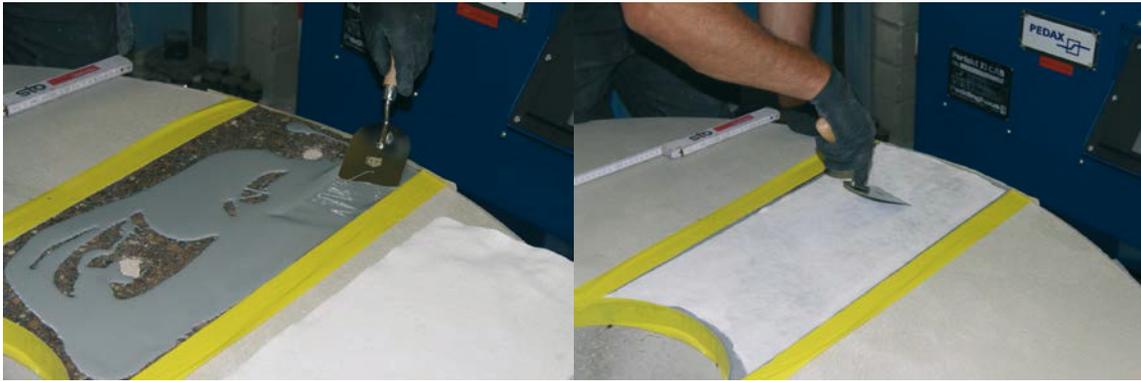


Abbildung 3.12: Applikation des Flieses für die Rissbandage

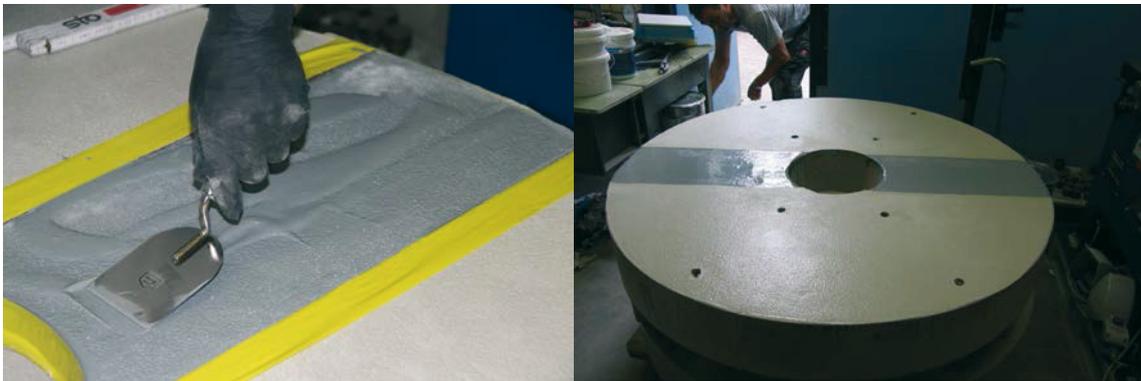


Abbildung 3.13: Applikation der Rissbandage



Abbildung 3.14: Abstreuerung der Rissbandage(links) und Auftragung der Deckversiegelung (rechts)

3.2.5 Beschichten der Probekörper

Die Probekörper wurden in den Laboren der TU Kaiserslautern beschichtet. Die Beschichtung eines Probekörpers dauerte aufgrund der Aushärtezeiten ca. eine Woche. In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 3.15 bis Abbildung 3.17) sind die einzelnen Applikationsschritte eines Grundkörpers dargestellt. Die Applikation erfolgte über die Herstellerfirmen fachgerecht vor Ort. Bei dem nachfolgend dargestellten Probekörper handelt es sich um ein OS 11a-System. In Abbildung 3.15 ist links der sandgestrahlte Betongrundkörper vor dem Beschichten mit den induzierten Rissen zu sehen und rechts derselbe Probekörper nach der Applikation der ersten Grundierung. In Abbildung 3.16 (links) ist die zweite Grundierung dargestellt und rechts wurde bereits die Schwimmschicht appliziert. Auf die Schwimmschicht folgte die Verschleißschicht bevor die Deckversiegelung aufgebracht werden konnte (siehe Abbildung 3.17).



Abbildung 3.15 Betongrundkörper vor dem Beschichten (links) und nach dem Grundieren (rechts)



Abbildung 3.16 Abgestreute Grundierung (links) und Schwimmschicht (rechts)



Abbildung 3.17 Abgestreute Verschleißschicht (links) und aufgebrachte Deckversiegelung (rechts)

3.2.6 Durchführung der Verschleißversuche

Die Versuche wurden zunächst mit handelsüblichen PKW-Reifen durchgeführt (siehe Abbildung 3.18). Zu einem späteren Zeitpunkt sollen die Probekörper ggf. noch zusätzlich mit einem Vulkollan- oder Polyamidrad (Flurförderzeuge) geprüft werden. Am Lastarm wurde eine Auflast

so aufgebracht, dass das Rad mit ca. 4,5 kN belastet wird, was in etwa der Last eines Reifens an einem PKW entspricht. Der Fahrspurradius beträgt 0,5 m. Nach 1.000 Zyklen wird der Verschleiß mit einem Laser sowie anhand von Fotos dokumentiert. Die Auswertung der Laseraufnahmen erfolgte per MATLAB. Für die Auswertung wurden zur Orientierung auf den Probekörpern Messpunkte benötigt, damit die einzelnen Messungen überlagert werden können. Diese sind in Abbildung 3.19 dargestellt. Deutlich erkennbar sind diese auch in der Laseraufnahme in Abbildung 3.20 (Messspitzen).

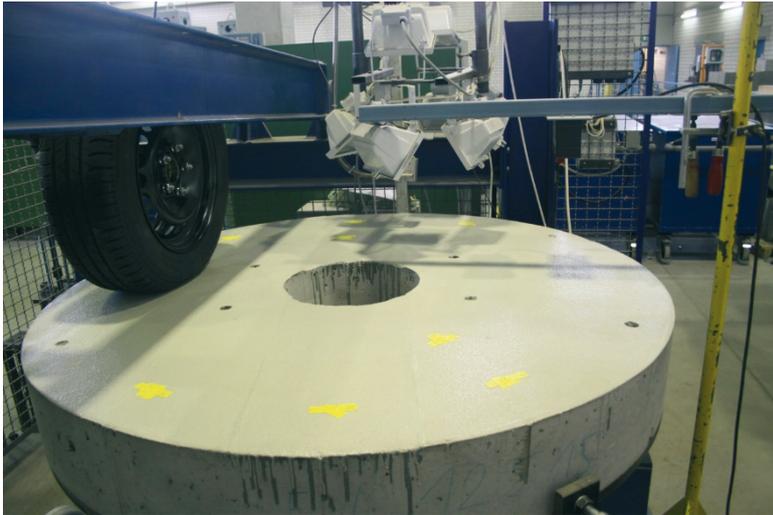


Abbildung 3.18 DAT mit PKW-Reifen

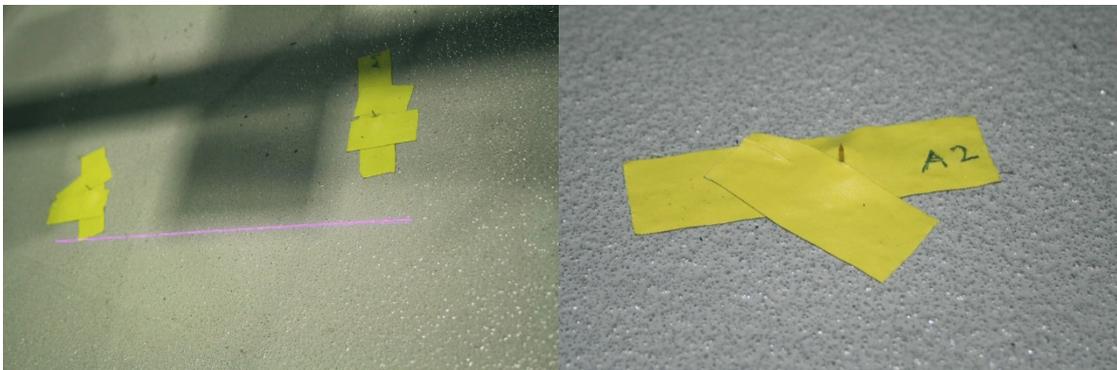


Abbildung 3.19 Messpunkte für Laser auf Probekörper

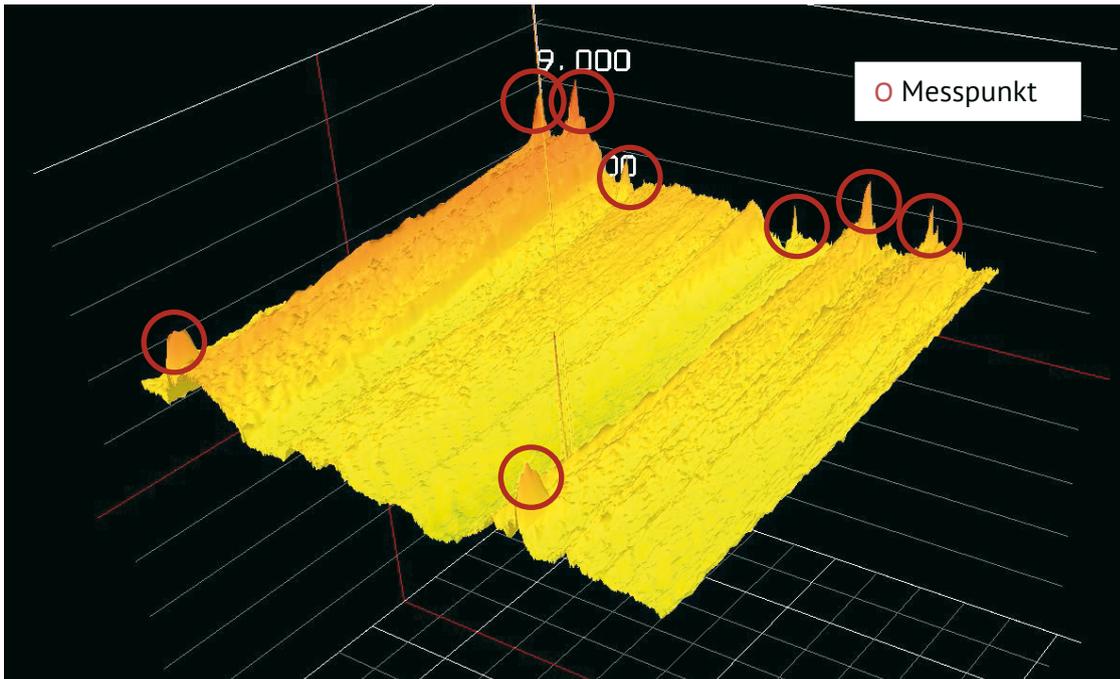


Abbildung 3.20 3-D-Bild einer Lasersaufnahme zu Versuchsbeginn (0 Zyklen) mit Messpunkten

3.2.7 Ergebnisse der Verschleißversuche

Es wurden Rissbandagen, rissüberbrückende Systeme sowie der Verschleiß an Deckversiegelungen untersucht. Die beiden Rissbandagen auf einem Probekörper wurden getrennt voneinander mit dem Laser aufgenommen (Abbildung 3.21). Die gelbe Linie stellt dabei die Messlinie dar, die für die Auswertung herangezogen wurde.

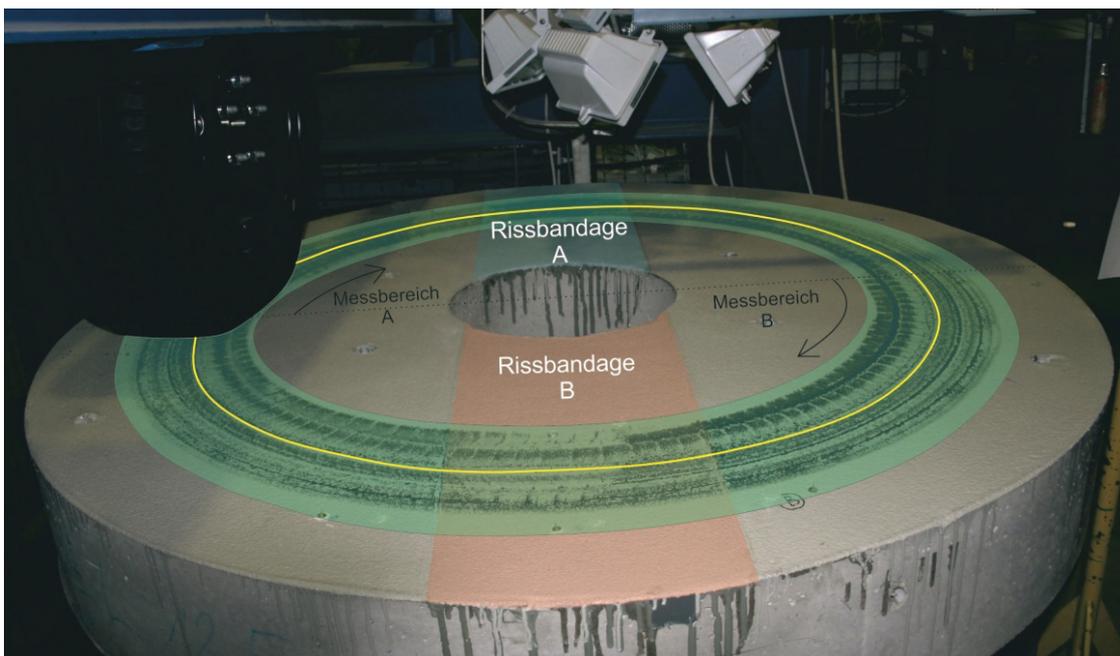


Abbildung 3.21: Darstellung der Messbereiche

3.2.7.1 Probekörper I

In den nachfolgenden Abbildungen ist die Auswertung des Probekörpers I mit Rissbandage der Messbereiche A und B dargestellt (Abbildung 3.22 und Abbildung 3.23). Auf der x-Achse sind in einem gleichmäßigen Abstand 400 Messpunkte (in diesem Fall) auf 0,75 m entlang der Messspur der Laufspur des Rades (Halbkreis) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass es weder bei Rissbandage A noch bei Rissbandage B zu einem Verschleiß kommt. Auch an den Übergängen vom OS 8-System zur Rissbandage konnte kein Verschleiß dokumentiert werden.

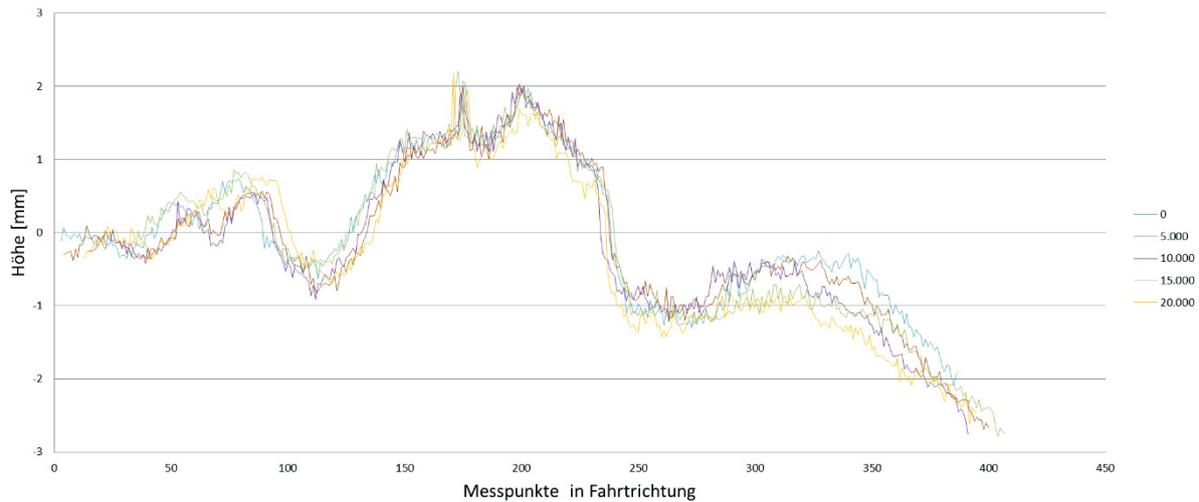


Abbildung 3.22 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage A

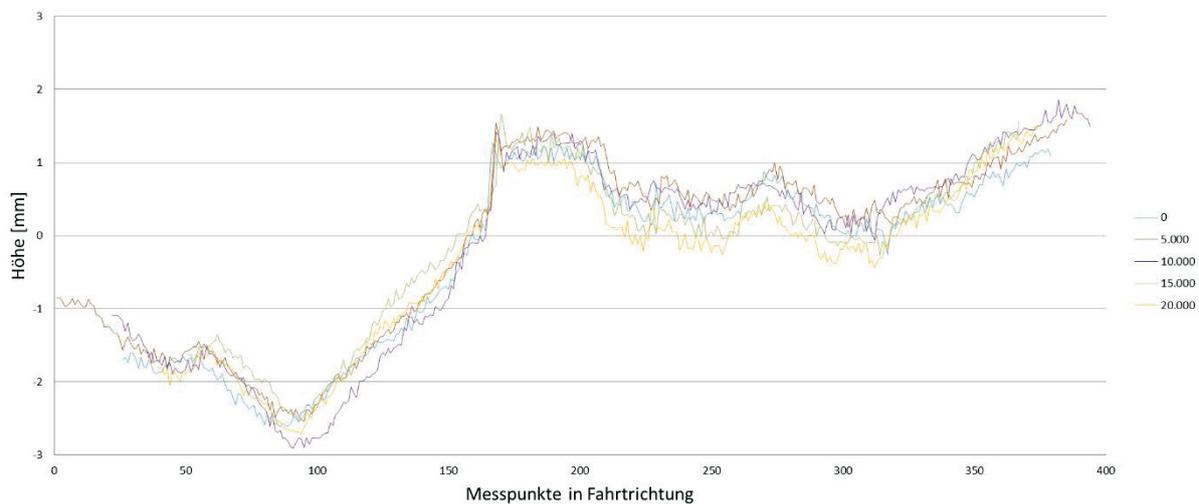


Abbildung 3.23 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage B

Auch längs der Rissbandage konnte im überfahrenen Bereich kein Verschleiß dokumentiert werden, wie aus der Abbildung 3.24 und Abbildung 3.25 hervorgeht.

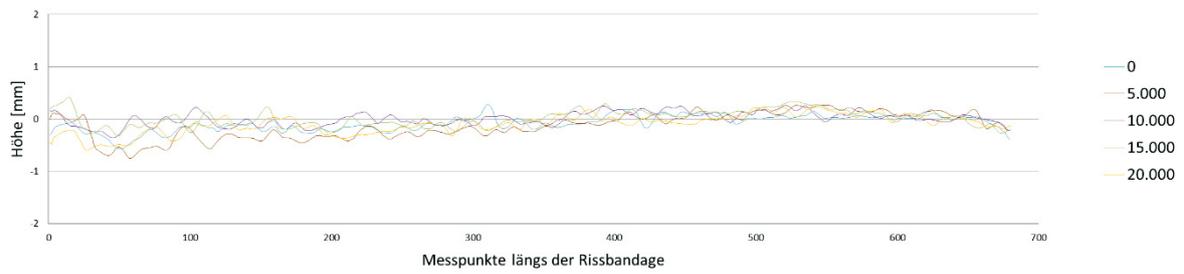


Abbildung 3.24 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage A längs

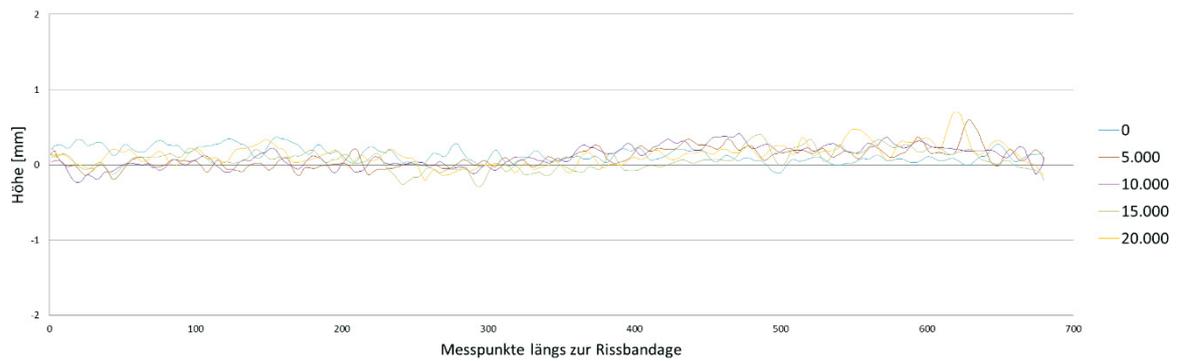
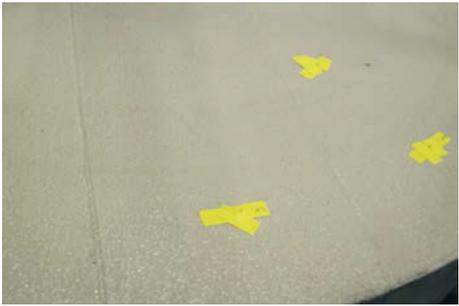
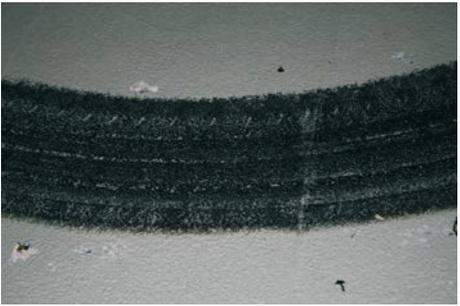
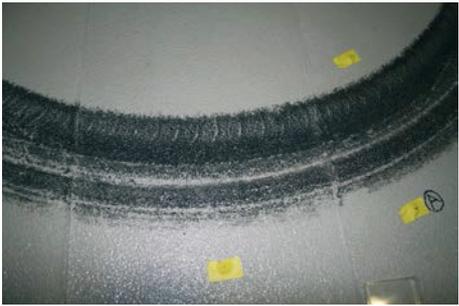
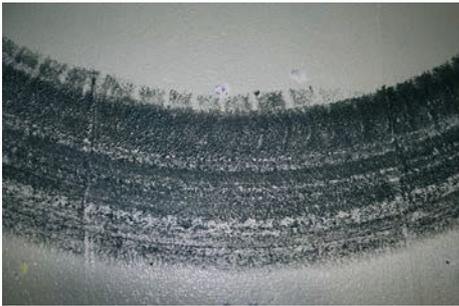
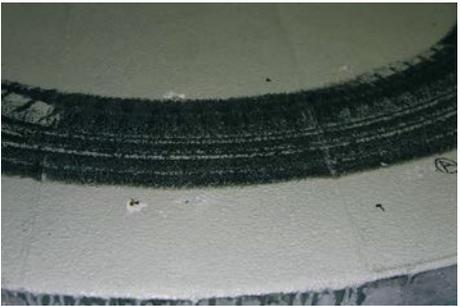
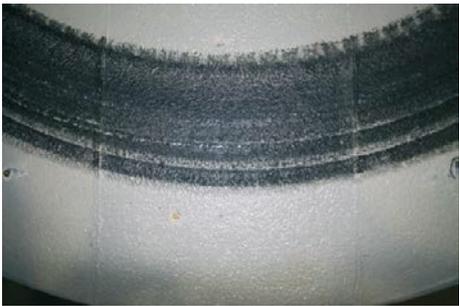


Abbildung 3.25 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage B längs

Die zugehörige Foto-Dokumentation kann Tabelle 3.4 entnommen werden. Auffällig ist der hohe Reifen-Abrieb, der an der Oberfläche des Beschichtungssystem haftet.

Tabelle 3.4: Foto-Dokumentation Probekörper I

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		17.500
	8.000		20.000

3.2.7.2 Probekörper II

Probekörper II weist ein OS 11a-System auf, welches mit einer Rissbandage appliziert wurde. Diese wurde nicht bündig mit dem restlichen Beschichtungssystem appliziert (siehe Abbildung 3.26 und Abbildung 3.27).

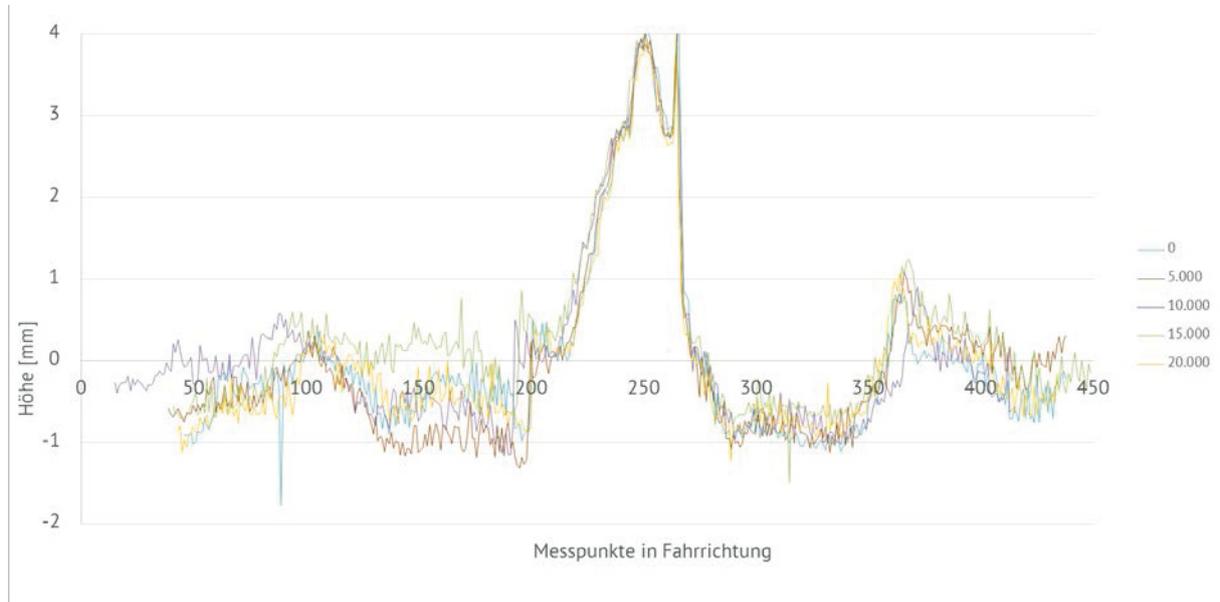


Abbildung 3.26 Verschleißauswertung Probekörper II Rissbandage A

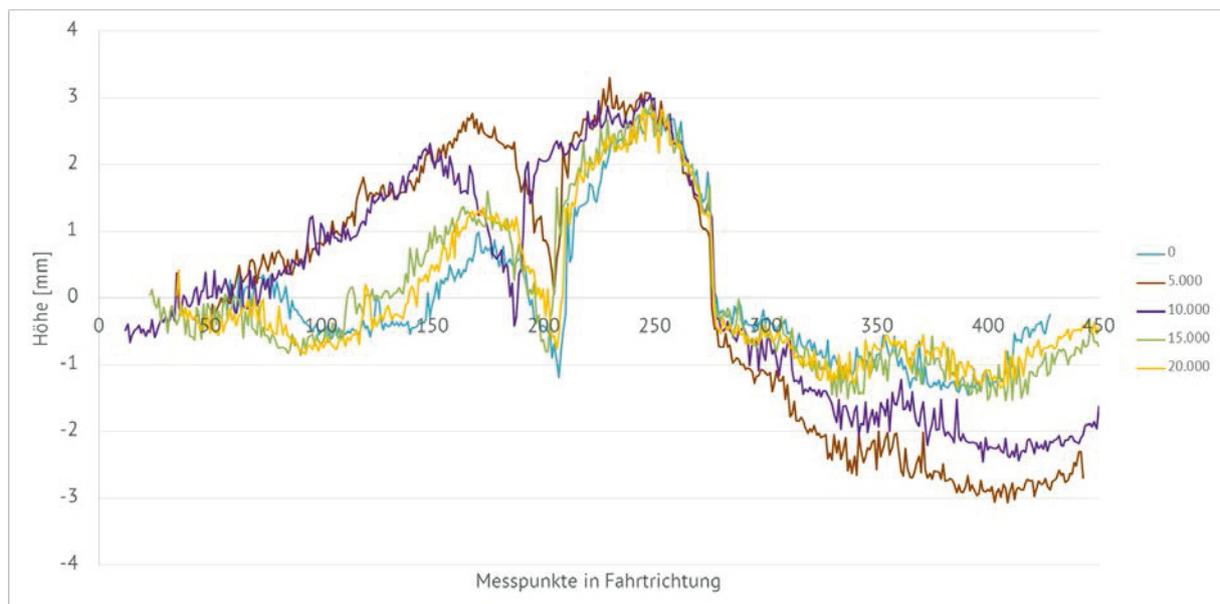
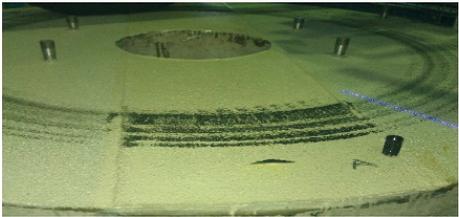
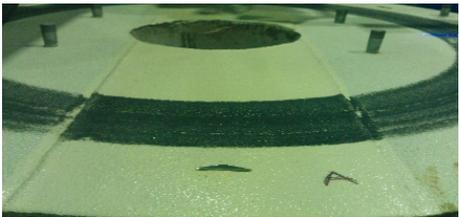


Abbildung 3.27 Verschleißauswertung Probekörper II Rissbandage B

An den An- und Abfahrkanten der Rissbandagen ist der Verschleiß aufgrund der Höhendifferenz entstanden. Dies ist auch in der anschließenden Foto-Dokumentation ersichtlich (Tabelle 3.5).

Tabelle 3.5 Foto-Dokumentation Probekörper II

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		17.500
	8.000		20.000

3.2.7.3 Probekörper III

Bei Probekörper III handelt es sich um ein rissüberbrückendes OS 11b-System. Nach ca. 6.000 Überfahrten hat sich ein Loch in der Lauffläche des Rades an der Deckversiegelung und Verschleißschicht des OS-Systems gebildet, das sich über die weiteren Zyklen weitete. An der Stelle des gebildeten Lochs war im Vorfeld eine leichte Aufwölbung durch einen dickeren Auftrag von Quarzsand vorhanden. Weiterhin kam es zu Kornausbrüchen an anderen Stellen. Die graphische Verschleißauswertung ist in Abbildung 3.28 und Abbildung 3.29 dargestellt. Das entstandene Loch ist im Messbereich B wie auch in Abbildung 3.30 deutlich erkennbar.

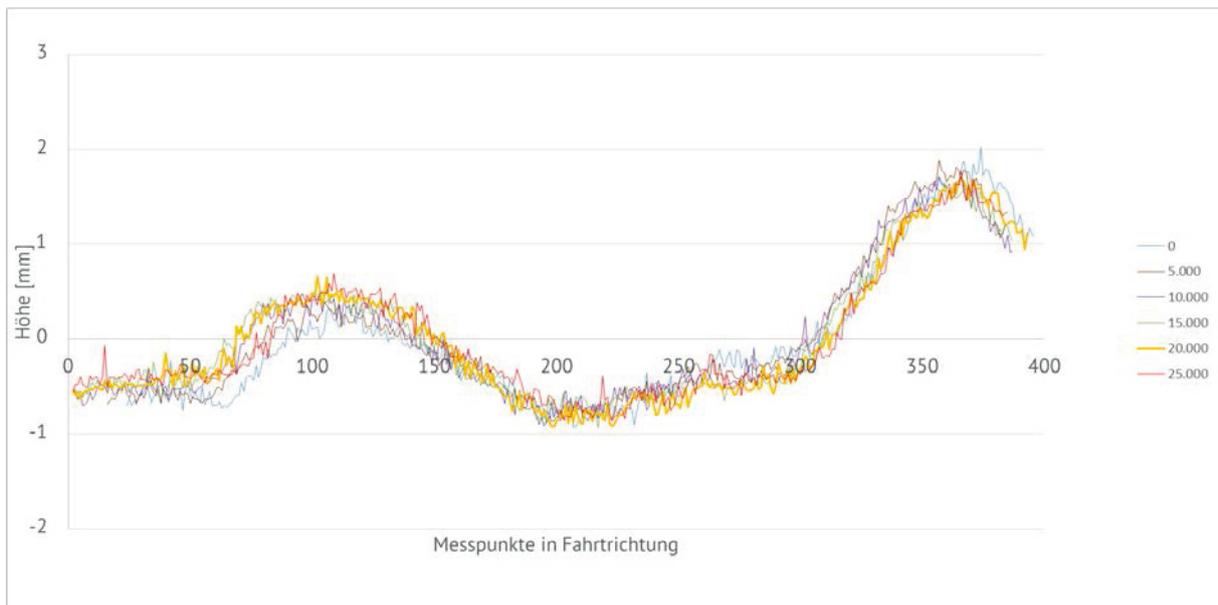


Abbildung 3.28 Verschleißauswertung Probekörper III Messbereich A

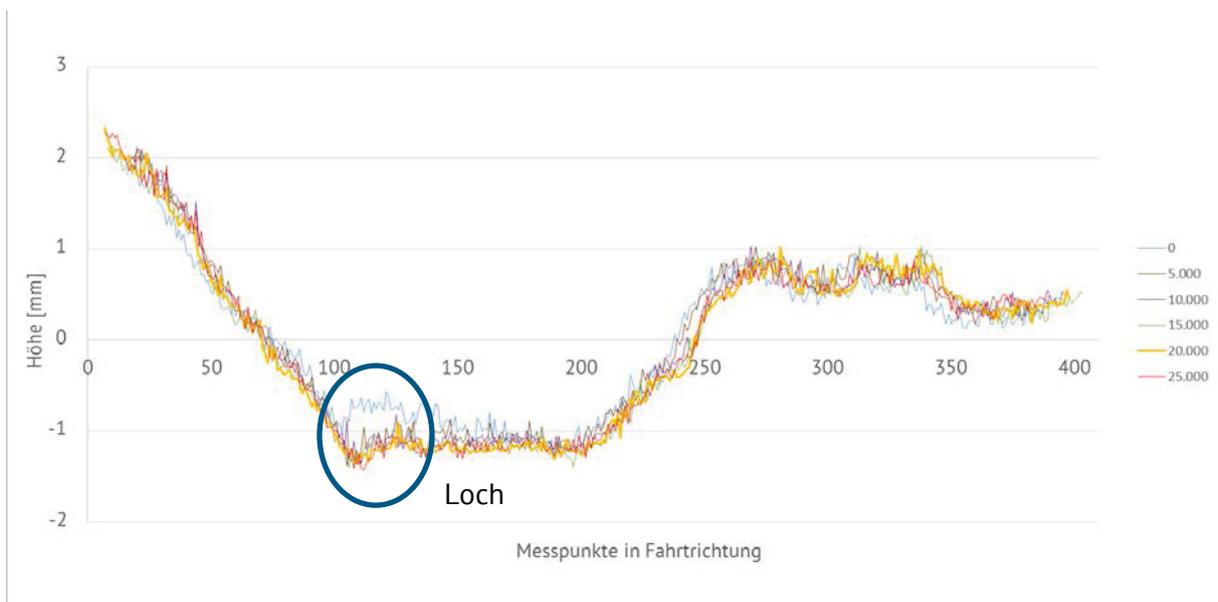


Abbildung 3.29 Verschleißauswertung Probekörper III Messbereich B

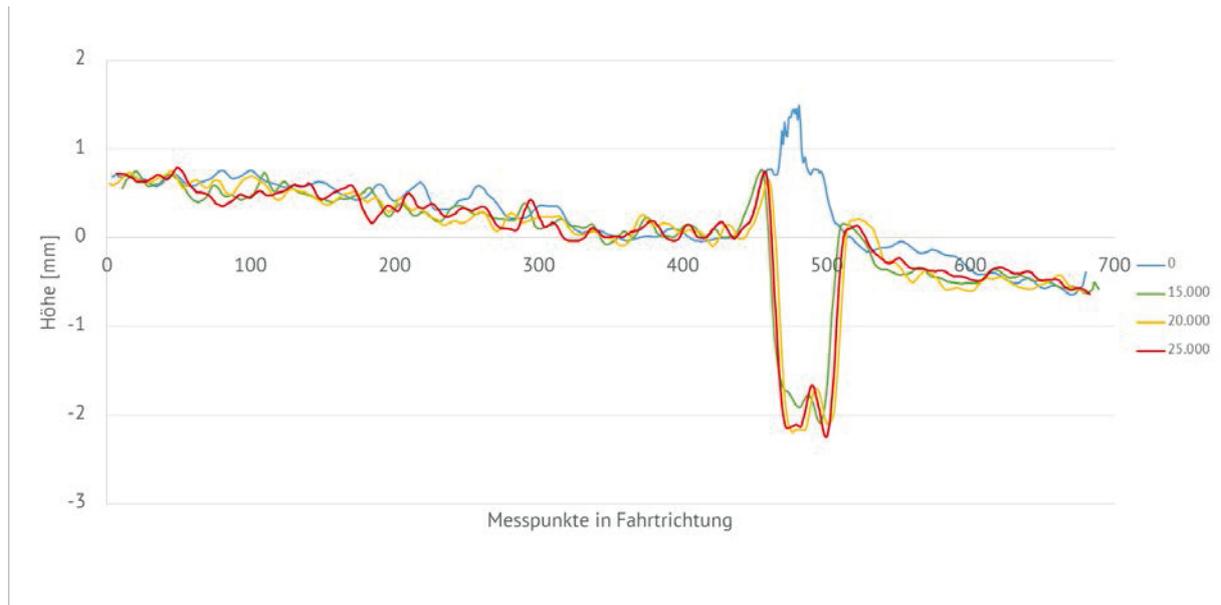
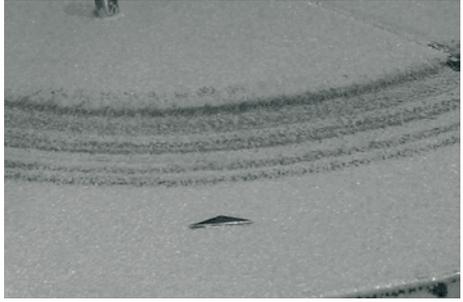
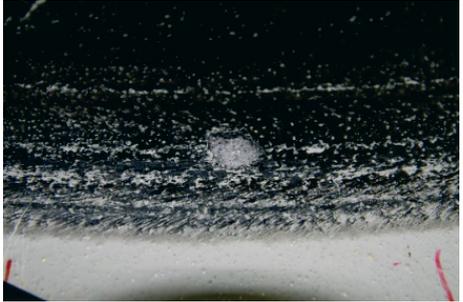
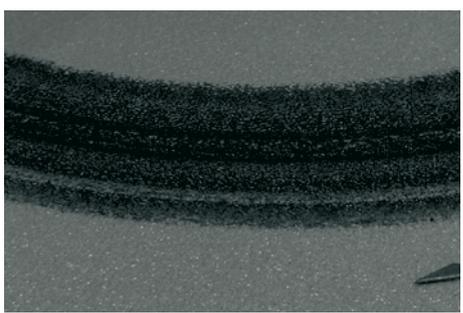


Abbildung 3.30 Dokumentation Loch Probekörper III

Ebenfalls wird das entstandene Loch deutlich in der Foto-Dokumentation (Tabelle 3.6).

Tabelle 3.6 Foto-Dokumentation Probekörper III

	<p>0</p>		<p>10.000</p>
	<p>1.000</p>		<p>15.000</p>
	<p>2.000</p>		<p>17.500</p>
	<p>6.000</p>		<p>20.000</p>
	<p>8.000</p>		<p>25.000</p>

3.2.7.4 Probekörper IV

Probekörper IV wurde mit einem OS 8- und einem OS 11b-System beschichtet. Jedes System wurde zur Hälfte mit bzw. ohne Deckversiegelung appliziert. Die Höhendifferenz der einzelnen Schichten war marginal und konnte vernachlässigt werden.

In Abbildung 3.31 ist die Verschleißauswertung des OS 8-Systems ohne Deckversiegelung dargestellt. Über die 25.000 Zyklen konnte nur ein geringer Verschleiß bis maximal 0,2 mm festgestellt werden.

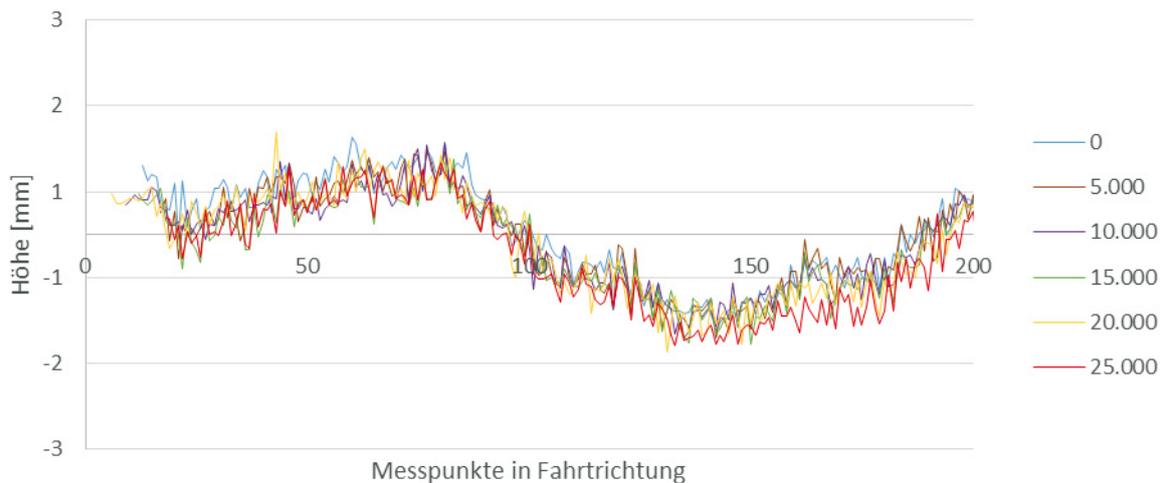


Abbildung 3.31 Verschleißauswertung OS 8 ohne Deckversiegelung

Bei dem korrespondieren Viertel mit Deckversiegelung (Abbildung 3.32) wurde ein größerer Verschleiß bestimmt. Die Deckversiegelung wurde zum Teil abgefahren, sodass ein Verschleiß von bis zu 0,5 mm dokumentiert wurde.

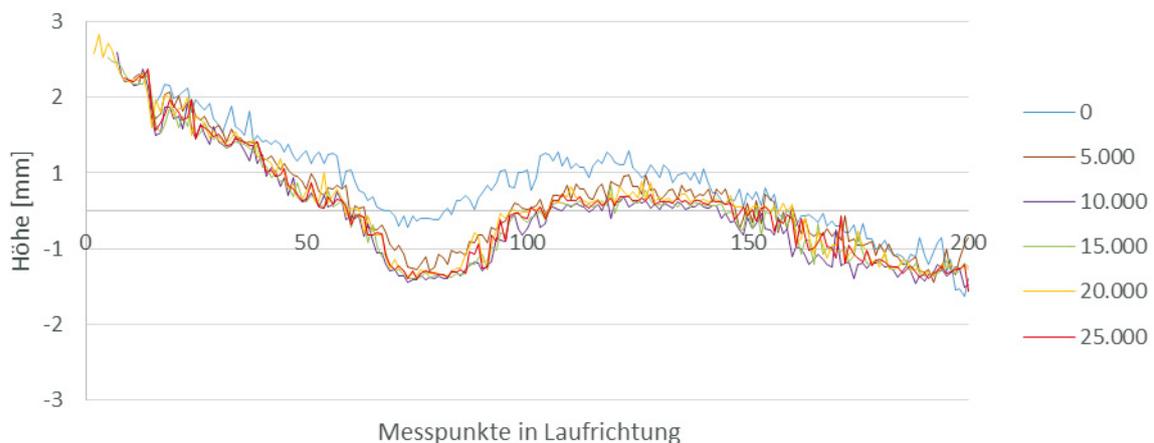


Abbildung 3.32 Verschleißauswertung OS 8 mit Deckversiegelung

Das OS 11b-System war ein sehr verschleißbares System, weder ohne noch mit Deckversiegelung konnte ein nennenswerter Abrieb der Beschichtung festgestellt werden (siehe auch Abbildung 3.33 und Abbildung 3.34)

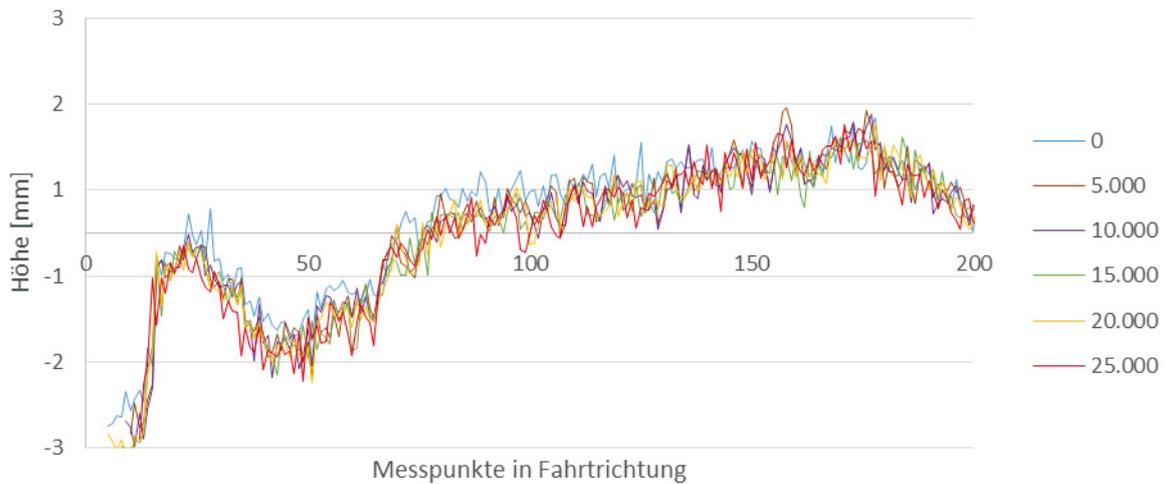


Abbildung 3.33 Verschleißauswertung OS 11b ohne Deckversiegelung

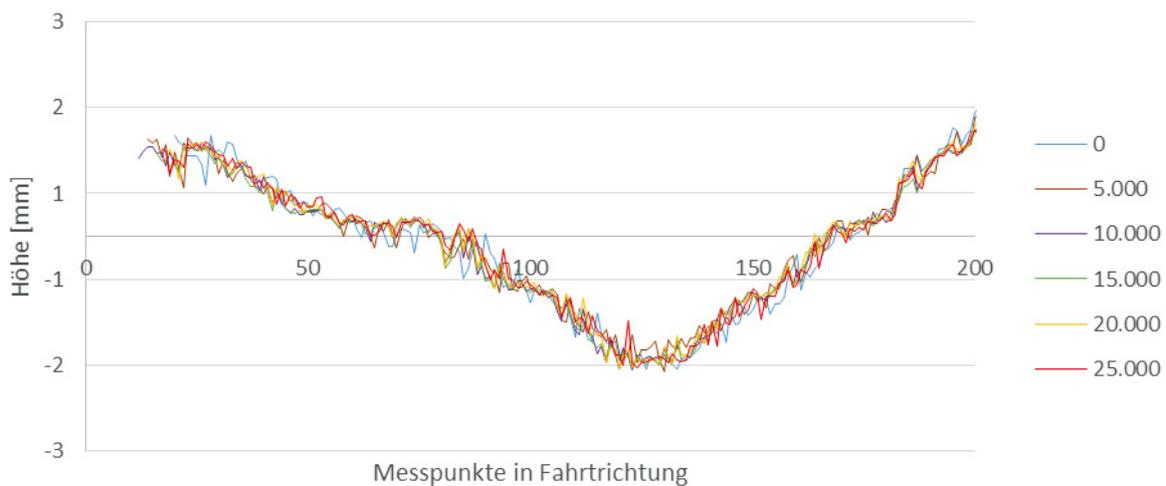


Abbildung 3.34 Verschleißauswertung OS 11b mit Deckversiegelung

Die zugehörige Foto-Dokumentation kann den nachfolgenden Tabellen entnommen werden (Tabelle 3.7 bis Tabelle 3.10).

Tabelle 3.7 Foto-Dokumentation Probekörper IV (OS 8) ohne Deckversiegelung

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

Tabelle 3.8 Foto-Dokumentation Probekörper IV (OS 8) mit Deckversiegelung

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

Tabelle 3.9 Foto-Dokumentation Probekörper IV OS 11b mit Deckversiegelung

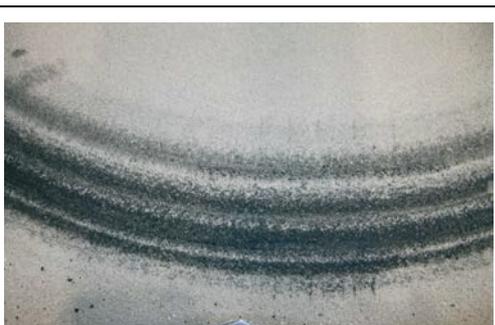
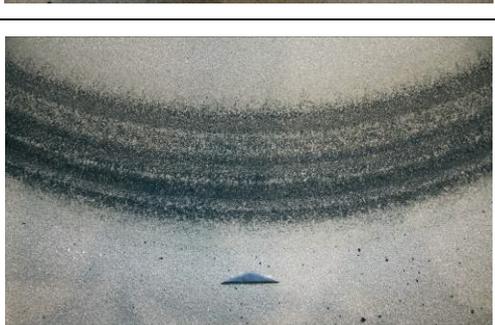
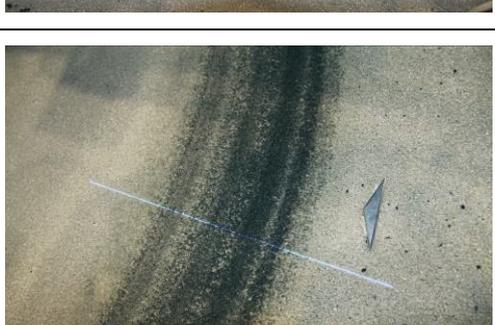
	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

Tabelle 3.10 Foto-Dokumentation Probekörper IV OS 11b mit Deckversiegelung

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

3.2.7.5 Probekörper V

Probekörper V wurde analog wie Probekörper IV mit zwei verschiedenen Systemen beschichtet. In diesem Fall wurden zwei OS 11a-Systeme verwendet. Jeweils viertelkreisweise erfolgte die Beschichtung mit und ohne Deckversiegelung.

Abbildung 3.35 zeigt die Verschleißauswertung des OS 11.a1-Systems ohne Deckversiegelung. Deutlich zu erkennen ist die raue Oberfläche der Quarzkörner, die zunächst abgefahren wird. Anschließend ist die Oberfläche „nivelliert“ und es kam zu keinem weiteren Verschleiß.

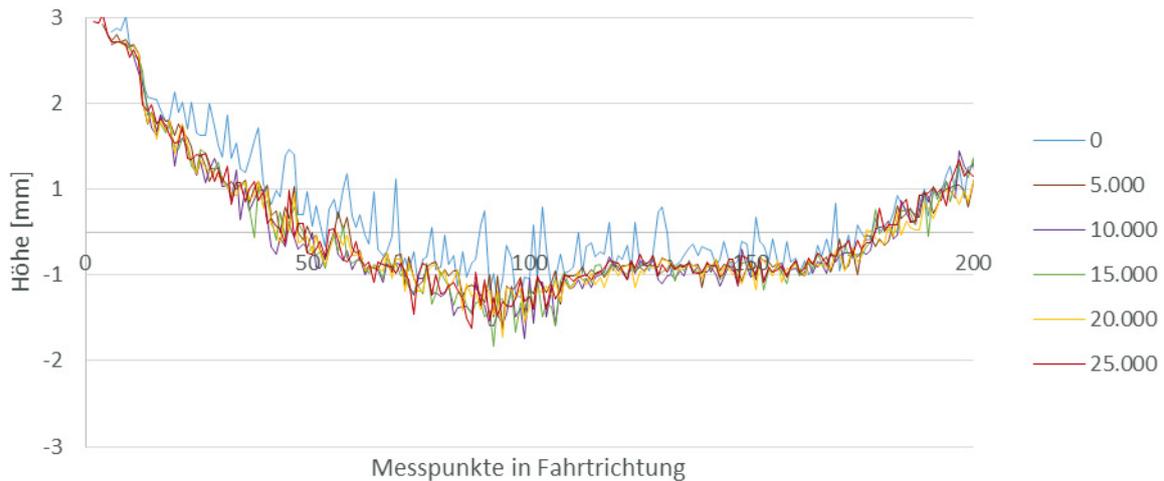


Abbildung 3.35 Verschleißauswertung OS 11.a1 ohne Deckversiegelung

Ähnlich zu dem OS 8-System des Probekörpers IV verschliss die Deckversiegelung hier stärker (Abbildung 3.36). Nach dem Abrieb der Deckversiegelung fand kein weiterer (bis zu 0,5 mm), nennenswerter Verschleiß statt.

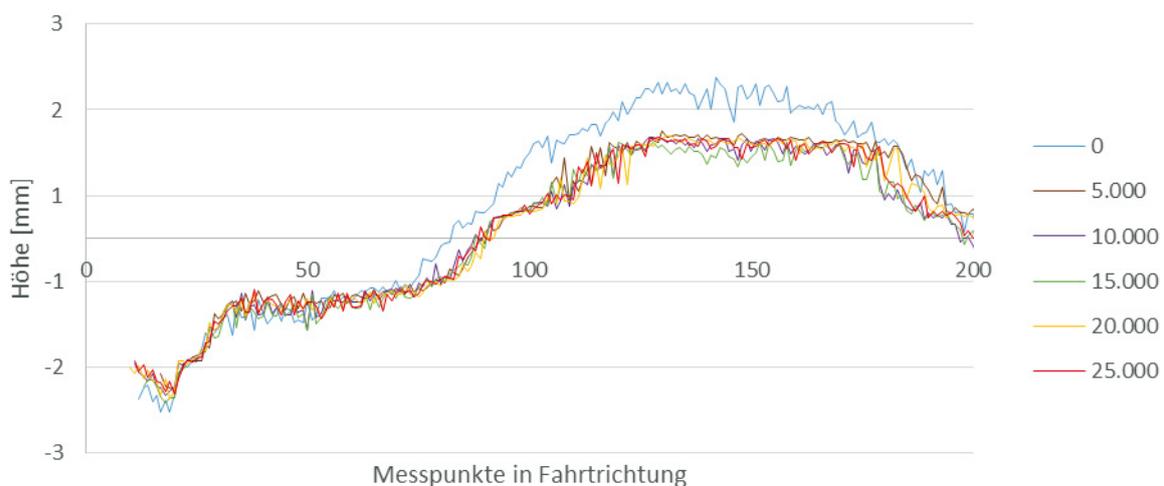


Abbildung 3.36 Verschleißauswertung OS 11.a1 mit Deckversiegelung

Ohne wie mit Deckversiegelung wurde bei dem OS 11.a2-System kein nennenswerter Verschleiß dokumentiert. Die Deckversiegelung haftet hier deutlich besser (vgl. Abbildung 3.37 und Abbildung 3.38)

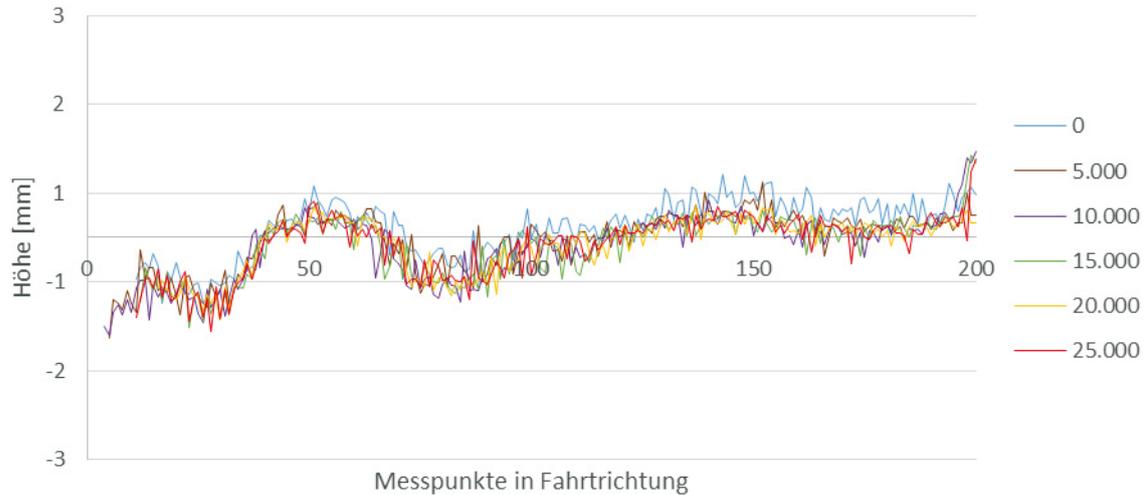


Abbildung 3.37 Verschleißauswertung OS 11.a2 ohne Deckversiegelung

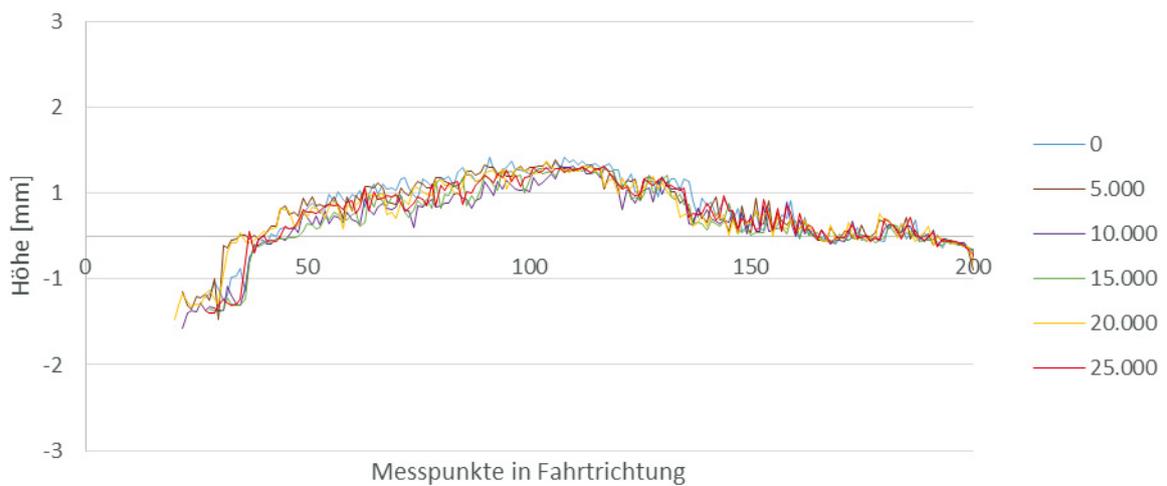


Abbildung 3.38 Verschleißauswertung OS 11.a2 mit Deckversiegelung

Die zugehörige Foto-Dokumentation kann den nachfolgenden Tabellen entnommen werden (Tabelle 3.11 und Tabelle 3.14)

Tabelle 3.11 Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a1 ohne Deckversiegelung

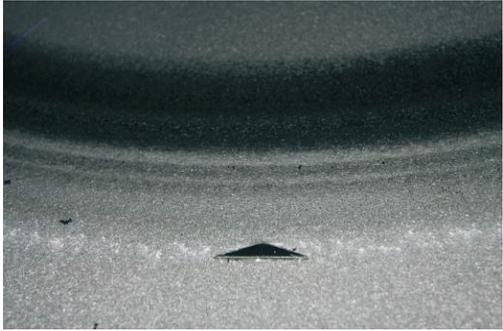
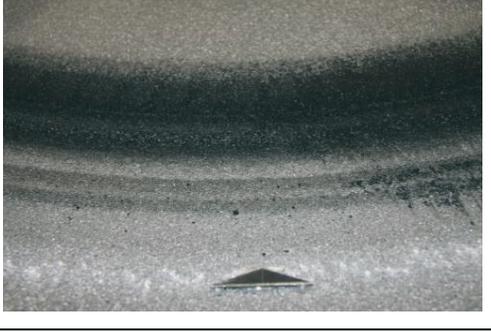
	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

Tabelle 3.12 Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a1 mit Deckversiegelung

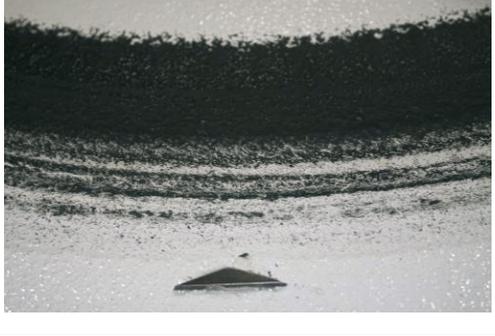
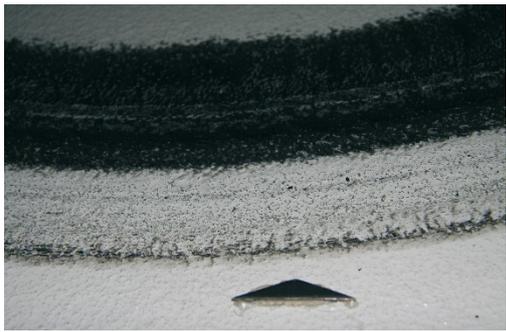
	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

Tabelle 3.13: Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a2 ohne Deckversiegelung

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

Tabelle 3.14: Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a2 mit Deckversiegelung

	0		10.000
	1.000		12.500
	2.000		15.000
	5.000		20.000
	8.000		25.000

3.2.7.6 Probekörper VI

Auf den Grundkörper VI wurde ein weiteres OS 11b-System appliziert, das mit einer Rissbandage beschichtet wurde. Innerhalb des Beschichtungssystems konnte auf Probekörper VI kein Verschleiß dokumentiert werden (Abbildung 3.39 und +

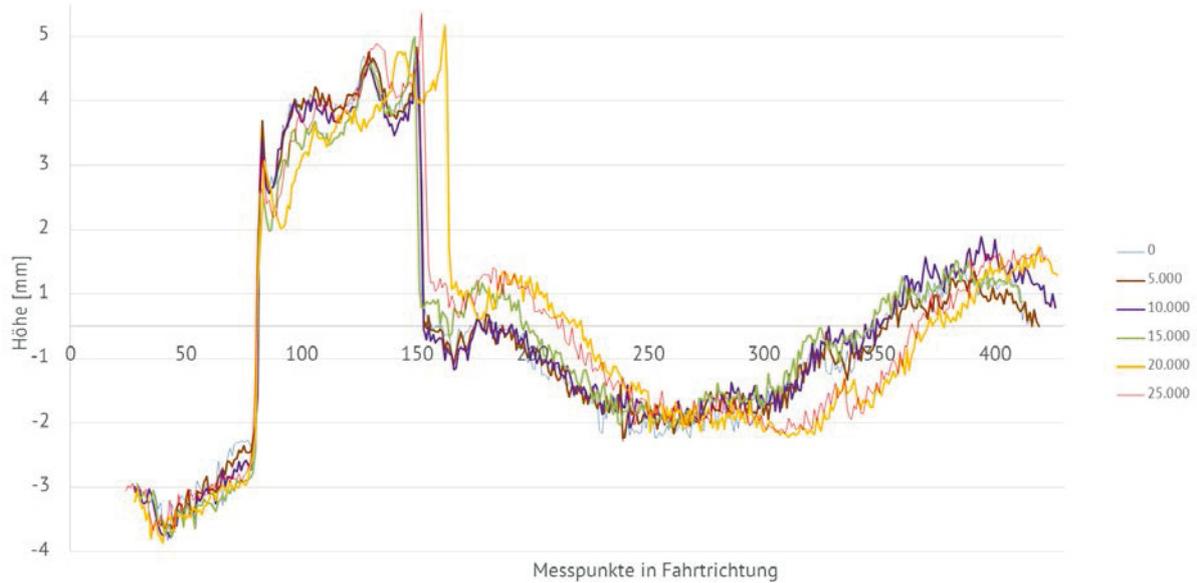


Abbildung 3.40). Auffällig war aufgrund der erhöht applizierten Rissbandage (herstellerseitig), dass die Deckversiegelung an der An- bzw. Abfahrkannte abgefahren wurde. Die zugehörige Foto-Dokumentation kann Tabelle 3.15 entnommen werden.

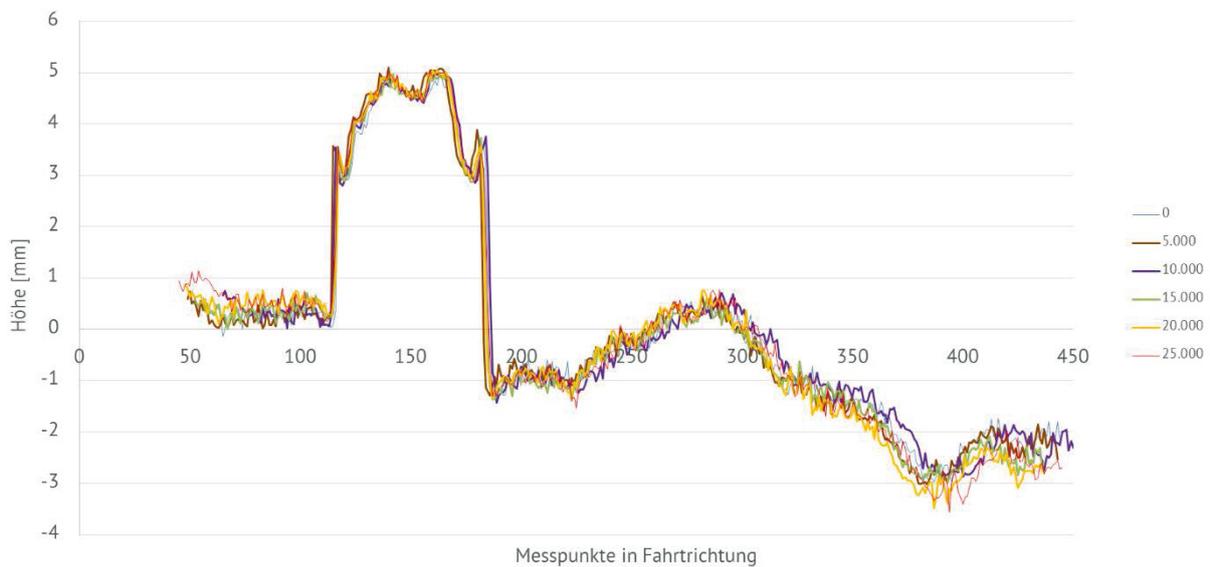


Abbildung 3.39 Verschleißauswertung Probekörper VI Rissbandage A

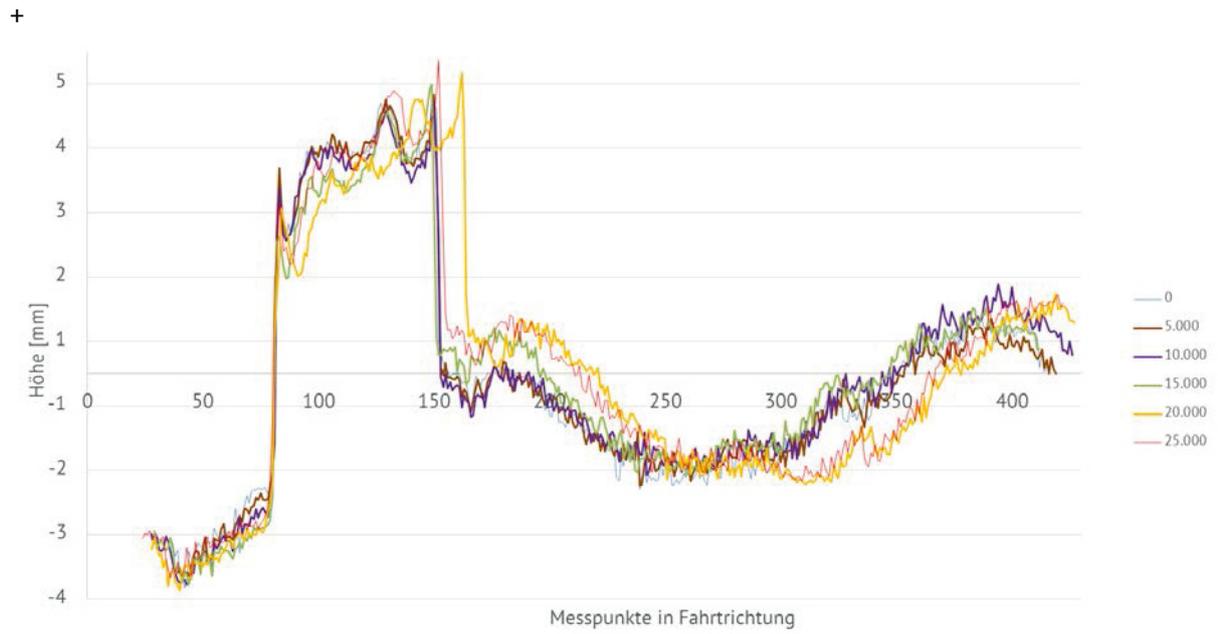
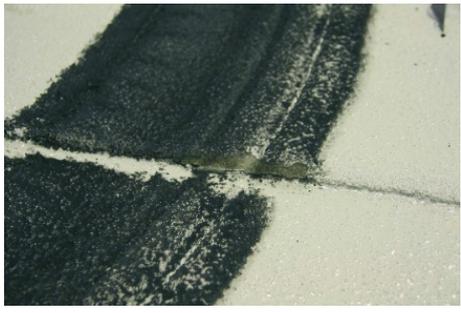
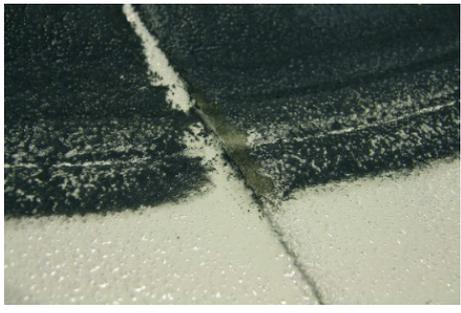


Abbildung 3.40 Verschleißauswertung Probekörper VI Rissbandage B

Tabelle 3.15 Foto-Dokumentation Probekörper VI

	0		12.500
	1.000		15.000
	2.000		17.500
	5.000		20.000
	10.000		25.000

3.2.7.7 Probekörper VII

Bei Probekörper VII handelt es sich um ein OS 11b-System. Erste Verschleißschäden traten nach 15.000 Zyklen auf. Kleine Korngruppen sind dabei ausgebrochen. Die zugehörige Verschleißauswertung kann Abbildung 3.41 und Abbildung 3.42 entnommen werden.

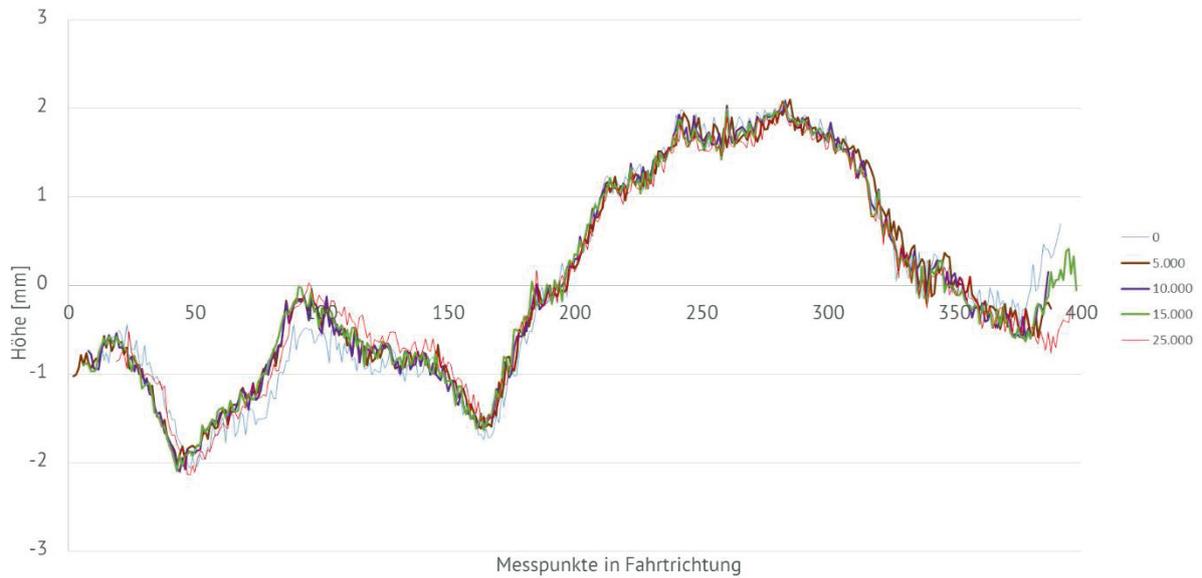


Abbildung 3.41 Verschleißauswertung Probekörper VII Messbereich A

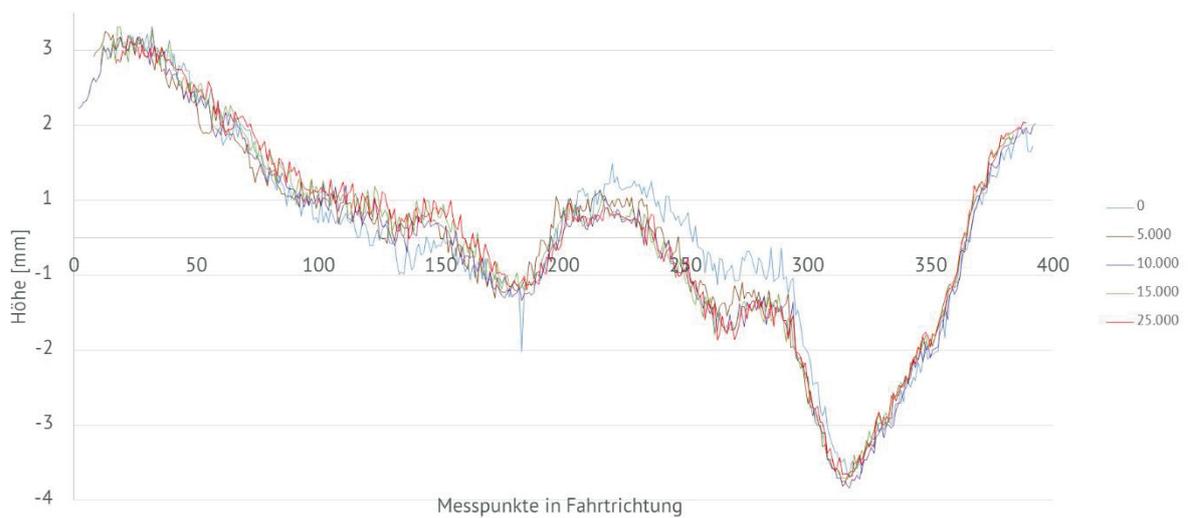


Abbildung 3.42 Verschleißauswertung Probekörper VII Messbereich B

In der Foto-Dokumentation ist Probekörper VII dargestellt (Tabelle 3.16).

Tabelle 3.16 Foto-Dokumentation Probekörper VII

	0		8.000
	1.000		15.000
	2.000		17.500
	6.000		25.000

Der zugehörige Kornausfall ist in Tabelle 3.17 dargestellt.

Tabelle 3.17 Schadensbild Kornausfall

	15.000		25.000
---	--------	--	--------

3.2.7.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

In den Verschleißversuchen hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse zwischen den einzelnen Oberflächenschutzsystemen unterschiedlich ausfallen. Es wurden sowohl Rissbandagen, wie rissüberbrückende Systeme als auch Deckversiegelungen geprüft.

Erhöhte, nicht flächenbündig, applizierte Beschichtungen sind an den Ab- und Anfahrkanten deutlich verschleißanfällig. Bündig applizierte Beschichtungen erweisen sich in den Untersuchungen als dauerhaft und problemlos.

Rissüberbrückend waren alle Beschichtungen, da keine neuen Risse auftraten oder sich bis auf die Oberfläche übertrugen. Auffällig war, dass es bei einem OS-System zu Kornausbrüchen und somit zu Löchern im Beschichtungssystem kam.

Die Deckversiegelungen waren zum Teil verschleißanfällig, hier ist jedoch keine generelle Aussage möglich.

Verglichen mit den normativen Prüfverfahren [10] ist dies eine andere Herangehensweise die Materialien bzgl. der Rissüberbrückungsfähigkeit zu testen. Während normativ die einzelnen Grundmaterialien getestet werden, wird hier ein Gesamtsystem mit einer entsprechenden Auflast und einer realen Belastungsart geprüft. Es wird deutlich, dass die Systeme alle eine Rissüberbrückungsfähigkeit aufwiesen, jedoch z. T. an den Rissbandagen ein deutlicher Verschleiß entstand.

3.2.8 Bestimmung von Materialparametern

3.2.8.1 Überblick

An den Einzelkomponenten von Oberflächenschutzsystem wurden die Materialparameter bestimmt. Diese sind vor allem für die Bestimmung und Auswertung des Verschleißverhaltens von Oberflächenschutzsystemen von Bedeutung. An Zugproben des Typs 1B (Abbildung 3.43) nach DIN EN ISO 527-2 [19] wurden sowohl die Zugmodule (E-Module) wie auch die Zugfestigkeit, Bruchspannung, Dehnung bei Zugfestigkeit und die Bruchdehnung bestimmt. Lagerungsbedingungen wie auch Prüfgeschwindigkeiten wurden dabei variiert.

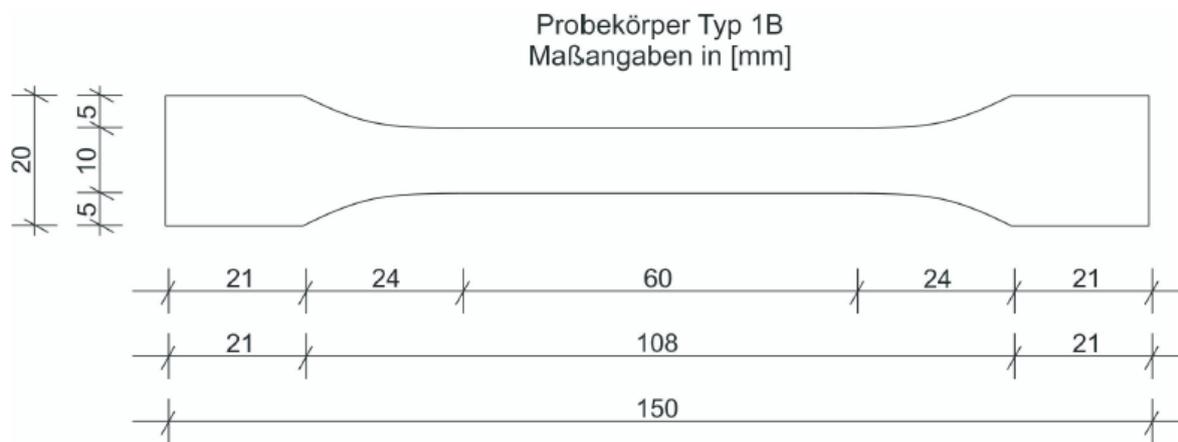


Abbildung 3.43 Zugprobe nach DIN EN ISO 527-2 [19]

In Summe wurden sieben verschiedene Einzelkomponenten geprüft. In Variation mit der Abstreifung und Nachverfüllung ergaben sich zwölf verschiedene Kombinationen. Tabelle 3.18 enthält eine Übersicht der Probekörper.

Tabelle 3.18 Übersicht Probekörper

Nr.	Material	Anwendungsbereich	Bemerkung	Dicke [mm]
A	EP	Grundierung	Abgestreut	9,40
B			-	3,80
C	EP	Grundierung	-	3,50
D			Abgestreut	6,50
E	PUR	Schwimmschicht	-	3,80
F			Abgestreut + verfüllt	7,20
G	PUR	Versiegelung	-	3,05
H	PUR	Verschleißschicht	-	4,20
K			Abgestreut + verfüllt	7,40
L			Abgestreut	7,80
M	EP	Versiegelung	-	3,60
N	PUR	Schwimmschicht	-	4,15

3.2.8.2 Probenvorbereitung

Die Zugproben wurden bei verschiedenen Klimata gelagert. Dabei wurde unterschieden zwischen Normalklima (23 °C, 60 % Luftfeuchte), wassergesättigt (100 %) und eine Lagerung bei 100 °C, sodass ggf. eine Nachvernetzung der Kunststoffe stattfinden sollte und die Materialeigenschaften bei unterschiedlichen äußeren Bedingungen untersucht wurden.

Weiterhin wurde die Prüfgeschwindigkeit bei den Proben variiert. Die Prüfung erfolgte mit den Geschwindigkeiten 0,1 mm/min, 1 mm/min und 10 mm/min.

Die Versuchsdokumentation erfolgte mittels eines optischen Extensometers. Hierdurch konnten exakte Dehnungswerte bestimmt werden. Die Proben wurden mit einem blauen Spray grundiert, sodass an der Oberfläche keine Spiegelung stattfinden konnte. Zur Ermittlung der Dehnungsänderung wurden die Proben im Vorfeld zusätzlich mit einem Graphitspray markiert. Dies hat den Vorteil, dass das Graphit bei der Längenänderung nicht beeinflusst wird, d. h. die festgelegten Messpunkte ändern ihre Größe aufgrund der Längendehnung der Probe nicht.

3.2.8.3 Durchführung der Zugversuche

Bei jeder Probe wurden drei Punktepaare festgelegt, sodass schon während der Prüfung ein Kraft-Verlängerungsdiagramm dargestellt werden kann (siehe Abbildung 3.44). Die Punktepaare haben vor Versuchsbeginn Abstände von 20 mm, 40 mm und 60 mm. Die Prüfung der Zugproben erfolgte grundsätzlich bis zum Versagen einer Probe. Bei hochelastischen Proben war dies nicht immer möglich, das Zugmodul konnte trotzdem bestimmt werden, da dieses in einem kleineren Dehnungsbereich ermittelt wurde.

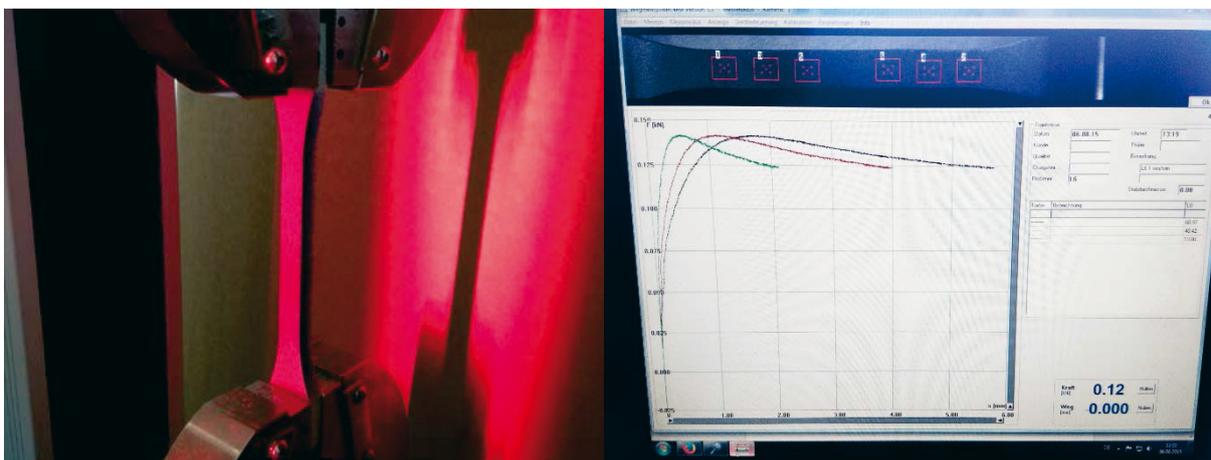


Abbildung 3.44 Eingespannte Zugprobe (links) und Kraft-Verlängerungsdiagramm (rechts)

3.2.8.4 Ergebnisse der Zugproben

An den Zugproben wurden die Materialkennwerte Zugmodul, Zugfestigkeit, Bruchfestigkeit, Dehnung der Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit der Variablen (Prüfgeschwindigkeit, Lagerungsbedingung) bestimmt. Weiterhin wurde der Einfluss des Quarzsandes auf die Materialeigenschaften bewertet.

In DIN EN ISO 527-1 [20] sind vier typische Spannungs-Dehnungskurven von elastischen Werkstoffen (Abbildung 3.45) dargestellt. Werkstoff a ist ein spröder Werkstoff, der bereits bei niedrigen Dehnungen versagt. Kurven b und c sind beides zähe Werkstoffe mit Streckpunkt und Kurve d ist ebenfalls ein zäher Werkstoff ohne Streckpunkt. Die Zugfestigkeit wird immer am ersten Spannungsmaximum bestimmt.

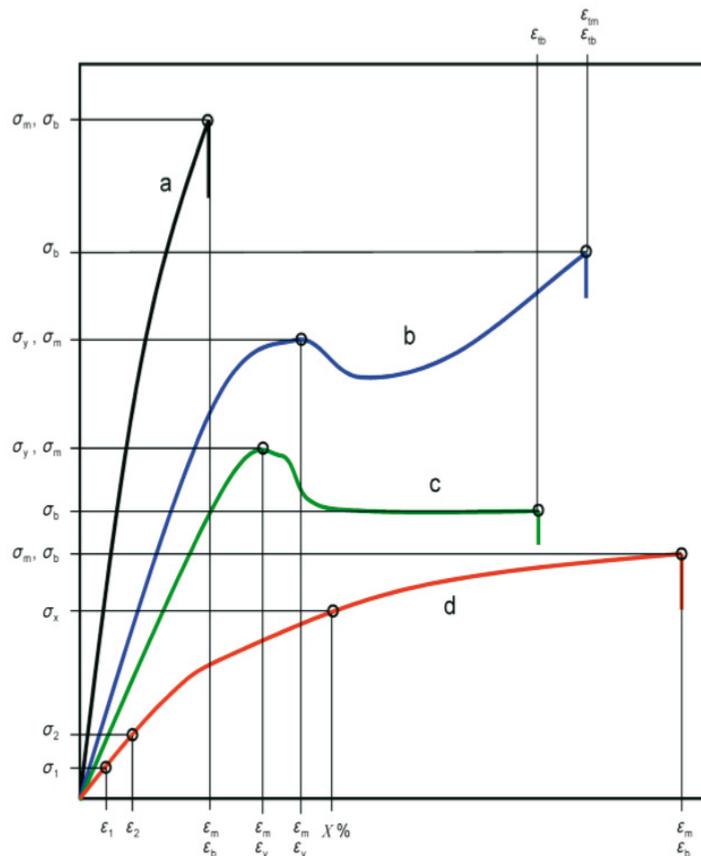


Abbildung 3.45 Typische Spannungs-/Dehnungskurven

Die Variation der durchgeführten Zugversuche und das unterschiedliche Materialverhalten wird deutlich in Abbildung 3.46. Die breite der verschiedenen Materialien wird dahingehend ersichtlich, dass nicht alle Werte ablesbar sind und diese zum Teil auch überlagert dargestellt sind. Während die Proben E, H und N ein elastisches Materialverhalten mit Dehnungswerten von über 50 % aufweisen und den gummiähnlichen Stoffen zuzuordnen sind, gehören die anderen Proben zu den spröden-glasartigen Kunststoffen. Auch diese können teilweise noch relativ große Dehnungen überstehen.

Bei den geprüften Materialien handelt es sich im Wesentlichen um Duroplaste. Ausnahmen sind hierbei die hochelastischen Polymere E und N, die den Elastomeren zuzuordnen sind. Diese fungieren bei den Oberflächenschutzsystemen als Schwimmschicht mit stark rissüberbrückenden Eigenschaften.

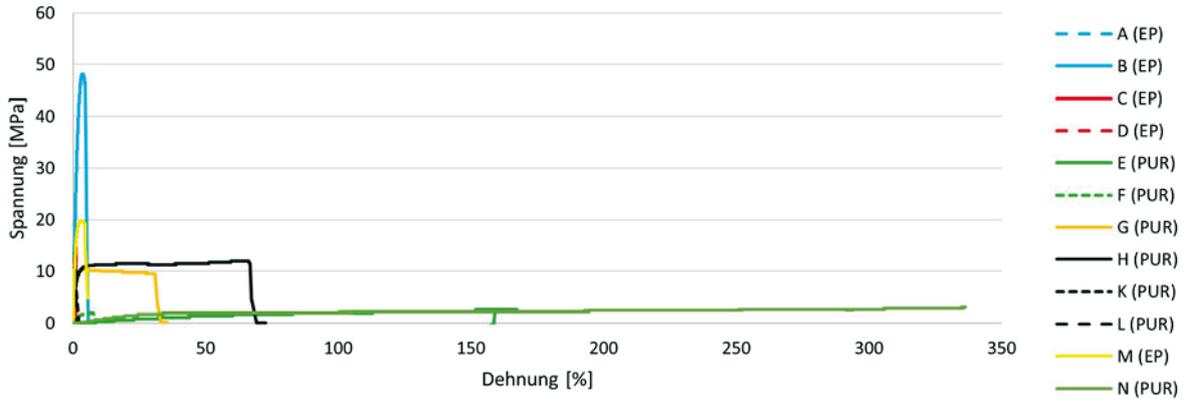


Abbildung 3.46 Spannungs-Dehnungskurven der Zugproben bei Normalklima und einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min

Die Steigung der Regressionsgerade im Dehnungsbereich von 0,05 % bis 0,25 % wird für die Bestimmung des Zugmoduls ersatzweise herangezogen. Dies begründet sich darin, dass Kunststoffe keinen linearen Bereich der Spannungs-Dehnungs-Kurve besitzen. In der nachfolgenden Abbildung 3.47 ist die Spannungs-Dehnungskurve für den Dehnbereich von 0,05 % bis 0,15 % angegeben. Die Proben wurden im Normalklima gelagert und mit einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min geprüft. In diesem Dehnungsbereich können kleine Ausreißer bereits zu Unregelmäßigkeiten führen.

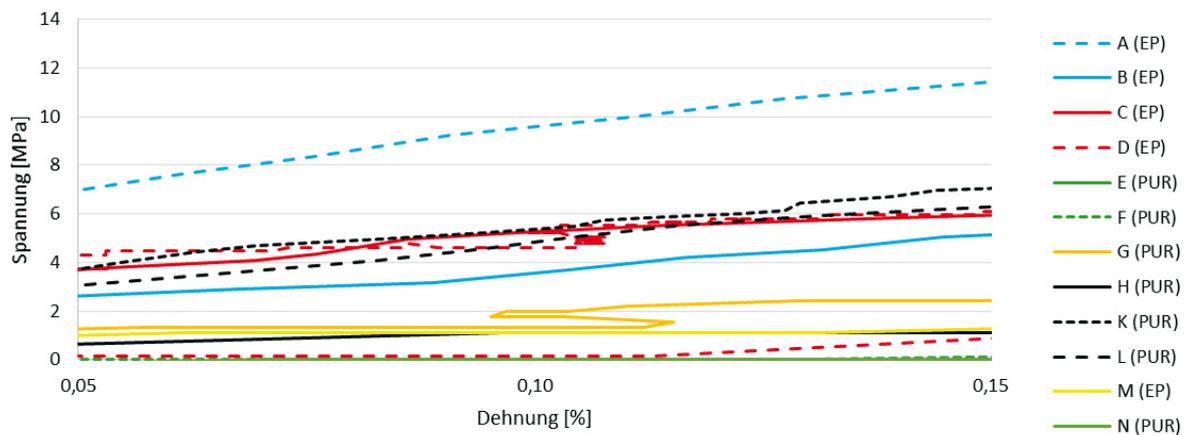


Abbildung 3.47 Spannungs-Dehnungs-Verläufe im Dehnungsbereich von 0,05 % bis 0,15 %

Die bestimmten Zugmodule in Abhängigkeit von der Prüfgeschwindigkeit und der Lagerung können der Tabelle 3.19 entnommen werden. Die Proben der Materialien A, B, K und L haben zum Teil Zugmodule von über 2.000 MPa erreicht. Erwartungsgemäß waren die Zugmodule der hochelastischen Materialien E und N im einstelligen Bereich. Die wassergesättigten Proben weisen deutlich niedrigere Zugmodule im Vergleich zu den normalgelagerten Proben auf. Bei den nachvernetzten Proben kann kein eindeutiger Trend festgestellt werden. Eine höhere Prüfgeschwindigkeit hat erwartungsgemäß i. d. R. auch ein höheres Zugmodul zur Folge.

Tabelle 3.19 Zugmodule

Zugmodul [MPa]									
Prüfgeschwindigkeit [mm/min]									
	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10
Nr.	normalgelagert			wassergesättigt			nachvernetzt		
A	2175	2480	3552	1368	2759	2935	1896	1990	3000
B	2446	2269	2545	560	1127	829	904	920	1079
C	853	475	1795	431	589	430	471	362	624
D	1400	2009	-	440	439	664	1118	1823	2763
E	-	4	5	-	3	3	-	4	3
F	72	122	104	80	94	76	150	101	145
G	788	462	1307	213	168	312	200	761	895
H	168	200	1034	14	20	39	1716	683	1489
K	553	1027	2988	383	340	258	1357	1241	2659
L	1224	1810	2474	67	190	453	719	956	2220
M	677	1801	887	70	206	342	811	1391	1261
N	-	8	9	-	6	6	-	8	9
- nicht geprüft									

Die Zugfestigkeit wurde am ersten Spannungsmaximum bestimmt. Dies bedeutet, dass es sich dabei um die Bruchspannung wie aber auch um die Streckspannung handeln kann. Die zugehörige Dehnung der Zugfestigkeit wurde ebenfalls bestimmt. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese nur bedingt Aufschluss bzgl. der Dehnbarkeit der geprüften Materialien gibt. Deutlich wird dies in Abbildung 3.48. Das Spannungsmaximum wird bei der wassergesättigten Probe erst nach über 50 % der Dehnung erreicht während es bei der normalgelagerten bereits nach 5 % vorlag.

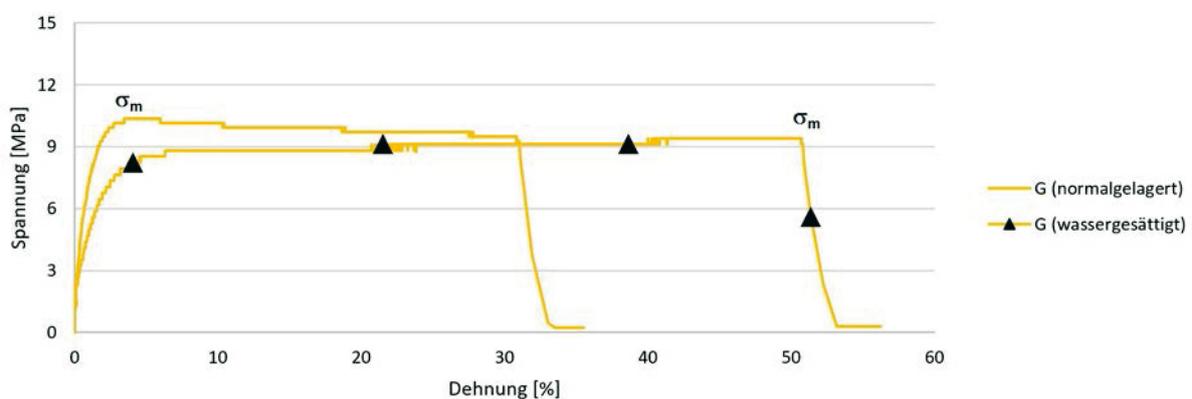


Abbildung 3.48 Zugfestigkeiten in Abhängigkeiten von der Lagerung bei einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min

Analog zu den Zugmodulen verhält es sich mit der Zugfestigkeit. Die wassergesättigten Proben erreichen geringere Festigkeiten und mit höherer Geschwindigkeit werden höhere Festigkeiten erreicht. Die Dehnung der Zugfestigkeit nimmt erwartungsgemäß hingegen mit zunehmenden

Prüfgeschwindigkeit ab. Die niedrigsten Werte mit der höchsten Dehnung weisen die Elastomere auf. Die Werte der Zugfestigkeiten können Tabelle 3.20 und die Werte der Dehnung der Zugfestigkeit Tabelle 3.21 entnommen werden.

Tabelle 3.20 Zugfestigkeiten

Zugfestigkeit [MPa]									
Prüfgeschwindigkeit [mm/min]									
	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10
Nr.	normalgelagert			wassergesättigt			nachvernetzt		
A	9,7	9,8	14,4	6,0	7,8	7,8	8,2	9,9	9,8
B	39,6	35,7	48,2	10,1	22,0	28,6	15,6	25,6	34,0
C	6,8	9,8	14,5	-	4,7	5,2	7,8	11,1	15,2
D	7,2	7,7	-	2,9	2,3	6,7	6,4	9,0	12,0
E	-	-	3,1	-	-	1,0	-	-	2,9
F	1,6	1,8	1,9	1,7	1,7	1,8	2,0	2,5	2,4
G	13,4	12,3	15,8	-	9,7	10,6	-	16,1	12,8
H	-	12,6	11,9	-	-	11,6	-	11,2	11,7
K	6,3	10,1	13,8	5,2	-	3,0	6,2	9,0	10,5
L	5,8	10,1	11,1	1,0	1,7	2,3	6,7	7,3	13,3
M	9,4	12,4	19,8	-	5,1	7,5	5,6	12,1	15,3
N	-	-	3,4	-	-	-	-	-	1,9
- nicht geprüft									

Tabelle 3.21 Dehnung der Zugfestigkeit

Dehnung der Zugfestigkeit [%]									
Prüfgeschwindigkeit [mm/min]									
	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10
Nr.	normalgelagert			wassergesättigt			nachvernetzt		
A	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1
B	3,3	3,4	3,8	-	3,3	3,6	2,7	3,8	5,8
C	5,2	2,2	1,1	-	10,0	7,1	1,3	1,0	1,0
D	0,4	0,3	-	0,6	0,8	0,3	0,2	0,2	0,2
E	-	-	~210	-	-	281	-	-	259
F	8,4	10,0	7,5	6,5	8,0	9,9	6,8	7,4	8,7
G	4,3	5,5	5,8	-	54,0	50	-	2,0	17
H	-	103	66,0	-	-	115	-	79	57
K	2,3	1,6	0,8	1,2	-	0,6	0,8	1,6	0,9
L	2,0	1,2	0,7	4,3	2,9	1,3	2,8	1,6	0,9
M	10,0	6,6	3,6	-	16,0	18	1,2	1,9	1,2
N	-	-	~300	-	-	-	-	-	-
- nicht geprüft									

Allgemein ist auffällig, dass die Epoxidharze deutlich höhere Steigungen im Anfangsbereich (Zugmodul) und Festigkeiten aufwiesen. Aufgrund der weitmaschigeren Vernetzung sind Polyurethane dehnfähiger mit geringeren Festigkeiten. Hochelastische Polyurethane, wie sie als Schwimmschichten bei den OS 11a-Systemen verwendet werden, verfügen über die größte Dehnfähigkeit mit den geringsten Festigkeiten.

Die Einstreuung von Quarzsand führt zu einer Gefügeänderung der Polymerstruktur. Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeiten und Zugmodule. Der Quarzsand führte bei den Proben aus Epoxidharz zu höheren Zugmodulen (in Abbildung 3.49 Proben K und L) während die Proben ohne Quarzsand (Probe H) die höheren Festigkeiten aufwiesen. Dies wird deutlich ersichtlich anhand der anfänglichen Steigung in der Spannungs-Dehnungskurve (siehe Abbildung 3.49). Die Polyurethane verfügen ebenfalls über höhere Zugmodule, jedoch variieren die Festigkeiten nur marginal. Die zusätzliche Verfüllung führt zu einer weiteren Erhöhung des Zugmoduls.

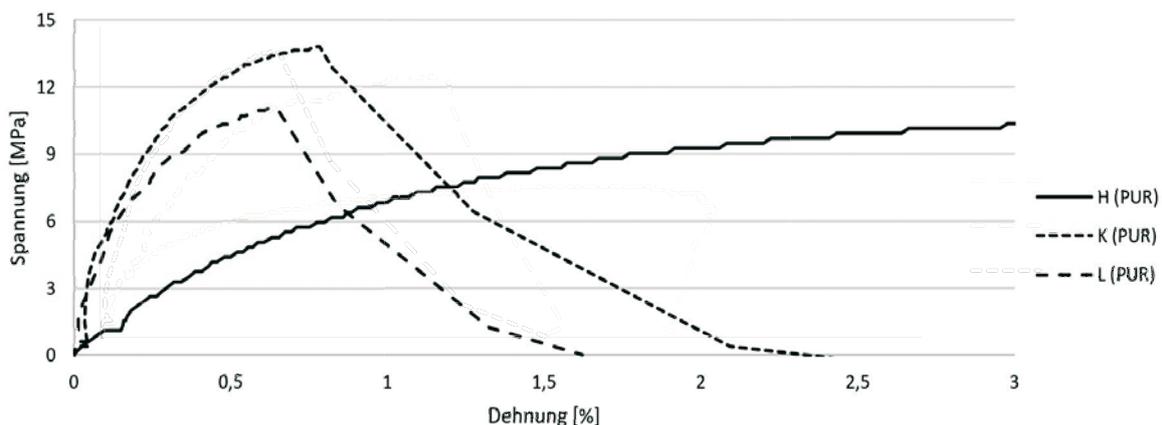


Abbildung 3.49 Spannungs-Dehnungskurve in Abhängigkeit von der Quarzsandverfüllung (normalgelagert, Prüfgeschwindigkeit 10 mm/min - H ohne Quarzsandfüllung, K abgestreut und verfüllt, L abgestreut)

Wasser hat einen enormen Einfluss auf die Festigkeiten bei Oberflächenschutzsystemen. Dies wird deutlich an den wassergesättigten Proben, die durchweg deutlich niedrigere Zugmodule (z. T. mehr als 70 % niedriger) wie auch Festigkeitswerte aufwiesen.

Eine Nachvernetzung von Kunststoffen war nur bedingt möglich. Die Epoxidharze wie auch Polyurethane vernetzen alle bei sehr unterschiedlichen Temperaturen nach. Teilweise sind hier Temperaturen notwendig, die in der Realität nicht erreicht werden können. So findet eine Nachvernetzung bei Polyurethanen bei ca. 90 °C und bei Epoxidharzen bei 120 °C statt. Herstellerseitig lagen keine Angaben vor, bei welchen Temperaturen die Kunststoffe nachvernetzen. Aus diesem Grund variieren die Ergebnisse sehr stark, sodass keine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann.

3.2.8.5 Bedeutung der Ergebnisse für den Oberflächenschutz

Die ermittelten Festigkeiten wurden mit den Verschleißversuchen verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Ergebnisse mit den in den Verschleißversuchen mit dem Parking Abrasion Test gewonnenen Ergebnissen korrelieren. Im Forschungsvorhaben „Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen“ [11] hat sich gezeigt, dass vor allem die OS 11-Systeme den größten Verschleiß aufwiesen. Die Schwimm- und Verschleißschichten bestehen zum Teil aus sehr elastischen Elastomeren, die nur geringe Zugfestigkeiten und Zugmodule vorwiesen. Bei diesen ist unter mechanischer Belastung ein größerer Verschleiß möglich. Um die Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen zu gewährleisten, ist eine verschleißfeste Deckversiegelung notwendig. Die Grundierungen wiesen in den Zugversuchen deutlich höhere Festigkeiten als die Deckversiegelungen auf. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass die Werte bei einer Wassersättigung auffällig niedriger waren. Die Wintermonate sind daher kritischere Monate, da chloridhaltige Wasser in die Parkbauten eingetragen werden, die die Festigkeiten reduzieren können.

3.2.9 Tribologie

Der Aufbau des Driving Abrasion Test ist in Abbildung 3.50 dargestellt. Die Dauerbelastung von Oberflächensystemen kann damit simuliert werden. Der Grundkörper ist der beschichtete Betonprobekörper mit einem Durchmesser von 1,50 m und einem Fahrspurradius von 0,5 m. Als Gegenkörper wird ein handelsüblicher PKW-Reifen mit einer Reifenbreite von 195 mm verwendet. Weitere Gegenkörper können ein Vulkollan- oder Polyamidrad sein. Schmutz und (chloridhaltige) Wasser, wie sie in der Realität anzutreffen sind, bleiben unbeachtet. Das Umgebungsmedium ist die Luft. Die Drehgeschwindigkeit des Grundkörpers kann variabel eingestellt werden und die Belastung des Reifens beträgt 4 kN. Geprüft werden die Probekörper mit bis zu 25.000 Zyklen. Neben Reibungskräften treten zusätzlich aufgrund der Kurvenfahrten ggf. noch Schub- und Scherkräfte auf.

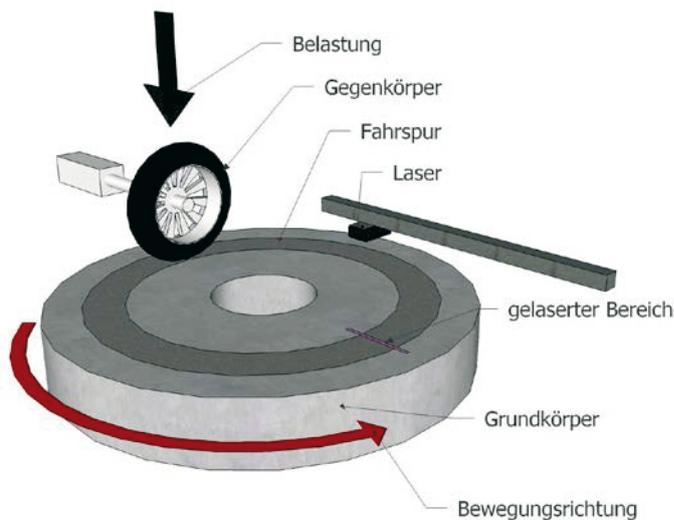


Abbildung 3.50 Driving Abrasion Test

Zur Bestimmung des Verschleißmechanismus wurden die entstandenen „Schäden“ sowie Bohrkerne mikroskopisch untersucht. Der Name „Abrasion“ lässt auf eine Abrasion schließen, bei dem es zu einer furchenden oder ritzenden Beanspruchung kommt. Dies kann jedoch nur dann auftreten, wenn der Gegenkörper deutlich härter und rauer ist wie der Grundkörper. Dies ist bei einer Belastung mit einem PKW-Reifen nicht der Fall. Zum einen kommt der Verschleißmechanismus Adhäsion zum Tragen, welcher gut sichtbar durch die anhaftenden PKW-Reifenreste zustande kommt. Zum anderen liegt eine Oberflächenzerrüttung vor. Aufgrund der Ermüdung der Oberfläche kommt es zu einer Festigkeitsabnahme, die die Entstehung von Mikrorissen hervorrufen. Diese werden mit der Zeit größer und vereinen sich ggf., wodurch Quarzkörner ausbrechen und es zu Löchern und Grübchen kommt [21].

In der nachfolgenden Abbildung 3.51 ist ein Probekörper, der mit dem Driving Abrasion Test geprüft wurde, zu sehen. Dieser wurde mit einem Polyamidrad 20.000 Zyklen beansprucht. Dies ist ein typisches Schadensbild einer Oberflächenzerrüttung nachdem die Risse sich vereinigt haben und die Quarzkörner ausgebrochen sind.

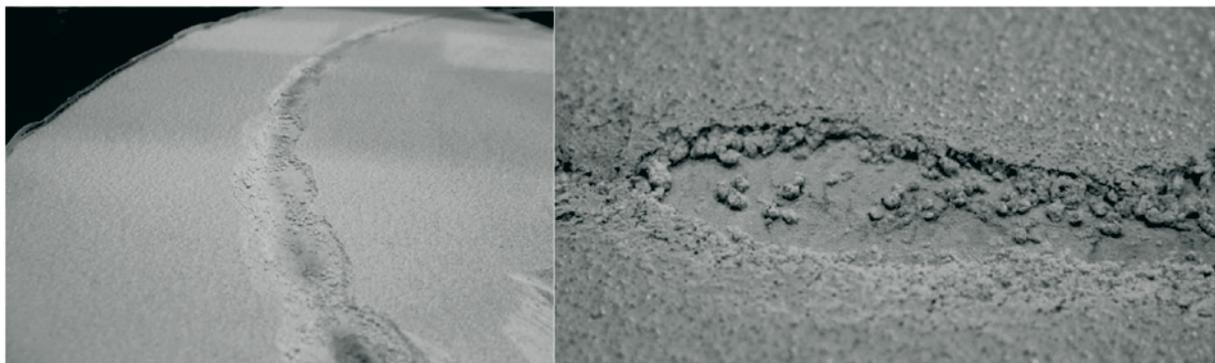


Abbildung 3.51 Verschleiß an einem Prüfkörper, geprüft mit dem Driving Abrasion Test

In der Abbildung 3.52 ist die mikroskopische Aufnahme eines OS 11b-Systems vor Versuchsbeginn und nach 15.000 Zyklen dargestellt. Die Deckversiegelung wurde hier komplett abgetragen. Gut erkennbar ist auch die im unbelasteten Zustand ungleichmäßige Deckversiegelung.

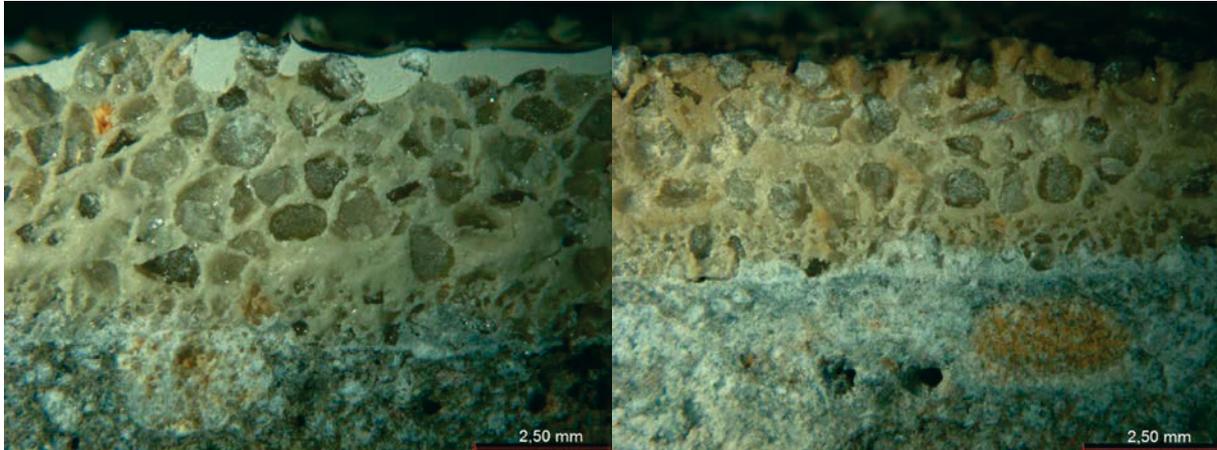


Abbildung 3.52 OS 11b-System vor Versuchsbeginn und nach 15.000 Zyklen

In der nachfolgenden Abbildung 3.53 sind Detailaufnahmen verschiedener Systeme dargestellt. Neben einem OS 8-System im Ausgangszustand sind noch zwei OS 8-Systeme und ein OS 11b-System nach Versuchsende dargestellt. Bei dem Bild (a) sind deutlich die Kornspitzen zu erkennen, die auch z. T. nur sehr dünn beschichtet sind. Über diese fängt i. d. R. der Verschleiß an und die ersten Körner brechen (leicht) aus (wie in Bild (b)). Ebenfalls sind hier die kleinen Risse schon erkennbar. In (c) ist ein System dargestellt, das nahezu nicht verschlissen worden ist. An der Oberfläche fand lediglich eine kleine Oberflächenzerrüttung statt. In Bild (d) ist die Oberflächenzerrüttung erkennbar, hier jedoch mit größeren Ausbrüchen.

Die Verschleißminderung ist bei diesem tribologischen System nur bedingt möglich. Lediglich beim Oberflächenschutzsystem selbst besteht die Möglichkeit dem Verschleiß entgegen zu wirken. Die Deckversiegelung, die wesentliche Komponente eines Beschichtungssystems, wurde in vielen Fällen zu dünn bzw. über manchen Kornspitzen gar nicht appliziert. Dies wurde sehr deutlich auf den mikroskopischen Aufnahmen. Verschleißverstärkend bzw. -fördernd wirken sich sogenannte „Hügel“ bzw. „Aufwölbungen“ aus, die beim Beschichten entstehen, wenn einzelne Bereiche stärker beschichtet wurden (i. d. R. mehr Quarzsand in diesem Bereich). Auch dadurch kam es zu größerem Verschleiß, wie die Untersuchungen zeigten.

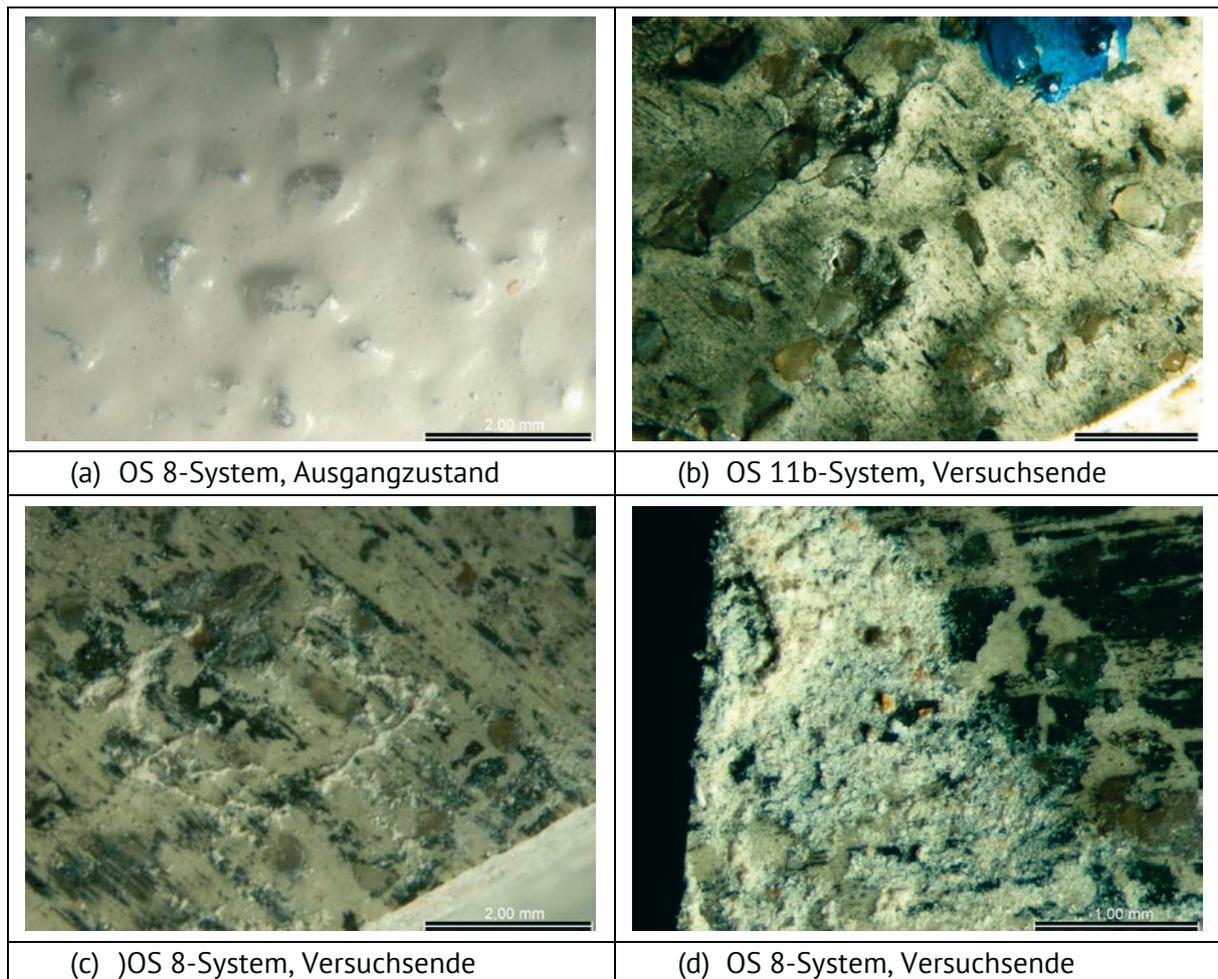


Abbildung 3.53 Detailaufnahme von Verschleißaufnahmen

3.3 Modul III

3.3.1 Allgemein

Nach Auswertung aller Versuche und der Verifizierung der wesentlichen Einflussgrößen auf die Verschleißprüfung erfolgte die Ausarbeitung eines Prüfkonzeptes. Darin wurden die Randbedingungen des Versuchs, sowohl klimatisch als auch hinsichtlich der Prüfparameter wie Auflast und Intervalldauer, festgelegt. Weiterhin erfolgte die Bestimmung der zur Auswertung heranzuziehenden Bewertungskriterien und Festlegung von Schadensklassen zur Vergleichbarkeit der einzelnen Verschleißversuche.

3.3.2 Einleitung

Das nachfolgende Prüfverfahren (Driving Abrasion Test) beschreibt die Durchführung einer realitätsnahen Verschleißbeanspruchung, der ein Beschichtungssystem, das in einem Parkhaus zum Schutz der Konstruktionsbauteile gegen das Eindringen von Chloriden aufgebracht wird, ausgesetzt ist.

Das Prüfverfahren erlaubt eine Klassifizierung von Beschichtungssystemen in Dauerbelastung in unterschiedliche Verschleißwiderstandsklassen.

3.3.3 Anwendungsbereich

Das nachfolgend beschriebene Prüfverfahren enthält Festlegungen zur Durchführung der Prüfungen sowie Kriterien zur Klassifizierung der geprüften Beschichtungssysteme in unterschiedliche Verschleißwiderstandsklassen.

Das Prüfverfahren kann zum Nachweis der Eignung eines Beschichtungssystems aus Polymerharzen verwendet werden, wie es zum Schutz von Betontragwerken im Bereich von Parkbauten verwendet wird. Die Festlegungen dieses Prüfverfahrens gelten für direkt befahrene Oberflächenschutzsysteme OS 8, OS 11a, OS 11b und OS 13 nach DIN V 18026 [22]. Es kann auch zur Klassifizierung eines Beschichtungssystems OS 10 mit zusätzlicher Verschleißschicht auf Basis eines Reaktionsharzmörtels angewandt werden.

Weiterhin können Rissbandagen und verschiedene Komponenten wie bspw. Deckversiegelungen auf ihr Verschleißverhalten unter Dauerbelastung geprüft werden.

3.3.4 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in

Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 1504-2, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken; Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton* [22]

DIN V 18026, *Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2* [23]

DIN EN 1542, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch* [24]

DIN EN 1766, *Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen* [15]

DIN EN ISO 13473-1, *Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen - Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe* [25]

DIN EN ISO 527-2, *Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen* [19]

DIN EN ISO 291, *Kunststoffe - Normalklimate für Konditionierung und Prüfung* [26]

ECE-R30, *Regelungen für Luftreifen für Kraftfahrzeuge und Anhänger; Economic Commission for Europe* [27]

3.3.5 Definitionen

3.3.5.1

DAT: Driving Abrasion Test

Prüfstand zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von Oberflächenschutzsystemen mit ggf. Rissen und Rissbandagen für mechanisch durch Reifen beanspruchte Oberflächenschutzsysteme

3.3.5.2

Verschleißklasse VK

Visuelle Bewertung mit anschließender Klassifizierung von Oberflächenschutzsystemen

3.3.5.3

Abtragstiefe A_L

Zerstörungsfrei ermittelte Differenz von ursprünglicher Schichtdicke und der Restschichtdicke nach Beendigung der Verschleißversuche; angegeben in mm auf 0,1 mm

3.3.6 Prinzip

Auf horizontalen Bauteiloberflächen applizierte Oberflächenschutzsysteme werden mit einem PKW-Reifen über eine definierte Zyklenzahl abrasiv mechanisch belastet, um eine praxisnahe Aussage über den Verschleißwiderstand des Oberflächenschutzsystems treffen zu können.

Hierzu werden in dieser Norm unterschiedliche Verschleißwiderstandsklassen definiert (identisch mit [11]), die eine Beurteilung eines Oberflächenschutzsystems hinsichtlich seines mechanischen Abnutzungsvorrates zulassen.

3.3.7 Geräte und Prüfmittel

3.3.7.1 Verschleißprüfstand

Der Verschleißprüfstand des Driving Abrasion Test DAT besteht aus einer stabilen Stahlkonstruktion mit einer drehbar gelagerten Radachse und einem Elektromotor, der das Rad zu einer Drehbewegung um die Längsachse des Versuchsaufbaus führt. Das Prüfrad ist mit einem definierten Gewicht von (400 ± 5) kg einschließlich Eigengewicht beschwert.

Die Grundkonstruktion muss eine Einspannvorrichtung zum Fixieren der Prüfplatten aufweisen.

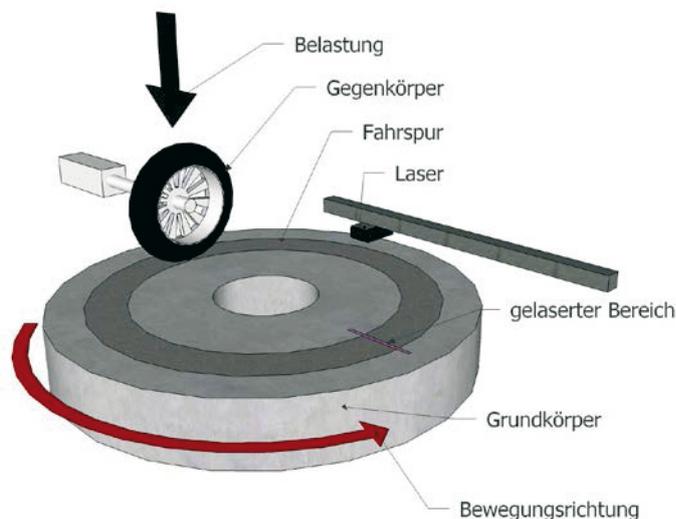


Abbildung 3.54 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus Driving Abrasion Test DAT

3.3.7.2 Prüfrad

Als Prüfrad wird ein handelsüblicher PKW Sommerreifen mit der Bezeichnung 195/65 R 15 91 nach ECE-R30 [27] verwendet.

Dieser Radialreifen hat eine Reifenbreite von 195 mm und ein Felgenmaß von 15 Zoll. Das Verhältnis der Reifenhöhe zur Reifenbreite beträgt 65 %. Die Tragfähigkeitskennziffer 91 des Reifens entspricht einer zulässigen Belastung des Reifens bis 615 kg.

Die Gummimischung des Reifens weist eine Härte von (68 ± 7) Shore A auf. Bei einem Reifenluftdruck von $(2,2 \pm 0,05)$ bar (MPa) ergibt sich unter Ansatz der Auflast eine Radaufstandsfläche von (2050 ± 70) mm².

3.3.7.3 Elektronische Steuerung

Der Probekörper wird mittels eines Elektromotors zu einer regelmäßigen Drehung mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h in Dauerlauf veranlasst.

Ein Zyklus bedeutet eine Drehung des Probekörpers.

Die Steuerung muss so ausgelegt sein, dass Prüfzyklen von 1.000 und 2.500 Einzelprüfungen durchgeführt werden können.

3.3.8 Probekörper

3.3.8.1 Betongrundkörper

Der Grundkörper ist eine Betonplatte mit einem Durchmesser von 1.500 mm aus einem Beton der Güte MC (0,45) nach DIN EN 1766 [15]. Dieser Beton weist eine Oberflächenzugfestigkeit von mindestens 2,5 N/mm² (kleinster Einzelwert), geprüft nach DIN EN 1542 [24], auf.

Vor Auftrag der ersten Lage des Oberflächenschutzsystems wird die Betonoberfläche so vorbereitet, dass eine ausreichende Oberflächenzugfestigkeit und eine mittlere Rautiefe zwischen 0,30 mm und 0,50 mm, geprüft mit dem Sandflächenverfahren nach DIN EN 1766 [15], vorliegt.

Vor Auftrag des Oberflächenschutzsystems muss die Eigenfeuchte der Betonplatte im Bereich der Ausgleichsfeuchte des Betons liegen. Die Grundkörper sind bis unmittelbar vor dem Auftrag des Oberflächenschutzsystems über einen Zeitraum von mindestens 24 Stunden im Normklima (Lufttemperatur (23 ± 2) °C, Luftfeuchtigkeit (50 ± 10) %) nach DIN EN ISO 291 [26] temperiert zu lagern.

3.3.8.2 Applikation des Oberflächenschutzsystems und Lagerungsbedingungen

Die einzelnen Lagen des Oberflächenschutzsystems werden nach Vorgabe des Produktherstellers bzw. des Systemanbieters appliziert. Hierbei sind die notwendigen produktspezifischen Mindestwartezeiten und die zulässigen maximalen Wartezeiten zwischen den einzelnen Arbeitsgängen einzuhalten. Bei der Herstellung der Oberflächenschutzsysteme sind die Vorgaben des Herstellers zur Arbeits- und Umweltsicherheit einzuhalten.

Für ein Oberflächenschutzsystem ist ein Probekörper zu beschichten und zu prüfen.

Probekörper: Plattengrund- und Materialtemperatur sowie Aushärtetemperatur entsprechend Normtemperatur (23 ± 2) °C.

Die Verbrauchsmengen zum Herstellen der einzelnen Beschichtungslagen richten sich nach den Angaben zur Ausführung nach DIN V 18026 [22] herzustellenden Mindest- und Maximalschichtdicken der jeweiligen hauptsächlich wirksamen Schichten.

Die Oberflächenrauigkeit der beschichteten Betonplatte ist vor dem Beginn der Verschleißbeanspruchung zu ermitteln. Das dabei angewandte Prüfverfahren ist zu benennen. Die Prüfwerte sind anzugeben. Als Prüfverfahren kann das Sandflächenverfahren nach DIN EN 1766 [15] oder das Prüfverfahren zur Ermittlung der mittleren Profiltiefe MPD nach DIN EN ISO 13473-1 [25] angewandt werden.

3.3.8.3 Gesonderte Probekörper

Von jedem zur Herstellung des Oberflächenschutzsystem verwendeten Produkt aus Reaktionsharz werden, bevor die angemischten Produkte mit Quarzsand versetzt werden, gesonderte Zugproben mit z. B. den Abmessungen des Typs 1B nach DIN EN ISO 527-2 [19] hergestellt, um die Zugmodule nach DIN EN ISO 527-2 [19] der einzelnen Systemkomponenten zu bestimmen.

Anmerkung: Ggf. kann es sinnvoll sein die Höhe des Probekörpers anzupassen.

Lagerung A: Aushärtung der Einzelkomponenten des Oberflächenschutzsystems unter Normtemperatur (23 ± 2) °C

Lagerung B: Aushärtung der Einzelkomponenten des Oberflächenschutzsystems unter der vom Hersteller angegebenen Mindesttemperatur aus den Angaben zur Ausführung

Lagerung C: Lagerung der Probekörper bis zur Prüfung unter Wasser (Wassersättigung)

Anmerkung: Im Freideckbereich von Parkbauten sind die Oberflächenschutzsysteme direkter Witterung und somit Feuchte ausgesetzt. Diese können zu einer Beeinträchtigung der Verschleißigenschaften des Oberflächenschutzsystems führen.

3.3.9 Durchführung der Prüfungen

3.3.9.1 Verschleißbeanspruchungen

Die beschichteten Betonplatten werden so in der Prüfeinrichtung fixiert, dass sie sich während der Prüfung nicht verschieben lassen. Die Verschleißbeanspruchung erfolgt in drei Prüfstufen mit je 5.000 einzelnen Drehbeanspruchungen.

Prüfstufe 1: 0 bis 5.000 Drehbeanspruchungen. Inaugenscheinnahme und ggf. Reinigen der Prüffläche vom Reifenabrieb etc. je 1.000 Einzelbeanspruchungen. Auffälligkeiten wie in Tabelle 3.22 beschrieben werden dokumentiert. Bei Einstufung in Verschleißklasse VK 6 erfolgt der Abbruch der Prüfung.

Prüfstufe 2: 5.001 bis 10.000 Drehbeanspruchungen. Inaugenscheinnahme und ggf. Reinigen der Prüffläche vom Reifenabrieb etc. je 2.500 Einzelbeanspruchungen. Auffälligkeiten wie in Tabelle 3.22 beschrieben werden dokumentiert. Bei Einstufung in Verschleißklasse VK 6 erfolgt der Abbruch der Prüfung.

Prüfstufe 3: 10.001 bis 25.000 Drehbeanspruchungen. Inaugenscheinnahme und ggf. Reinigen der Prüffläche vom Reifenabrieb etc. je 2.500 Einzelbeanspruchungen. Auffälligkeiten wie in Tabelle 3.22 beschrieben werden dokumentiert. Bei Einstufung in Verschleißklasse VK 6 erfolgt der Abbruch der Prüfung.

3.3.9.2 Bestimmung der Zugmodule

Die Bestimmung der Zugmodule erfolgt nach DIN EN ISO 527-2 [19] in Abhängigkeit von der Lagerungsart, die nachfolgend beschrieben ist:

Lagerung A: Prüfung der Zugmodule unter Normtemperatur (23 ± 2) °C 7 Tagen.

Lagerung B: Prüfung der Zugmodule unter der vom Hersteller angegebenen Mindesttemperatur aus den Angaben zur Ausführung nach 7 Tagen.

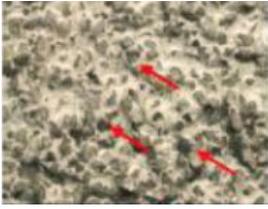
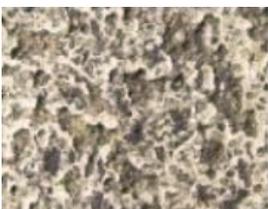
Lagerung C: Prüfung nach Wassersättigung

3.3.10 Beurteilung

3.3.10.1 Optische Beurteilung mit Verschleißklassen

Nach der ersten, zweiten und dritten Prüfstufe mit jeweils 5.000 bzw. 10.000 Prüfzyklen erfolgt eine optische Bewertung der Prüfflächen und eine Einstufung in eine Verschleißklasse nach Tabelle 3.22.

Tabelle 3.22 Klassifizierung der Oberflächen nach der Verschleißbeanspruchung

Verschleiß-klasse	Einstufung	Beschreibung	Beispiel
VK 1	Sehr geringe Abnutzung	Deckversiegelung über kornspitzen abgefahren bzw. vereinzelt Quarzsandkörner herausgebrochen	
VK 2	Geringe Abnutzung	Deckversiegelung über kornspitzen abgefahren und punktuell beschädigt bzw. Quarzsandkörner kleinflächig bis Ø 10 mm zusammenhängend herausgebrochen	
VK 3	Mittlere Abnutzung	Deckversiegelung großflächig abgefahren bzw. Quarzsandkörner kleinflächig bis Ø 30 mm zusammenhängend herausgebrochen	
VK 4	Starke Abnutzung	Abtrag der Deckversiegelung und Verschleißschicht mit Abtragstiefen $\leq 50\%$ der ursprünglichen Schichtdicke der Verschleißschicht	
VK 5	Sehr starke Abnutzung	Sehr starker Abtrag der Verschleißschicht mit Abtragstiefen $> 50\%$ der ursprünglichen Schichtdicke der Verschleißschicht	
VK 6	Systemausfall	Beschädigung der Abdichtungsschicht	

3.3.10.2 Zerstörungsfreie Bestimmung der Abtragsraten

Der Verschleiß wird zerstörungsfrei mit einem Laserscanning-Verfahren bestimmt. Für die Bestimmung der Dicke ist auf dem Prüfkörper eine unbelastete Fläche neben der Prüffläche notwendig, sodass direkt die Differenz bestimmt werden kann.

Die Abtragstiefe A_L ist die Differenz aus ursprünglicher Schichtdicke und der Restschichtdicke nach Beendigung der Verschleißversuche, die mit einer zerstörungsfreien Methode bestimmt wird. Dieser ist in mm auf 0,1 mm anzugeben.

Anmerkung: Weiterführende Literatur zu Lasermessverfahren

Schulz, R.-R.; Schmidt, T.; Hardt, R.: Baustellengerechte Laser-Profilmessverfahren für die Steuerung Eigenüberwachung der Oberflächentexturierung von Verkehrsflächen aus Beton, in: Straße und Autobahn, Oktober 2013 [28]

Ladner, E.-M.; Breit, W.; Krams, J.: Realitätsnahe Verschleißprüfverfahren für Beschichtungssysteme, Bautechnik 91 (2014), Heft 10, S. 711-719 [29]

Breit, W.; Ladner, E.-M.; Krams, J.: Forschungsinitiative Zukunft Bau. Bd. 2954: Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen, Abschlussbericht, Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, 2015 [11]

3.3.10.3 Bestimmung der Zugmodule

Weichen die Messwerte der Zugmodul-Prüfung bei Wassersättigung um mehr als 40 % von den Messwerten bei 23 °C bei gleichem Prüfalter ab, ist eine wesentliche Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften durch erhöhte Nutzungstemperaturen zu vermuten.

3.3.11 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Angaben enthalten:

- Einen Hinweis auf diese Versuchsbeschreibung
- Die Beschreibung der verwendeten Produkte (Bezeichnung, Chargen-Nr.) und Verbrauchsmengen
- Die Bezeichnung der verwendeten Quarzsande zur Abstreuerung
- Die relevanten Herstellerangaben zur Ausführung nach DIN V 18026 [22]
- Temperaturabhängige Angabe des Herstellers zum frühesten Belastungszeitpunkt des Oberflächenschutzsystems (= Beginn der Verschleißprüfung)
- Die hergestellten Schichtdicken der einzelnen Lagen
- Eine Beschreibung und Klassifizierung der Prüfflächen nach den Prüfstufen 1 bis 3; bei einem vorzeitigen Abbruch der Prüfung ist die Anzahl der durchgeführten Beanspruchungen zu dokumentieren.
- Ab Verschleißklasse VK4 sind die Abtragstiefen im Vergleich der ungeprüften zur geprüften Oberfläche des Schutzsystems zu dokumentieren; Nachweis an Bohrkernen oder alternativ mittels zerstörungsfreier Bestimmung der Abtragstiefen
- Die Ergebnisse der Zugmodule jeder Beschichtungslage unter der vom Hersteller vorgegebenen Mindestverarbeitungstemperatur gem. Angaben zur Ausführung sowie unter Normtemperatur 23 °C. Prüfzeitpunkt 7 Tage
- Alle vom vorgegebenen Prüfprocedere abweichenden Randbedingungen
- Datum der Prüfung
- Name des Prüfers

4 Zusammenfassung

In den durchgeführten Versuchsreihen wurden sowohl an einzelnen Materialkomponenten Materialparameter wie Zugmodul bestimmt als auch die Dauerbelastung von Oberflächenschutzsystemen mit dem Driving Abrasion Test untersucht. Bei den Untersuchungen mit dem Driving Abrasion Test wurden beschichtete Risse untersucht wie auch die Beeinflussung der Deckversiegelungen auf das Verschleißverhalten.

Die Probekörper, die mit dem Driving Abrasion Test geprüft wurden, verfügten über unterschiedliche Abriebwiderstände. Die Auswertung erfolgte mit der Laserscanning-Methode, die sich inzwischen gut bewährt hat. Mit Hilfe der fotografischen Dokumentation des Verschleißes ist es möglich den Verschleiß auf einen Blick nachzuvollziehen und auch die Klassifikation der Probekörper vorzunehmen. Die Beschichtung der Probekörper mit nur einem System oder zweien mit gleicher Aufbauhöhe hat sich als optimal herausgestellt.

Die Untersuchungen der einzelnen Komponenten an Zugproben haben sich sowohl mit als auch ohne Abstreueung als sehr hilfreich erwiesen. Es wurde deutlich, wie sich die Eigenschaften der einzelnen Komponenten durch die Einstreuung von Quarzsand verändern. Dies stellt eine einfache Möglichkeit dar, die Beschichtungssysteme in ihren Eigenschaften zu verändern bzw. zu variieren. Bei wassergesättigten Proben kam es zu einem deutlichen Festigkeitsabfall von bis zu 70 %, mit dem in so einem großen Einfluss nicht gerechnet wurde. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Oberflächenschutzsysteme in den Wintermonaten schadensanfälliger sind, wenn durch den Eintrag von chloridhaltigen Wässern die Festigkeiten sinken. In weiteren Untersuchungen sollen daher an den Gesamtsystemen die Materialparameter bestimmt werden. Ein Teil der Proben wurde auf 100 °C erhitzt, sodass eine Nachvernetzung stattfinden sollte. Aufgrund der unterschiedlichen Kunststoffarten und unbekanntem Systembestandteilen der einzelnen Komponenten gelang dies nur bei einem Teil der Proben. Erwartet wurde bei diesen Proben im Vorfeld, dass die Festigkeiten sinken werden. Diese Vermutung konnte nur bei einem Teil der Proben bestätigt werden.

Tribologisch, in Kombination mit mikroskopischen Aufnahmen wurde der Verschleiß ebenfalls untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Oberflächenzerrüttung der maßgebende Versagensmechanismus ist. Deutlich zu erkennen waren z. T. die nur minimal applizierten Deckversiegelungen über die Quarzkörner, die auch verschleißbegünstigend wirkten.

Neben chloridhaltigen Wässern werden in einem Parkbau die Beschichtungssysteme weiterhin durch den Eintrag von Korund mechanisch angegriffen. In weiteren Untersuchungen sollte daher ein Augenmerk auf die äußeren Einflüsse wie Wasser und eingetragenen Korund gelegt werden. Im Nachhinein hat sich verglichen mit dem vorausgegangenem Forschungsvorhaben [11] der Parking Abrasion Test als die schneller zu prüfende Methode herausgestellt.

Literaturverzeichnis

- [1] DAfStb-Richtlinie "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen" (Instandsetzungsrichtlinie), Ausgabe Oktober 2001, Beuth
- [2] Wolff, L.: Zusammenfassung der wichtigsten Normen - Neufassung des Merkblatts "Parkhäuser und Tiefgaragen" des DBV, Beton, Oktober 2011
- [3] Krams, J.: Instandhaltung von Parkkonstruktionen, 6. GUEP Planertag, November 2011
- [4] Raupach, M.: Notwendigkeit und Dauerhaftigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen. Frankfurt: Landesgütegemeinschaft Betoninstandsetzung und Bauwerkserhaltung Hessen-Thüringen e.V., 2004. - In: Berichte vom 16. Baupraktischen Informations-Seminar Bauwerke instandsetzen heute und morgen, Bad Nauheim, 10. November 2004
- [5] Oster, S.; Schnell, J.: Zusammenhang von Rissbreiten und Rissflankenbruchneigung bei Industriefußböden, DBV Forschungsvorhaben 283, Fraunhofer IRB Verlag, 2012
- [6] Raupach, M.; Orłowsky, J.: Erhaltung von Betonbauwerken - Baustoffe und ihre Eigenschaften. Vieweg + Teubner, 2008
- [7] Bayer, E.: Parkhäuser - aber richtig. Ein Leitfaden für Bauherren, Architekten und Ingenieure. Verlag Bau + Technik, 2006
- [8] Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (DBV): DBV-Merkblatt "Parkhäuser und Tiefgaragen", Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin, 2010
- [9] Wolff, L.; Raupach, M.: Beschichtungsschäden - Schadensmechanismen und Lösungsansätze. 3. Kolloquium Verkehrsbauten, Schwerpunkt Parkhäuser/Brücken, Technische Akademie Esslingen, 29./30.01.2008, S. 313-324
- [10] DIN EN 1062-7:2004-08 Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 7: Bestimmung der rissüberbrückenden Eigenschaften
- [11] Breit, W.; Ladner, E.-M.; Krams, J.: Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen, Forschungsinitiative Zukunft Bau. Bd. 2954, Abschlussbericht, Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2015
- [12] Schnell, J.; Oster, S.; Casucci, D.: Systematische Erforschung der Rissflankenbruchneigung von befahrenen Industrieböden, Forschungsinitiative Zukunft Bau. Bd. 2921, Abschlussbericht, Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 2014

- [13] Ladner, E.-M.; Krams, J.; Breit, W.; Schulze, J.: Bestimmung des Verschleißes an Oberflächenschutzsystemen von Parkbauten - In: 3. Kolloquium Erhaltung von Bauwerken vom 22. -23. Januar 2013 in Esslingen, S. 177-183, Technische Akademie Esslingen, Esslingen, 2013
- [14] Ladner, E.-M.; Krams, J.; Breit, W.: Abrasion Test for Surface Protection Systems for Car Parks - In: Advances in Cement and Concrete Technology in Africa vom 28. -30. Januar 2013 in Johannesburg, Südafrika, S. 1073-1080, BAM Federal Institute for Materials Research and Testing, Berlin, 2013
- [15] DIN EN 1766:2000-03 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen
- [16] DIN EN 12350-5:2009-08 Prüfung von Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß
- [17] DIN EN 12350-7:2009-08 Prüfung von Frischbeton – Teil 7: Luftgehalt
- [18] DIN EN 12390-3:2009-07 Prüfung von Festbeton – Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [19] DIN EN ISO 527-2:2012-06 Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen
- [20] DIN EN ISO 527-1: 2012-06 Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 1: Allgemeine Grundsätze
- [21] Czichos, H. ; Habig, K.-H.: Tribologie-Handbuch: Tribometrie, Tribomaterialien, Tribotechnik. 4., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2015, Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015 (SpringerLink : Bücher)
- [22] DIN V 18026:2006-06 Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2
- [23] DIN EN 1504-2:2015-03 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken; Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton
- [24] DIN EN 1542:1999-07 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren – Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch
- [25] DIN EN ISO 13473-1:2004-07 Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen - Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe
- [26] DIN EN ISO 291:2008-08 Kunststoffe – Normalklimate für Konditionierung und Prüfung

- [27] ECE-R30, Regelungen für Luftreifen für Kraftfahrzeuge und Anhänger; Economic Commission for Europe

- [28] Schulz, R.-R.; Schmidt, T.; Hardt, R.: Baustellengerechte Laser-Profilmessverfahren für die Steuerung Eigenüberwachung der Oberflächentexturierung von Verkehrsflächen aus Beton, in: Straße und Autobahn, Oktober 2013

- [29] Ladner, E.-M.; Breit, W.; Krams, J.: Realitätsnahe Verschleißprüfverfahren für Beschichtungssysteme, Bautechnik 91 (2014), Heft 10, S. 711-719

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1 Skizze Anordnung Risse	12
Abbildung 3.2 Grundkörper vor der Betonage (links) und Detail Rissblech (rechts)	13
Abbildung 3.3 Einbau des Betons	14
Abbildung 3.4 Nivellieren und Glätten des Probekörpers	14
Abbildung 3.5 Glätten des Probekörpers (links) und fertiger Grundkörper (rechts)	14
Abbildung 3.6 Sandgestrahlter Betongrundkörper mit eingeleiteten Rissen	16
Abbildung 3.7 Detailaufnahme Riss mit Rissbreite 0,3 mm	16
Abbildung 3.8 OS 8-System ohne Rissbandage (links) und Einleitung der Risse (rechts).....	17
Abbildung 3.9: Markierung zur Überprüfung der Rissweite (links) und Abfräsen der Betonoberfläche (rechts).....	17
Abbildung 3.10: Applizieren (links) und Absanden (rechts) der Grundierung	17
Abbildung 3.11: Abgesandete Risse.....	18
Abbildung 3.12: Applikation des Flieses für die Rissbandage	18
Abbildung 3.13: Applikation der Rissbandage	18
Abbildung 3.14: Abstreuerung der Rissbandage(links) und Auftragung der Deckversiegelung (rechts)	19
Abbildung 3.15 Betongrundkörper vor dem Beschichten (links) und nach dem Grundieren (rechts)	20
Abbildung 3.16 Abgestreute Grundierung (links) und Schwimmschicht (rechts)	20
Abbildung 3.17 Abgestreute Verschleißschicht (links) und aufgebrauchte Deckversiegelung (rechts)	20
Abbildung 3.18 DAT mit PKW-Reifen.....	21
Abbildung 3.19 Messpunkte für Laser auf Probekörper	21
Abbildung 3.20 3-D-Bild einer Laseraufnahme zu Versuchsbeginn (0 Zyklen) mit Messpunkten	22
Abbildung 3.21: Darstellung der Messbereiche.....	22
Abbildung 3.22 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage A.....	23
Abbildung 3.23 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage B.....	23
Abbildung 3.24 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage A längs.....	24

Abbildung 3.25 Verschleißauswertung Probekörper I Rissbandage B längs.....	24
Abbildung 3.26 Verschleißauswertung Probekörper II Rissbandage A	26
Abbildung 3.27 Verschleißauswertung Probekörper II Rissbandage B	26
Abbildung 3.28 Verschleißauswertung Probekörper III Messbereich A	28
Abbildung 3.29 Verschleißauswertung Probekörper III Messbereich B	28
Abbildung 3.30 Dokumentation Loch Probekörper III	29
Abbildung 3.31 Verschleißauswertung OS 8 ohne Deckversiegelung.....	31
Abbildung 3.32 Verschleißauswertung OS 8 mit Deckversiegelung	31
Abbildung 3.33 Verschleißauswertung OS 11b ohne Deckversiegelung.....	32
Abbildung 3.34 Verschleißauswertung OS 11b mit Deckversiegelung.....	32
Abbildung 3.35 Verschleißauswertung OS 11.a1 ohne Deckversiegelung	37
Abbildung 3.36 Verschleißauswertung OS 11.a1 mit Deckversiegelung.....	37
Abbildung 3.37 Verschleißauswertung OS 11.a2 ohne Deckversiegelung	38
Abbildung 3.38 Verschleißauswertung OS 11.a2 mit Deckversiegelung.....	38
Abbildung 3.39 Verschleißauswertung Probekörper VI Rissbandage A.....	43
Abbildung 3.40 Verschleißauswertung Probekörper VI Rissbandage B	44
Abbildung 3.41 Verschleißauswertung Probekörper VII Messbereich A.....	46
Abbildung 3.42 Verschleißauswertung Probekörper VII Messbereich B.....	46
Abbildung 3.43 Zugprobe nach DIN EN ISO 527-2 [19].....	49
Abbildung 3.44 Eingespannte Zugprobe (links) und Kraft-Verlängerungsdiagramm (rechts).....	50
Abbildung 3.45 Typische Spannungs-/Dehnungskurven	51
Abbildung 3.46 Spannungs-Dehnungskurven der Zugproben bei Normalklima und einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min	52
Abbildung 3.47 Spannungs-Dehnungs-Verläufe um Dehnungsbereich von 0,05 % bis 0,15 %....	52
Abbildung 3.48 Zugfestigkeiten in Abhängigkeiten von der Lagerung bei einer Prüfgeschwindigkeit von 10 mm/min	53
Abbildung 3.49 Spannungs-Dehnungskurve in Abhängigkeit von der Quarzsandverfüllung (normalgelagert, Prüfgeschwindigkeit 10 mm/min - H ohne Quarzsandfüllung, K abgestreut und verfüllt, L abgestreut).....	55
Abbildung 3.50 Driving Abrasion Test	57

Abbildung 3.51 Verschleiß an einem Prüfkörper, geprüft mit dem Driving Abrasion Test.....	57
Abbildung 3.52 OS 11b-System vor Versuchsbeginn und nach 15.000 Zyklen	58
Abbildung 3.53 Detailaufnahme von Verschleißaufnahmen.....	59
Abbildung 3.54 Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus Driving Abrasion Test DAT	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1 Mischungszusammensetzung der Betongrundkörper	11
Tabelle 3.2 Frischbetonkennwerte.....	15
Tabelle 3.3 Festbetonkennwerte	15
Tabelle 3.4: Foto-Dokumentation Probekörper I	25
Tabelle 3.5 Foto-Dokumentation Probekörper II.....	27
Tabelle 3.6 Foto-Dokumentation Probekörper III.....	30
Tabelle 3.7 Foto-Dokumentation Probekörper IV (OS 8) ohne Deckversiegelung	33
Tabelle 3.8 Foto-Dokumentation Probekörper IV (OS 8) mit Deckversiegelung	34
Tabelle 3.9 Foto-Dokumentation Probekörper IV OS 11b mit Deckversiegelung.....	35
Tabelle 3.10 Foto-Dokumentation Probekörper IV OS 11b mit Deckversiegelung	36
Tabelle 3.11 Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a1 ohne Deckversiegelung.....	39
Tabelle 3.12 Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a1 mit Deckversiegelung.....	40
Tabelle 3.13: Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a2 ohne Deckversiegelung.....	41
Tabelle 3.14: Foto-Dokumentation Probekörper VI OS 11.a2 mit Deckversiegelung.....	42
Tabelle 3.15 Foto-Dokumentation Probekörper VI.....	45
Tabelle 3.16 Foto-Dokumentation Probekörper VII.....	47
Tabelle 3.17 Schadensbild Kornausfall.....	47
Tabelle 3.18 Übersicht Probekörper	49
Tabelle 3.19 Zugmodule	53
Tabelle 3.20 Zugfestigkeiten.....	54
Tabelle 3.21 Dehnung der Zugfestigkeit	54
Tabelle 3.22 Klassifizierung der Oberflächen nach der Verschleißbeanspruchung.....	66