

Wolfgang Breit, Eva-Maria Ladner, Jürgen Krams

**Nachweis der
Verschleißbeständigkeit von
Parkhausbeschichtungssystemen
unter realitätsnahen
Prüfbedingungen**

F 2954

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

2015

ISBN 978-3-8167-9469-1

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

Gottlieb-Daimler-Straße, Gebäude 60
67663 Kaiserslautern
Telefon: +49 631 205 22 97
Telefax: +49 631 205 31 01
E-Mail: wolfgang.breit@bauing.uni-kl.de
www.bauing.uni-kl.de/fw

BBR-Endbericht

SF-10.08.18.7-11.26 / II 3-F20-10-074

vom 12. Dezember 2014

Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit (TU Kaiserslautern)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Eva-Maria Ladner (TU Kaiserslautern)

Dipl.-Ing. Jürgen Krams (Bilfinger Construction GmbH)

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

(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7-11.26 / II 3 – F20-10-074)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Dieser Bericht umfasst 129 Seiten (inkl. Deckblatt).

Wiedergabe, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Fachgebiets Werkstoffe im Bauwesen der TU 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

Übersicht.....	5
1	Ausgangssituation 6
1.1	Allgemeines und Ziel 6
1.2	Forschungsverbund / Projektbegleitung / Beratergruppe 6
1.3	Ausgangsbasis 9
2	Aufbau des Forschungsvorhabens 10
2.1	Allgemein..... 10
2.2	Modul A 10
2.3	Modul B 10
2.4	Modul C 10
2.5	Modul D 10
2.6	Modul E 11
3	Durchführung und Ergebnisse der Module..... 12
3.1	Modul A 12
3.1.1	Allgemein..... 12
3.1.2	Normative Prüfmethode..... 14
3.1.3	Nicht normativ geregelte Prüfmethode..... 19
3.1.4	Bewertung 24
3.2	Modul B 27
3.2.1	Vorversuche zur Bestimmung der Einflussfaktoren während der Verschleißprüfung 27
3.2.2	Herstellung der Probekörper..... 28
3.2.3	Begutachtung und Bewertung der Beschichtungssysteme nach der Prüfung..... 32
3.3	Modul C 38
3.4	Modul D 44
3.4.1	Allgemein..... 44
3.4.2	Aufbau Oberflächenschutzsysteme 44

3.4.3	Herstellung der Probekörper	48
3.4.4	Versuchsdurchführung.....	59
3.4.5	Messverfahren zur Bestimmung des Verschleißes	60
3.4.6	Auswertung	63
3.4.7	Bewertung der Prüfergebnisse	68
3.4.8	Bewertung der Prüfverfahren.....	70
3.4.9	Bewertung der zerstörungsfreien Messtechnik	71
3.4.10	Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse.....	71
3.5	Modul E	72
3.5.1	Allgemein.....	72
3.5.2	Einleitung.....	72
3.5.3	Anwendungsbereich	72
3.5.4	Normative Verweisungen.....	72
3.5.5	Definitionen	73
3.5.6	Prinzip	74
3.5.7	Geräte und Prüfmittel.....	74
3.5.8	Probekörper.....	75
3.5.9	Durchführung der Prüfungen	77
3.5.10	Beurteilung	77
3.5.11	Prüfbericht.....	80
4	Fazit und Ausblick	81
	Tabellenverzeichnis.....	82
	Abbildungsverzeichnis.....	84
	Literaturverzeichnis	89
	Normenverzeichnis.....	91
	Anhang zum Forschungsbericht	93

Übersicht

BBR-Bericht:	SF-10.08.18.7-11.26 / II 3-F20-10-074
Titel :	Nachweis der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen unter realitätsnahen Prüfbedingungen
Auftraggeber:	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) Zukunft BAU Deichmanns Aue 31-37 D-53179 Bonn
Auftraggeber, vertreten durch:	Herr Steffen Kisseler
Projektleiter:	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit (TU Kaiserslautern)
Sachbearbeiterin:	Dipl.-Ing. Eva-Maria Ladner (TU Kaiserslautern) Dipl.-Ing. Jürgen Krams (Bilfinger Construction GmbH)
Interne Forschungsnummer:	F232-9201529
Ausgestellt am:	12.12.2014
Berichtsumfang:	129 Seiten

1 Ausgangssituation

1.1 Allgemeines und Ziel

Das Beschichten von Betonbauteilen ist seit Jahrzehnten ein allgemein anerkanntes Verfahren und Bestandteil verschiedener Regelwerke [1]. Ziel ist beispielsweise die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Konstruktion oder die Erhöhung des Verschleißwiderstands. In der Praxis können bei Beschichtungen verschiedene Schadensbilder auftreten, die die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks sowie dessen Dauerhaftigkeit einschränken. Die Einflussfaktoren der Schäden ergeben sich aus der Bauteilnutzung, aus den Umgebungsbedingungen sowie aus den Materialeigenschaften.

Die schärfste und im Wesentlichen die Dauerhaftigkeit beschränkende Beanspruchung einer befahrbaren Beschichtung in einem Parkbau ist typischerweise die Verschleißbeanspruchung durch den Fahr- und Parkbetrieb. Die Prüfung der Abriebfestigkeit von befahrenen Beschichtungen erfolgt zurzeit mit Verfahren, die die tatsächliche Beanspruchung derartiger Beschichtungen in Parkbauten nicht annähernd realitätsnah simulieren. Dies wird auch an zahlreichen Beispielen von schadhafte Parkhausbeschichtungen deutlich [2-6]. Es besteht daher dringender Bedarf nach einem wesentlich praxisnäheren Prüfverfahren.

Aufgrund hoher mechanischer und chemischer Einwirkungen gehören Parkhäuser und Tiefgaragen zu den hochbeanspruchten Bauten. Die Anforderungen an Konstruktion und Instandsetzung sind vergleichbar mit denen von Brückenbauten. Hauptsächlich beansprucht die mechanische Belastung durch die Befahrung mit PKWs die Betonkonstruktion. Jedoch stellt auch das im Winter eingetragene Chlorid eine erhebliche Gefahr für die Bewehrung dar. Aufgrund dieser Beanspruchungen wird der Betonuntergrund mit einem Oberflächenschutzsystem beschichtet, um dieses vor schädlichen Einflüssen zu schützen.

Die Forschungsaufgabe hat das Ziel, zunächst ein geeignetes Prüfverfahren für die Verschleißprüfung zu entwickeln und zu verifizieren. Dabei sollen vor allem zerstörungsfreie Verschleißmessungen verwendet werden. Ausgewählt wurden hierzu die Methoden einer magnetisch-induktiven Messung mittels Schichtdickenmessgerät und eine laserbasierte Messtechnik.

1.2 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

Dr.-Ing. Jörg-Peter Wagner
Dipl.-Ing. Jürgen Krams

Bilfinger Construction GmbH
Zentrales Labor für Baustofftechnik
Diffenéstraße 14
D-68169 Mannheim

Das Projekt wurde seitens des BBR begleitet von:

Dipl.-Ing. Steffen Kisseler

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)
Zukunft BAU
Deichmanns Aue 31-37
D-53179 Bonn

Beratend waren an dem Projekt beteiligt:

Prof. Dipl.-Ing. Claus Flohrer

HOCHTIEF Solutions AG
Consult Materials
Farmstr. 91-97
D-64546 Mörfelden-Walldorf

Dr. Turgay Öztürk
Benjamin Stoehr

StoCretec GmbH
Gutenbergstraße 6
D-65830 Kriftel

Dr. Inga Hohberg

Deutsche Bauchemie e.V.
Mainzer Landstr. 55
60329 Frankfurt a.M.

Dr.-Ing. Björn Siebert

Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V.
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin

1.3 Ausgangsbasis

Im Allgemeinen werden Parkbauten als Hochbauten aufgefasst [7, 8]. 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) zulässig [4, 6].

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.

Der normgemäße Nachweis [N6-N9] erfolgt derzeit anhand der Bestimmung des Abriebwiderstands mit Prüfverfahren, die aus dem Bereich textiler Bodenbeläge bzw. Estriche entliehen sind. Die grundsätzliche Eignung eines Oberflächenschutzsystems, das den o. g. Beanspruchungen ausgesetzt ist, kann jedoch mit den jetzigen Prüfverfahren nicht nachgewiesen werden. Dies liegt daran, dass zum einen die zu prüfenden Proben wesentlich vom vorgegebenen Aufbau des zugehörigen allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses abweichen und die im Rahmen der Prüfung angesetzten Beanspruchungen im Vergleich zur Praxis deutlich geringer sind. Dies führt in der Praxis häufig schon nach kurzer Nutzungszeit zu erheblichen Schäden [2-6].

Um die notwendige Anwendungssicherheit zu schaffen, ist es erforderlich, ein Prüfverfahren zu qualifizieren, das in der Lage ist Oberflächenschutzsysteme für den Anwendungsfall "befahrene Parkdecks" zielsicher zu bewerten.

2 Aufbau des Forschungsvorhabens

2.1 Allgemein

Das Forschungsvorhaben ist in fünf verschiedene Module eingeteilt und besteht aus theoretischen sowie praktischen Teilen. Die einzelnen Module bauen aufeinander auf und münden in der Erstellung einer Normvorlage.

2.2 Modul A

Zusammenstellung und Bewertung der genormten Prüfverfahren

Die aktuell zur Anwendung kommenden genormten Prüfverfahren wurden zusammengestellt und hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz (z. B. Belastungsverhältnisse) bewertet. Ebenfalls sind weitere nicht normativ geregelte Prüfverfahren dargestellt.

2.3 Modul B

Auswertung vorhandener Ergebnisse mit dem Parking Abrasion Test (PAT)

In Modul B erfolgte die Auswertung der vorhandenen Prüfergebnisse mit dem Parking Abrasion Test (PAT). Die Versuche dazu wurden seitens des Forschungspartners Bilfinger Construction GmbH im Vorfeld durchgeführt. Bereits untersuchte Variationsparameter im Versuchsablauf oder der Versuchsdurchführung wurden mit in die Datenbasis für die Festlegung der Rand-/ Prüfbedingungen für das praxisnahe Prüfverfahren aufgenommen.

2.4 Modul C

Durchführung von FE-basierten Parameterstudien

Anhand von FE-basierten Parameterstudien wurde eine Abschätzung über den Einfluss der Parameter Beschichtungsaufbau, Materialzusammensetzung und Beanspruchung vorgenommen und deren Auswirkungen auf die Prüfung untersucht.

2.5 Modul D

Durchführung von Verschleißversuchen und Abgleich mit den Ergebnissen der Module A, B und C

Auf der Basis der Ergebnisse der Module A, B und C und der dort erarbeiteten wesentlichen Prüfeinflüsse wurden sowohl mit dem PAT wie auch dem Driving Abrasion Test (DAT) Versuche an Oberflächenschutzsystemen durchgeführt. Die Vorarbeiten in den Modulen A, B und C dienten dazu, den Versuchsaufwand im Modul D auf ein notwendiges Minimum zu beschränken. Ferner wurden anhand der durchgeführten Untersuchungen geeignete Kriterien für die Versuchsauswertung erarbeitet.

Modul D bildete den Schwerpunkt des Forschungsvorhabens, da in diesem Modul die Durchführung der praktischen Versuche enthalten war. Hierzu zählten im Einzelnen folgende Positionen:

- Vorbereiten des Versuchsstands unter Berücksichtigung der ermittelten

Einflussparameter

- Auswahl der Oberflächenschutzsysteme in Zusammenarbeit mit den betroffenen Kreisen (Hersteller, Ausführende)
- Vorbereitung der zu untersuchenden Proben
- Durchführung der Untersuchungen
- Auswertung der Untersuchungen
- Bewertung der Untersuchungen

2.6 Modul E

Erarbeitung eines Prüfkonzeptes als Normvorlage

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 Durchführung und Ergebnisse der Module

3.1 Modul A

3.1.1 Allgemein

Die Dauerhaftigkeit und/oder den Abriebwiderstand von Bauwerken soll durch Oberflächenschutzsysteme garantiert bzw. erhöht werden. In der Praxis können verschiedene Schadenssymptome beobachtet werden, die den Gebrauch und die Dauerhaftigkeit von Bauwerken einschränken. Die Schadensursachen resultieren sowohl aus mechanischen als auch chemischen Einwirkungen. Die Dauerhaftigkeit von befahrbaren Oberflächenschutzsystemen in Parkhäusern sicherzustellen und zu erhalten stellt dabei eine besonders hohe Herausforderung dar. Dort werden durch den Fahrbetrieb und insbesondere das Einparken hohe mechanische Belastungen auf das Oberflächenschutzsystem ausgeübt. Typische Schäden bzw. Abnutzungserscheinungen von Oberflächenschutzsystemen, wie sie in Bereichen von Rampen und Kurven entstehen, sind in Abbildung 1 gezeigt.



Abbildung 1: Verschleiß von Oberflächenschutzsystemen im Bereich von Rampen und Kurven in einem Parkhaus

Bei der Ausführung von Parkdecks stehen entsprechend dem DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“ [8] für die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit im Sinne von [N1-N4] drei Varianten zur Verfügung, die in Abbildung 2 dargestellt sind. Das Ziel aller Varianten ist das Fernhalten schädlicher Medien (Tausalze etc.) von der Bewehrung. Die Ausführungsvarianten von befahrbaren tragenden Konstruktionen sind im Wesentlichen abhängig von der Rissbeherrschung. Für Variante 1 gelten hohe Anforderungen an die Dichte des Betons und die Betonüberdeckung (Expositionsklasse XD3). Bei einer Bauweise mit Rissen (Variante 1a) reichen betontechnologische Maßnahmen alleine nicht aus, um die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Zusätzliche Maßnahmen sind gegen das Eindringen von Chloriden in das Bauteil in gerissenen Bereichen notwendig. Rissvermeidend können Systeme in Einfeldbauweise oder mit Vorspannung ausgeführt werden (Variante 1b). Wird

ein flächiger Oberflächenschutz als Entwurfsgrundsatz gewählt (Variante 2), kann die Expositionsklasse von XD3 auf XD1 und ggf. die Betondeckung (abhängig von den Wartungsintervallen) reduziert werden. Bei Ausführungsvariante 3 wird eine flächige, bituminöse Abdichtung aufgebracht, welche dauerhaft und rissüberbrückend ist. Hier gelten nur noch die Anforderungen der Expositionsklasse XC3.

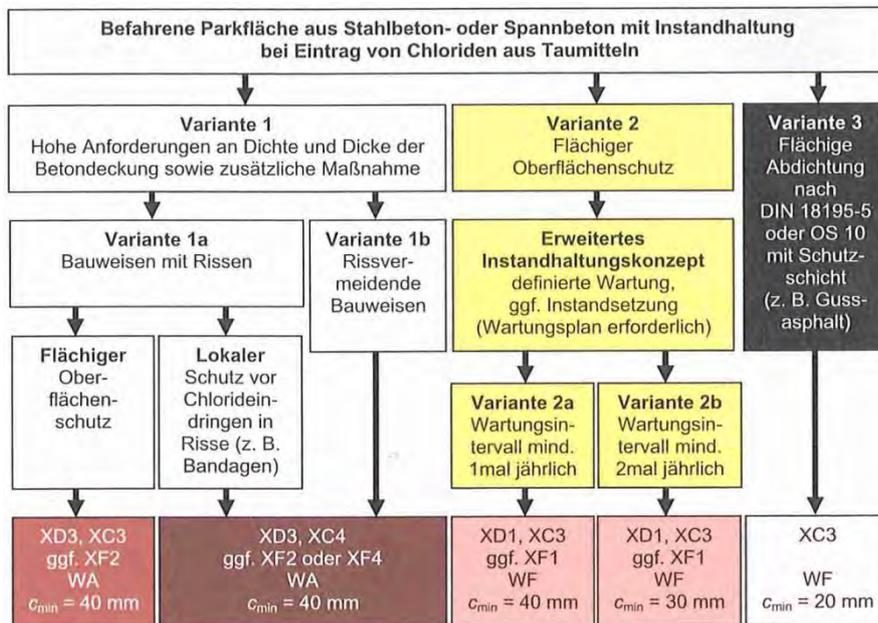


Abbildung 2: Ausführungsvarianten für Parkdecks nach [8]

In der Praxis werden in Parkbauten neben bituminösen Fahrbelägen (Ausführungsvariante 3) üblicherweise reaktionsharzgebundene Beschichtungssysteme auf die von den Fahrzeugen genutzten Flächen aufgebracht (Ausführungsvariante 2). Der Eintrag von Tausalzen in die Konstruktion wird dadurch verhindert und Korrosionsschäden, die die Tragfähigkeit der Konstruktion beeinträchtigen könnten, vermieden.

Die verwendeten Beschichtungssysteme sind dabei hohen Beanspruchungen ausgesetzt wie z. B.:

- mechanischen Beanspruchungen aus Fahrzeugverkehr,
- Feuchtigkeitseinwirkungen, z. T. in Verbindung mit chemischen Medien wie Tausalzen oder Tropfleckagen wie Ölen, Kraftstoff etc. aus Fahrzeugen,
- Temperaturbeanspruchungen, die tages- und jahreszeitlich bedingt sind,
- UV Strahlung, die den Alterungsprozess insbesondere bei freibewitterten Parkdecks beschleunigt.

Für die Ausführungsvariante 2 werden i. d. R. kunstharzgebundene Beschichtungssysteme nach [N5, N12] verwendet.

Die derzeit genormten Prüfverfahren zum Nachweis einer ausreichenden Verschleißbeständigkeit von Beschichtungssystemen sind dem Estrich- und Bodenbelagsbereich entliehen [N6-N11]. Eine praxisgerechte Simulation der tatsächlichen Verschleißbeanspruchung an Beschichtungssystemen ist mit diesen, in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen, Prüfverfahren nicht möglich. Bis Ende 2008 waren die „Stuttgarter Prüfung“ und das Taber Abriebverfahren, das BCA (British Cement Association)- oder RWA (Rolling Wheel Abrasion)-Verfahren anzuwenden. Seit dem 01.01.2009 ist nach DIN V 18026 [N5] die Abriebfestigkeit nach DIN EN ISO 5470-1 [N6] (Taber Abriebverfahren) zu bestimmen sowie zusätzlich entweder das BCA- oder RWA -Verfahren anzuwenden. Die auf dem Markt befindlichen Oberflächenschutzsysteme sind nach der „Stuttgarter Prüfung“ und einem weiteren Prüfverfahren geprüft worden.

Eine weitere Problematik besteht darin, dass die Funktionalität von rissüberbrückungsfähigen Oberflächenschutzsystemen nach einem Abtrag der Deckversiegelung nicht gewährleistet werden kann. Demnach ist ein Schichtdickenabtrag nur bei der Deckschicht zulässig, sodass die Mindestschichtdicke der hwO (hauptsächlich wirksame Oberflächenschutzschicht) und somit auch die Funktionalität des Systems gewährleistet bleibt [9].

Im Rahmen des Versuchsprogramms wurden zunächst normative und nicht geregelte Prüfmethoden zur Verschleißbestimmung auf ihre Eignung für das vorliegende Projekt untersucht und bewertet.

3.1.2 Normative Prüfmethode

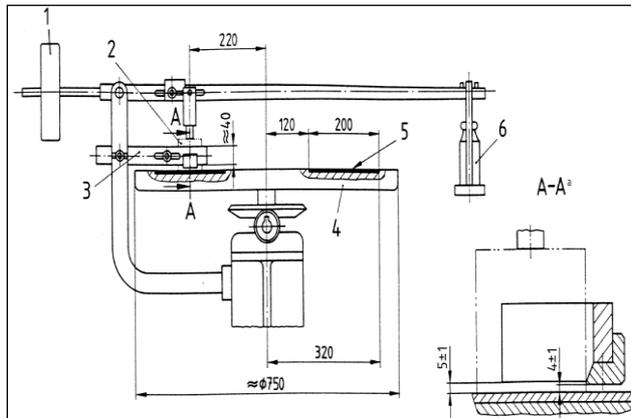
3.1.2.1 Verschleißwiderstand nach Böhme

Die Prüfung des Verschleißwiderstandes nach Böhme erfolgt nach DIN EN 13892-3 [N7] und dient der Bestimmung des Verschleißwiderstandes von Zementestrichen. Das Prinzip dieser Verschleißprüfung besteht darin, dass vorgefertigte Prüfkörper in einer Einspannvorrichtung auf eine mit Norm-Schleifmittel bestreute Schleifbahn der Verschleiß-Prüfmaschine nach Böhme gedrückt werden, wodurch Verschleiß an der Unterseite des Prüfkörpers entsteht. Besonders geeignet ist dieses Verfahren für die Hartstoffschicht von Estrichmassen, es können aber auch andere Estrichmassen und Estrichmörtel geprüft werden. Für die Prüfung von Kunstharzestrichmörtel eignet sich dieses Verfahren jedoch nicht.

Aufbau des Prüfgerätes:

Die Prüfvorrichtung (Abbildung 3) besteht aus einer Drehscheibe, einer Haltevorrichtung für den Probekörper und einer Belastungseinrichtung. Der Drehtisch besitzt eine Schleifbahn, auf der Schleifmittel aufgenommen werden kann. Diese hat einen Durchmesser von etwa 750 mm. Am Drehtisch ist ein Drehzahlmessgerät angebracht, das auf die gewünschte Anzahl Umdrehungen eingestellt werden kann und den Drehtisch mit Erreichen der vorgegebenen Umdrehungen anhält. Für die Prüfung sind 22 Umdrehungen mit einer Drehzahl von 30 Umdrehungen pro Minute vorgesehen. Die Belastungseinrichtung besteht aus einem zweiarmigen Hebel, der frei drehbar und möglichst reibungsarm gelagert sein muss. An einem Arm wird ein Belastungsgewicht angeordnet, am anderen Arm ein Gegengewicht. Die aufgebrachte Last beträgt 294 N, was einer Druckbeanspruchung von etwa 0,06 N/mm² entspricht. Die Messung der Verschleißtiefe erfolgt über eine Messuhr an

neun markierten Messstellen. Als Probekörper werden drei nach DIN EN 13892-1 [N8] hergestellte Prüfkörper verwendet.



- 1 Gegengewicht
- 2 Prüfkörper
- 3 Haltevorrichtung für den Prüfkörper
- 4 Drehscheibe
- 5 Schleifbahn
- 6 Belastungsgewicht

Abbildung 3: Verschleißprüfmaschine nach Böhme aus [N7]

Durchführung der Prüfung:

Vor Beginn der Prüfung wird die Dichte jedes Probekörpers durch genaues Messen und Wiegen bestimmt. Auf die Schleifbahn werden 20 g des Norm-Schleifmittels gleichmäßig aufgebracht. Der Prüfkörper wird in der Halterung positioniert und mittig mit der vorgegebenen Last belastet. Der Probekörper durchläuft insgesamt 16 Zyklen à 22 Umdrehungen. Nach jedem Zyklus werden der Drehtisch sowie der Probekörper gereinigt. Die Berührungsfläche des Probekörpers wird zudem Sichtprüfungen unterzogen. Dann wird der Prüfkörper um 90° gedreht und ein neuer Zyklus gestartet. Nach Durchlaufen aller 16 Zyklen werden die Prüfkörper erneut vermessen und gewogen. Die Ergebnisse der Verschleißprüfung werden nach 16 Zyklen als Volumenverlust ΔV angegeben.

3.1.2.2 Verschleißwiderstand nach BCA

In DIN EN 13892-4 [N9] ist das Verfahren zur Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach BCA geregelt. Dieses Verfahren ist für Prüfkörper aus Zement und Kunstharz geeignet. Es kann sowohl an entnommenen oder vorgefertigten Proben als auch an bereits verlegten Estrichen durchgeführt werden. Das Prinzip der Prüfung besteht darin, dass die Probekörper mit Stahlrädern überfahren werden und durch die Auflast ein Verschleiß auf den Probekörpern erzeugt wird. Die Verschleißtiefe wird am Probekörper gemessen und anhand der Mittelwerte kann der Verschleißwiderstand des Probekörpers bestimmt werden.

Aufbau des Prüfgerätes:

Das Prüfgerät (Abbildung 4) besteht aus einer runden Stahlplatte mit einem Durchmesser von 225 mm, an deren Unterseite drei gehärtete Stahlräder montiert sind. Sie können sich frei auf dem Kreisdurchmesser bewegen, sind jedoch nicht frei beweglich in ihrer vertikalen Achse. Der Abriebkopf, bestehend aus Stahlplatte und Stahlrädern, wird über eine Antriebswelle mit einem Motor angetrieben. Der Motor lässt den Abriebkopf mit einer Geschwindigkeit von 180 Umdrehungen pro Minute rotieren. Die Prüfdauer für die (2850 ± 10) Umdrehungen beträgt etwa 15 Minuten. Die Auflast auf die Stahlräder beträgt 650 N. Zur Messung der Verschleißtiefe dient ein Tiefenmessgerät, das eine Genauigkeit von 10 μm besitzt. Als Prüfkörper werden drei quadratische Materialproben mit 500 mm Kantenlänge und 50 mm Dicke verwendet.

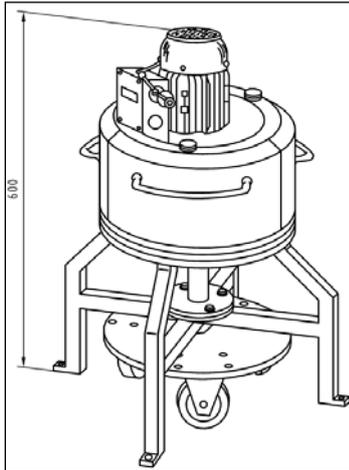


Abbildung 4: BCA Abriebprüfgerät aus [N9]

Durchführung der Prüfung:

Vor Beginn der Prüfung wird mittels Tiefenmessgerät an jedem Messpunkt die Ausgangstiefe bestimmt. Aus diesen Messergebnissen wird ein Mittelwert gebildet, der zum späteren Vergleich mit den Tiefenwerten nach der Prüfung dient. Die Prüfung endet nach 2850 Umdrehungen. Nach Vollendung der Umdrehungen ist das Prüfgerät zu entfernen und die Oberfläche von Abriebschmutz zu reinigen. Das Tiefenmessgerät wird der Reihe nach auf jeden der acht Messpunkte gestellt und die Werte sind auf 10 µm genau abzulesen und zu protokollieren. Daraus lässt sich der mittlere Verschleiß berechnen.

3.1.2.3 Widerstand gegen Rollbeanspruchung

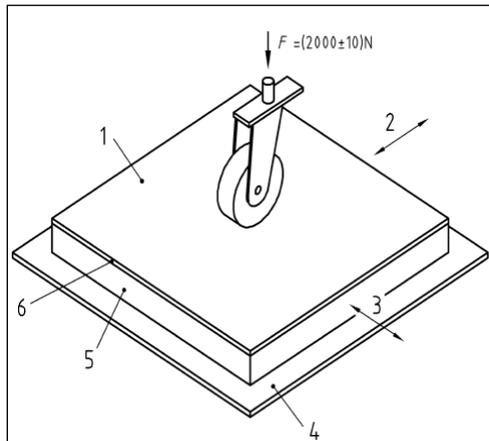
Die Bestimmung des Widerstandes gegen Rollbeanspruchung von Estrichen für Nuttschichten wird in DIN EN 13892-5 [N10] normativ geregelt. Dieses Prüfverfahren eignet sich für Probekörper aus Estrichmörtel, Estrichmassen für Nuttschichten, Zementestrichmörtel und Kunstharzestrichmörtel. Geprüft werden hierbei in Formen hergestellte Probekörper, die unter Laufrädern belastet werden. Bei dieser Prüfung wird der Abriebwiderstand durch die Änderung des Oberflächenprofils bestimmt.

Aufbau des Prüfgerätes:

Die Prüfmaschine (Abbildung 5) besteht aus einem Aufлагertisch und einem Laufrad. Der Aufлагertisch hat die Abmessungen 70 cm x 80 cm. Die Bewegungen des Laufrades und des Aufлагertisches erfolgen senkrecht zueinander mit unterschiedlichen Frequenzen, so dass im Estrichmörtel Schub- und Scherspannungen entstehen.

Das Laufrad besteht aus solidem Einsatzstahl und ist frei beweglich um die Gabelachse, die mit einer aufgebrachtten Gesamtlast von 2000 N belastet wird. Ein weiterer Bestandteil der Prüfmaschine ist eine Saugvorrichtung zum Entfernen des Abriebmaterials. Mittels einer stählernen Messbrücke, die über fünf Haltepositionen verfügt, kann der Tiefensensor zur Bestimmung der Abriebtiefe angebracht werden. Die Prüfung wird anhand von drei Probekörpern durchgeführt, die nach DIN EN 13892-1 [N8] hergestellt werden. Als Probekörper dienen hierbei quadratische Platten mit einer Kantenlänge von mindestens 500 mm und einer Dicke von mindestens 50 mm. Eignet sich der Estrichmörtel nicht zur

Herstellung von Probekörpern mit der vorgesehenen Dicke, so ist der Mörtel auf einen geeigneten Betonuntergrund aufzubringen.



- 1 Probekörper
- 2 Querbewegung
- 3 Längsbewegung
- 4 Auflagertisch

Abbildung 5: Aufbau RWA-Prüfung aus [N10]

Durchführung der Prüfung:

Vor Beginn der Prüfung wird die Messbrücke auf dem Probekörper angeordnet und an allen fünf Messpunkten die Tiefe gemessen. Die Prüfdauer beträgt 10.000 Zyklen, woraus sich eine Versuchsdauer von etwa 24 Stunden ergibt. Treten größere Schäden an der Oberfläche auf oder wird die Betonunterlage erreicht, so ist die Prüfung vorzeitig beendet. Die Anzahl der erzielten Überlaufzyklen wird bei vorzeitigem Prüfungsende protokolliert und die Prüfung mit „nicht bestanden“ bewertet. Nach Erreichen des regulären Prüfumfangs von 10.000 Zyklen wird die Messbrücke aufgebracht und an den markierten Stellen erneut die Profiltiefe gemessen. Dabei wird für jeden Messpunkt die Abriebtiefe als Differenz der beiden Ablesungen berechnet. Daraus wird die mittlere Abriebtiefe als Ergebnis der Prüfung bestimmt. Für jeden Probekörper ist ein RWA-Wert zu errechnen. Aus allen drei Probekörpern wird dann ein Mittelwert bezogen auf eine abgeriebene Fläche von 1100 cm², errechnet. Dieser Mittelwert bezeichnet das Ergebnis für die Materialprobe.

3.1.2.3 Stuttgarter Prüfung

Die Stuttgarter Prüfung dient zur Ermittlung des Verschleißverhaltens elastischer Bodenbeläge. In DIN EN 660-1 [N11] sind sowohl die Herstellung der Probekörper als auch der Aufbau des Prüfgerätes und die Durchführung der Prüfung normativ geregelt. Mit der Stuttgarter Prüfung lassen sich bei Polyvinylchlorid-Bodenbelägen die Nutzschichten auf deren Verschleißverhalten überprüfen. Das Prinzip der Stuttgarter Prüfung beruht darauf, dass durch den Einsatz von speziellem Schleifpapier, Stahlstiften und einer Schuhsohle die Dreh-Schlupf-Bewegungen, die durch das Überlaufen mit Schuhwerk entstehen, simuliert werden.

Aufbau des Prüfgerätes:

Das Prüfgerät (Abbildung 6) setzt sich aus einem horizontal beweglichen Rolltisch, der einen Hubweg von 106 mm hat und je Minute 40 Doppelhübe ausführt, zusammen. Auf dem Rolltisch ist ein Drehteller mit einer Probeneinspannvorrichtung montiert der 4,0 Umdrehungen pro Minute ausführt. An einem seitlich angebrachten Ständer wird mittels eines Walzenlagers ein etwa 170 N schweres Pendel angebracht. Dieses Pendel besitzt

zwei schwenkbare Segmente (Schleifsegment und Walksegment), die auf der Unterseite zylindrisch geformt sind. Die Segmente haben einen Radius von 225 mm. Auf der Unterseite des Schleifsegments ist eine Ledersohle befestigt über die auch Schleifpapier gespannt werden kann. Ein zweites Walzenlager sorgt dafür, dass die Bewegung des Rolltischs mit der Bewegung des Pendels verbunden wird. Weiterhin werden ein Staubsauger und ein Gebläse benötigt, um entstandenes Abriebmaterial vom Probekörper zu entfernen. Abbildung 6 zeigt den schematischen Aufbau der Prüfvorrichtung.

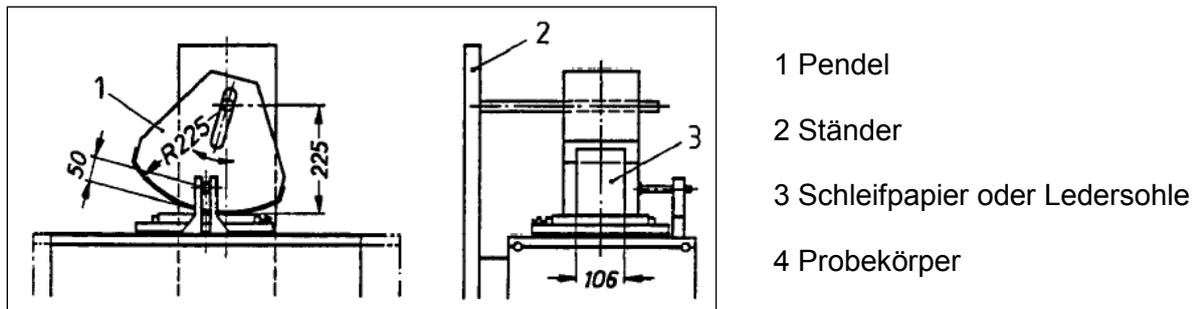


Abbildung 6: Aufbau der Stuttgarter Prüfung aus [N11]

Durchführung der Prüfung:

Vor der Prüfung werden zunächst die aufgeraute Ledersohle und das Schleifpapier auf das Walksegment aufgebracht. Es werden drei Probekörper mit einer Kantenlänge von 200 mm aus dem zu prüfenden Material entnommen und deren Dichte bestimmt. Daraus ergibt sich die Ausgangsmasse m_1 . Die Verschleißprüfung wird in Zyklen durchgeführt. Jeder Zyklus besteht aus einer Eindrucksbeanspruchung durch das Nagelbrett, einer Verschleißbeanspruchung mit Schleifpapier und einer Walkbeanspruchung mit der Ledersohle. Jeder Probekörper durchläuft diesen Zyklus 20-mal bis er endgültig gesäubert wird. Nach erfolgter Prüfung werden die Probekörper bis zur Gewichtskonstanz unter Normalklima gelagert und dann gewogen, um die Endmasse m_2 zu ermitteln.

Als Ergebnis des Versuchs erhält man auf dem Probekörper eine kreisrunde Abriebfläche von etwa 150 cm^2 , anhand derer der Dickenverlust festgestellt werden kann. Dabei wird der Massenverlust Δm bestimmt.

3.1.2.4 Taber-Abriebprüfgerät

Das Taber-Abriebprüfgerät nach DIN EN ISO 5470-1 [N6] wird verwendet, um den Abriebwiderstand von beschichteten Textilien zu bestimmen. Zur Präzision des Prüfverfahrens liegen bisher keine Ergebnisse aus Ringversuchen vor, so dass darüber keine Aussagen getroffen werden können. Es ist jedoch zu vermuten, dass aufgrund der vielen Parameter die genauestens eingehalten werden müssen, wie z. B. die Abstände der einzelnen Bauteile, sowie die Anbringung der Gegengewichte, die Abweichungen in den Prüfergebnissen relativ hoch ausfallen werden.

Aufbau des Prüfgerätes:

Das Abriebprüfgerät (Abbildung 7) besteht aus einem kompakten Gehäuse besitzt, einem ebenen runden Probekörperteller und einem Paar Schwenkarme, an denen jeweils ein Reibrad angebracht ist. Ein Reibrad bezeichnet hierbei eine kleine Schleifscheibe oder eine Walze, die mit Schleifpapier versehen ist. Weiterhin gehören zum Prüfgerät ein Motor, ein

Zählwerk, das es ermöglicht die Maschine nach einer gewissen Anzahl an Umdrehung wieder anzuhalt, sowie eine Absaugeinrichtung. Die Reibräder befinden sich an den freien Enden der Schwenkarme. Dabei liegen sie auf der Oberfläche des Probekörpers auf und drehen sich durch die entstehende Reibung zwischen ihnen und dem rotierenden Probekörper in entgegengesetzte Richtungen. Der Probekörper wird in der Mitte des Drehtellers mittels einer Gewindeachse mit Nut und Unterlegscheibe befestigt. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau der Prüfeinrichtung, sowie die Stellung der Reibräder.

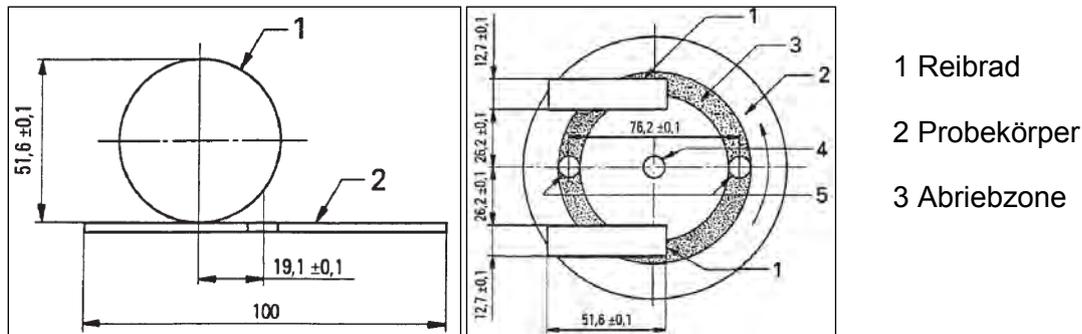


Abbildung 7: Aufbau Taber-Abriebprüfgerät aus [N6]

Durchführung der Prüfung:

Vor der Prüfung wird jeder Probekörper auf 1 mg genau gewogen und anschließend mit Hilfe von doppelseitigem Klebeband auf dem Drehteller befestigt. Das Schleifpapier wird mit geeignetem Klebstoff auf den Reibrädern befestigt und ist im Abstand von 500 Zyklen zu ersetzen. Liegt keine Spezifikation vor, die die Anzahl der Zyklen bestimmt, so gilt für den Endpunkt, dass dieser eintritt, sobald eine hohe Farbänderung des abgeriebenen Anteils eintritt, oder das Trägermaterial oder die aufgeschäumte Schicht freigelegt wird. Berechnet wird der Masseverlust nach je 100 Zyklen.

3.1.3 Nicht normativ geregelte Prüfmethode

3.1.3.1 Aachener-Ravelling-Tester (ARTE)

Das Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen hat einen speziellen Prüfstand entwickelt, mit dem der Widerstand gegen Kornausbrüche offenporiger Asphalte geprüft werden kann [10]. Das Prinzip besteht darin, dass ein eingespannter Probekörper, der auf einem verfahrbaren Schlitten angebracht ist, gleichzeitig einer translatorischen und einer rotatorischen Bewegung ausgesetzt wird. Dabei wird die Translation durch den verfahrbaren Schlitten und die Rotation durch zwei belastete PKW-Reifen ausgeführt.

Aufbau und Durchführung der Prüfung:

Das Prüfgerät (Abbildung 8) besteht aus einem horizontal verfahrbaren Schlitten mit einer Vertiefung, in die entweder zwei Probekörper mit den Maßen 26 cm x 32 cm eingesetzt werden können oder ein Probekörper mit den Maßen 54 cm x 32 cm. Dieser bewegliche Schlitten führt eine ständige translatorische Bewegung in horizontaler Richtung aus. Über dem beweglichen Schlitten befindet sich eine Halterung, in der zwei PKW-Reifen über eine feste vertikale Achse eingespannt sind. Diese Halterung ist am Boden befestigt und nicht mit dem Schlitten verbunden, dadurch laufen die translatorischen und rotatorischen Bewegungen unabhängig voneinander ab. Die beiden Reifen bewegen sich auf einer

Kreisbahn und sind mit einer Auflast von 2000 N belastet. Durch die gleichzeitige horizontale Bewegung des Schlittens und der Rotation der Reifen entstehen in der Kontaktzone zwischen Reifen und Probekörper hohe Schubkräfte, vergleichbar mit Kurvenfahrten oder Brems- und Beschleunigungsvorgängen. Die Prüfdauer beträgt 90 min. Nach der Prüfung erfolgt die Auswertung über die Bestimmung des Masseverlustes oder durch vergleichende 3D-Textur-Messungen.

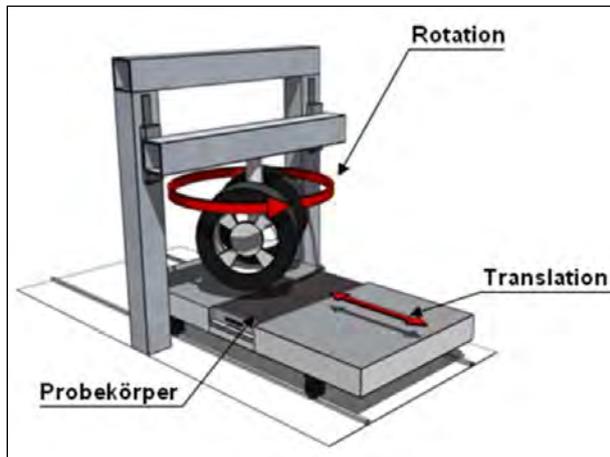


Abbildung 8: Aufbau des Aachener-Ravelling-Tester aus [10]

3.1.3.2 Bottroper Rad

In den 80er Jahren wurde an der Hochschule in Bottrop ein Prüfgerät entwickelt, mit dem die Verschleißbeanspruchung von Estrichen im Industriebau durch Flurförderfahrzeuge simuliert werden kann [11]. Es wurde speziell für beschichtete Zementestriche entwickelt und kann zudem eingesetzt werden um den Einfluss von Bremsvorgängen darzustellen.

Aufbau des Prüfgerätes:

Das Prüfgerät (Abbildung 9 und Abbildung 10) besteht aus einem großen Ring, in den der Zementestrich eingebaut wird sowie einer Belastungsklammer, die sowohl die Auflast als auch die Bremsvorgänge steuert. Der Ring mit dem Probekörper liegt auf drei Schwerlastrollen auf, die den Ring drehen. Eines der Schwerlasträder dient hierbei als Gegenrad zum Belastungsrad, das an der Belastungsklammer befestigt ist. Unter dem Ringträger für die Probekörper befindet sich der Motor, der die Schwerlastrollen antreibt. An der Belastungsklammer können Räder mit Durchmessern bis zu 200 mm und einer maximalen Breite der Radnabe von 100 mm eingebaut werden. Hierbei finden Vulkollan- und Polyamidräder die häufigste Anwendung. Mittels eines druckluftgeregelten Zylinders wird die vertikale Radlast erzeugt. Dabei erfahren Vulkollanräder eine Beaufschlagung von 2 kN und Polymidräder 5 kN. Mit Hilfe einer Wirbelstrombremse wird das variabel einstellbare Bremsmoment erzeugt. Zur zerstörungsfreien Messung des Verschleißes ist ein Laserabstandsmesser mittels Linearführung an die Grundplatte gekoppelt.



Abbildung 9: Prüfgerät mit den Hauptelementen Belastungsklammer (1) und Motor (2) aus [11]

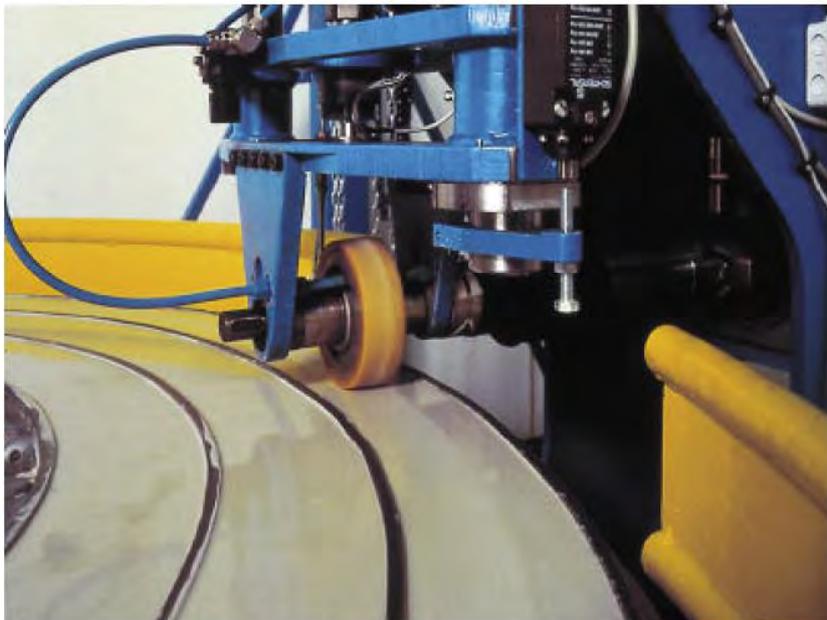


Abbildung 10: Belastungsklammer mit Vulkollanrad aus [11]

Durchführung der Prüfung:

Zunächst wird der Probekörper in den Trägerring eingespannt. Das entsprechende Prüfrad wird in die Belastungsklammer eingebaut und die Auflast eingestellt. Es erfolgt zunächst mittels Laser eine Nullmessung der Oberfläche, diese dient als Referenzwert für spätere Messungen. Die Prüfmaschine wird gestartet und der Probekörper in Zyklen zu je 100 Überfahrten beansprucht. Danach folgt jeweils eine Pause zur Abkühlung der Beschichtung und des Prüfrades in der auch eine erneute Lasermessung stattfinden kann.

3.1.3.3 Parking Abrasion Test (PAT)

Das Zentrale Labor für Baustofftechnik der Bilfinger SE entwickelte einen weiteren Prüfstand zur Bestimmung der Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen [12, 15-19]. Dabei diente ein Prüfstand der Firma Sika als Vorlage. Dieser wurde jedoch hinsichtlich

Auflast, Drehwinkel und Intervalldauer so optimiert, dass die Randbedingungen einer Prüfung variiert werden können. Das Prinzip der Prüfung beruht darauf, dass ein PKW-Rad unter Auflast einen darunter befindlichen Probekörper durch eine rotatorische Bewegung belastet. Diese Belastung entspricht einer Lenkbewegung im Stand, wie sie bei Einparkmanövern auftritt. Simuliert wird hierbei das Verschleißverhalten bei Einparkvorgängen.

Aufbau des Prüfgerätes:

Der Aufbau des Prüfgerätes ist in Abbildung 11 dargestellt. Es besteht aus einer Bodenplatte (1), auf der Metallschienen zur Probekörperbefestigung angebracht sind. Für die Prüfung sind Probekörper mit den Maßen 50 cm x 50 cm x 5 cm vorgesehen. Diese können fest auf der Bodenplatte eingespannt werden. Die verschiebbare Haltevorrichtung des Reifens (3) ist an einem Metallgestänge (2) angebracht, das fest mit der Bodenplatte verbunden ist. Der PKW-Reifen kann sich um seine vertikale Achse rotatorisch bewegen und weist einen Reifendruck von 2,3 bar auf. Über dem Reifen ist eine weitere Platte (4) angebracht, auf der Gewichte zur Auflast angebracht werden können.

An der Rückseite des Metallgestänges befindet sich die Steuerungseinheit (5), mit der die gewünschte Anzahl an Drehungen eingestellt werden kann. Das Prüfgerät ist unter der Bodenplatte mit Rollen versehen und kann somit variabel eingesetzt werden.



Abbildung 11: Prüfstand Bilfinger Construction GmbH (PAT) aus [12]

Durchführung der Prüfung:

Die Grundkörper aus Beton haben die Abmessungen 50 cm x 50 cm x 5 cm. Diese werden mit einem Oberflächenschutzsystem beschichtet. Vor der Prüfung wird der Ausgangszustand dokumentiert. Dies geschieht durch Bestimmung der Rautiefe und durch Entnahme eines Bohrkerns mit 20 mm Durchmesser.

Vor der Prüfung wird zunächst die Haltevorrichtung des PKW-Reifens mittels eines Wagenhebers angehoben, danach wird der Probekörper eingelegt und mit Hilfe der Metallschienen auf der Bodenplatte fixiert. Die gewünschte Auflast wird durch mehrere 23 kg Platten erzeugt. Die Normauflast, die durch Testversuche bestimmt wurde, beträgt hierbei 4.000 N. Diese Auflast entspricht somit der Radlast eines durchschnittlichen PKWs (Annahme: PKW-Gewicht von 1.600 kg). Die Gewichte werden auf der über dem Reifen befindlichen Metallplatte angeordnet und das Rad wird abgelassen. Die Intervalldauer beträgt 11 Sekunden, davon 4 Sekunden Drehbewegung um 90° und 7 Sekunden Pause. Jeder Probekörper durchläuft 15.000 Intervalle. Nach jeweils 1.000 Intervallen wird die Prüfung unterbrochen und der Probekörper wird gereinigt. Es erfolgt zudem eine visuelle Bewertung der Verschleißseigenschaften sowie eine Bilddokumentation. Hat der Probekörper 5.000 Zyklen erreicht, so wird die Prüfung nur noch alle 2.500 Intervalle zur Dokumentation unterbrochen, da der größte Verschleiß zu Prüfungsbeginn zu erwarten ist und im späteren Verlauf eine geringere Dokumentationsdichte ausreichend ist.

3.1.3.4 Driving Abrasion Test (DAT)

Der Versuchsstand der TU Kaiserslautern wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens für die Bestimmung von Rissbreiten und Rissflankenbruchneigung bei Industriefußböden konzipiert [12, 15-19]. Dieser Versuchsaufbau eignet sich jedoch für eine Vielzahl weiterer Prüfungen. Der Driving Abrasion Test (DAT) simuliert eine Dauerbelastung durch Kurvenfahrt verursacht durch einen PKW.

Aufbau des Prüfgerätes:

Der Prüfstand (Abbildung 12 und Abbildung 13) besteht aus einem Prüfrahmen an dem ein Lastarm befestigt ist und einem Drehteller. Der Lastarm (Pos. 1) ist mittels eines Bolzengelenks am Rahmen (Pos. 3) befestigt und an dessen freien Ende sind zur Erhöhung der Auflast Gewichte angebracht. Die Auflast auf den Prüfkörper beträgt 4.000 N. Das Versuchsrad (Pos. 2) ist am Lastarm montiert und erfährt somit durch die Gewichte die gewünschte Auflast. Der Drehteller besteht aus einer 2 cm dicken Stahlplatte, die auf Schwerlastrollen gelagert ist und seitlich angebrachte Metallplatten, die ein Wegrutschen des Probekörpers verhindern. Mittels einer Antriebswelle wird der Drehteller in Rotation versetzt. Die maximale Drehzahl liegt dabei bei etwa 16 U/min (reduzierbar bis 2 U/min). Der Durchmesser des Drehtellers beträgt 1,50 m und entspricht somit den Abmessungen des zu verwendenden Probekörpers. Der Lastarm ist so am Rahmen befestigt, dass das Rad eine Kreisbahn mit 1 m Durchmesser beschreibt. Die Anzahl der Umdrehungen werden automatisch über ein Zählwerk erfasst. Als Prüfrad können verschiedenste Reifen- oder Radtypen unterschiedlicher Größen eingesetzt werden, z. B. Staplerreifen oder Polyamidräder.

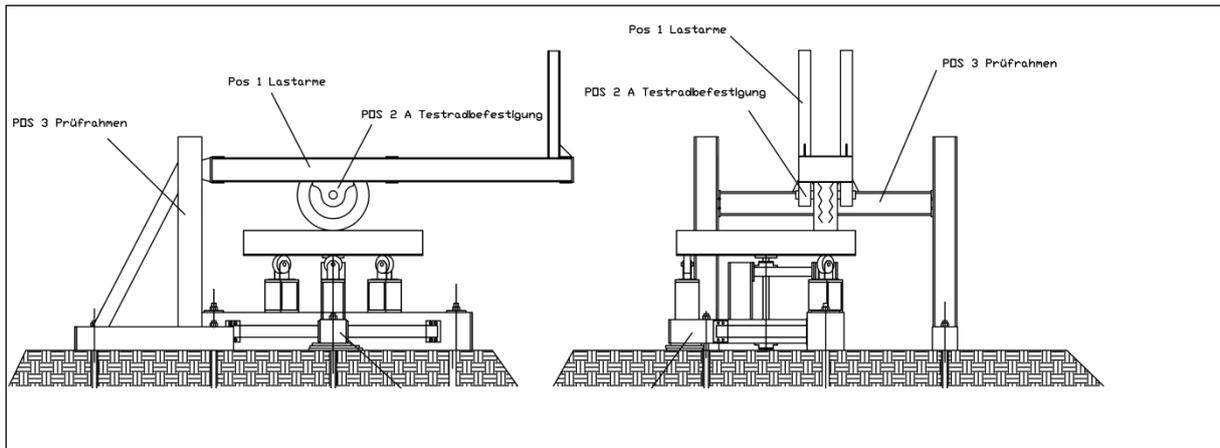


Abbildung 12: Übersichtszeichnung Prüfstand aus [13]



Abbildung 13: Versuchsstand TU Kaiserslautern (DAT)

Durchführung der Prüfung:

Der beschichtete Probekörper wird auf den Drehteller aufgelegt. Das Prüfrad wird am Lastarm befestigt und die gewünschte Auflast mittels der Gewichte am freien Ende des Lastarmes eingestellt. Anschließend wird der Lastarm auf den Probekörper abgesenkt. Die Prüfung wird gestartet und von dort auch gesteuert. Zur Dokumentation wird der Versuch in mehrere Prüfintervalle unterteilt, nach denen der jeweils auftretende Verschleiß beurteilt werden kann.

3.1.4 Bewertung

Im Vergleich der dargestellten Prüfmethoden kann festgestellt werden, dass sich nur die aufgeführten nicht normativ geregelten Prüfmethoden für die Prüfung des Verschleißverhaltens von Parkhausbeschichtungen eignen. Diese wurden speziell für den Anwendungsfall „Bestimmung des Verschleißverhaltens“ entwickelt.

Während sich die Stuttgarter Prüfung ausschließlich für die Simulation von Fußgängerkehr eignet, beschreiben die Prüfmethode nach BCA und RWA Prüfungen

durch hochbeanspruchte Laufräder. Das Verfahren nach Taber eignet sich nur für beschichtete Textilien und ist somit auch nicht übertragbar auf Beschichtungssysteme. Das Verfahren nach Böhme eignet sich zwar für Zementestrichmörtel aber nicht für beschichtete Systeme und findet somit auch keine Anwendung bei der Prüfung von Parkhausbeschichtungen. Der Parking Abrasion Test wurde speziell für die Prüfung von Oberflächenschutzsystemen entwickelt und simuliert durch den auf der Stelle rotierenden Reifen sehr gut die Beanspruchungen die bei Einparkvorgängen entstehen. Auch die Prüfverfahren der RWTH Aachen und der TU Kaiserslautern eignen sich gut für Parkhausbeschichtungen. Sie simulieren die auftretenden Schub- und Scherkräfte, die bei Kurvenfahrten auftreten. Die in Bottrop entwickelte Verschleißprüfmaschine eignet sich zur Prüfung der Beschichtungen hinsichtlich einer Befahrung mit Flurförderfahrzeugen und wurde speziell für Beschichtungssysteme entwickelt. Diese ist jedoch nicht für das vorliegende Forschungsvorhaben einsetzbar, da aufgrund der Bauteilabmessungen kein herkömmlicher Autoreifen verwendet werden kann.

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden sowohl mit dem Parking Abrasion Test als auch mit dem Driving Abrasion Test durchgeführt, da hiermit die hohen Beanspruchungen auf die Beschichtung bei Einparkvorgängen und bei Kurvenfahrten untersucht werden können. Damit ist sichergestellt, dass die hauptsächlich mechanischen Beanspruchungen dadurch geprüft werden können.

Abweichungen der Proben vom Systemaufbau:

Für die vorgenannten normativen Prüfverfahren von Oberflächenschutzsystemen sind Proben mit einer glatten Oberfläche erforderlich, da die Bewertung der Verschleißigenschaften anhand von Abtragstiefen oder –mengen erfolgt. Die für befahrene Parkflächen in der Praxis verwendeten Oberflächenschutzsysteme weisen jedoch aufgrund der notwendigen Anforderungen an die Griffigkeit keine glatten sondern profilierte Oberflächen auf. Für die normative Prüfung der Oberflächenschutzsysteme werden oberflächenglatte Proben hergestellt, da dies mit profilierten Oberflächen nicht möglich ist. Damit weichen die Proben signifikant von dem vorgegebenen Systemaufbau nach allgemeinem bauaufsichtlichem Prüfzeugnis (abP) ab.

Die bislang mangels Alternativen angewandten, genormten Prüfverfahren sind zur Bewertung von Oberflächenschutzsystemen für befahrene Parkflächen ungeeignet. Die grundsätzliche Eignung von Oberflächenschutzsystemen, die den o. g. Beanspruchungen ausgesetzt sind, kann somit nicht nachgewiesen werden.

Grad der mechanischen Beanspruchung:

Die nach DIN EN 1504-2 [N12] nachzuweisenden Verschleißigenschaften decken, wie in DIN V 18026 [N5] festgelegt, nur leichte Beanspruchungen (Gruppe III nach DIN 18560-7 [N13]) ab. Derartige Beanspruchungen beziehen sich auf eine Befahrung mit luftbereiften Fahrzeugen mit „geringer bis mittlerer Frequentierung sowie einen Fußgängerverkehr bis 100 Personen je Tag“.

Eine Kombinationsbeanspruchung aus Winterdienst sowie eine gleichzeitige Befahrung ist hierbei ausdrücklich ausgenommen. Die derzeit in den Prüfungen untersuchte Beanspruchung wird als zu gering angesehen, um die in der Praxis auftretenden Beanspruchungen realitätsnah zu simulieren. Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass

geprüfte Oberflächenschutzsysteme in der Praxis häufig schon nach kurzer Zeit erhebliche Abnutzungserscheinungen aufweisen (Zeitraum kleiner 5 Jahre).

Einfluss der Temperatur:

Da die mechanischen Eigenschaften der Polymere stark temperaturabhängig sind (Glasübergangstemperatur), müssen in die Prüfung zusätzliche und überlagerte Temperaturbeanspruchungen einfließen, da dies am Objekt in der Anwendung oft ein entscheidendes Kriterium bei z. B. erhöhter Betriebstemperatur im Freideckbereich darstellt. Auch diese Einflussfaktoren werden bei den genormten Prüfverfahren nicht berücksichtigt.

Aus den vorgenannten Gründen ist es erforderlich, ein Prüfverfahren zu qualifizieren, das in der Lage ist, Oberflächenschutzsysteme für den Anwendungsfall "befahrene Parkdecks" zielsicher zu bewerten, damit die notwendige Anwendungssicherheit für diese Systeme gewährleistet ist.

3.2 Modul B

3.2.1 Vorversuche zur Bestimmung der Einflussfaktoren während der Verschleißprüfung

Im Vorfeld der eigentlichen PAT Versuche wurde die Temperaturentwicklung in den einzelnen Schichten eines Beschichtungssystems überprüft, da bei den Drehbewegungen des Prüfrades Wärme freigesetzt wird. Ursächlich für diese Überlegungen ist die Beschränkung der maximalen Prüftemperatur auf höchstens 50°C. Dies ist erforderlich, da höhere Temperaturen die Verschleißbeständigkeit der Beschichtungssysteme beeinflussen können. Durch hohe Temperaturen werden die Beschichtungsharze weicher und es verändern sich ihre mechanischen Eigenschaften. Aus diesem Grund ist der zur Prüfung zulässige Temperaturbereich auf praxisnahe Oberflächentemperaturen, wie sie im Sommer auf Freiparkdecks erreicht werden können, zu beschränken.

Dazu wurden Temperaturmessfühler in die einzelnen Schichten eines OS 11a Systems gemäß der Abbildung 14 appliziert und der Temperaturverlauf im oberflächennahen Beton, der Schwimmschicht und der Verschleißschicht während der Verschleißprüfung gemessen.

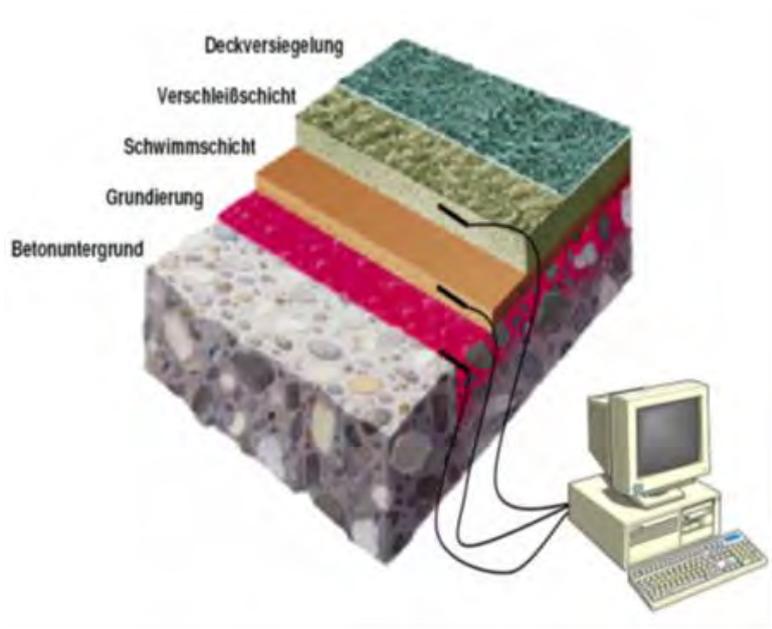


Abbildung 14: Versuchsaufbau zur Temperaturmessung während der Verschleißprüfung am OS 11a Systemaufbau; Temperaturmessfühler im oberflächennahen Beton, in der Schwimm- und Verschleißschicht

Während der Belastung der Probekplatte durch die zyklischen Drehbewegungen kommt es zu einer mehr oder weniger starken Erwärmung des Probekörpers. In Abbildung 15 ist die Temperaturentwicklung während der Verschleißprüfung dargestellt.

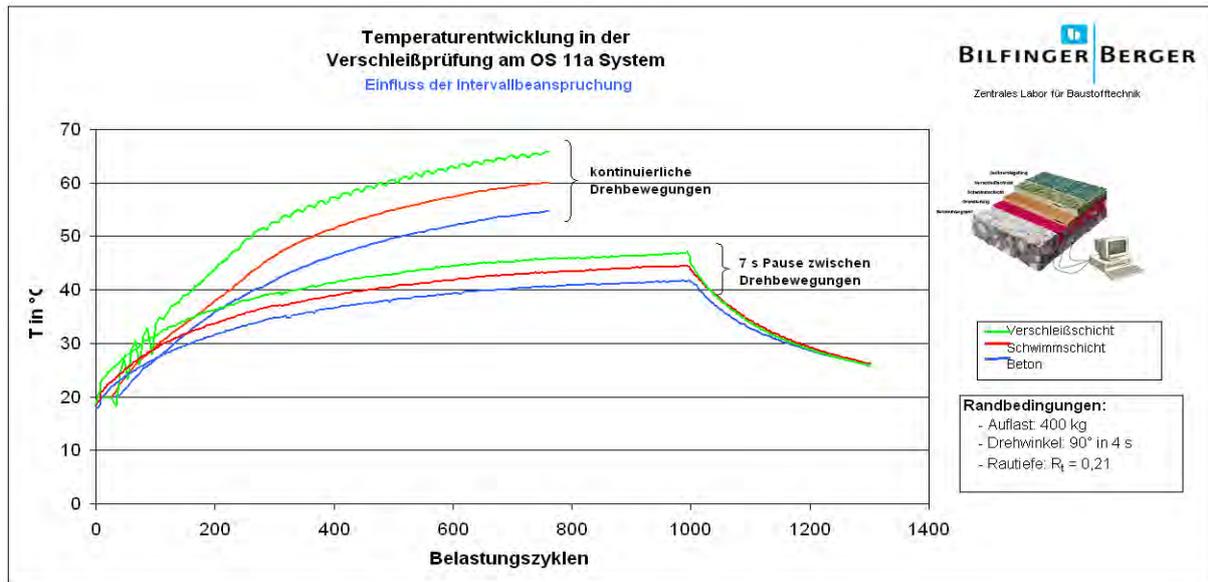


Abbildung 15: Temperaturentwicklung während der Verschleißprüfung, Einfluss der Intervalldauer

Einen wesentlichen Einfluss auf die Temperaturentwicklung in den Probepplatten hat die Intervalldauer einer Prüfung. Am günstigsten erwies sich eine Prüfdauer von 4 Sekunden für eine Drehbewegung sowie eine anschließende Pause von 7 Sekunden. Unter diesen Randbedingungen ist man in der Lage, die Prüftemperatur während des Verschleißversuches sicher auf Werte unter 50°C zu beschränken.

Aufgrund dieser Ergebnisse, werden die Randbedingungen zur Durchführung der Verschleißversuche wie folgt festgelegt:

- Auflast: 400 kg
- Intervalldauer: 4 Sekunden für Drehbewegung von 90° mit 7 Sekunden Pause
- Regelmäßige Reinigung der Prüfflächen, um ausgebrochene Beschichtungsteile oder Reifenabrieb zu entfernen

3.2.2 Herstellung der Probekörper

Als Grundkörper wurden zur Beschichtung Betonplatten 500 mm x 500 mm x 50 mm verwendet, die eine Oberflächenzugfestigkeit $\geq 3,0 \text{ N/mm}^2$ aufwiesen.

Zur Untergrundvorbereitung wurden die Platten an der zu beschichtenden Oberfläche angeschliffen (Abbildung 16). Dazu wurde mit einem händisch geführten Winkelschleifer und einer dafür vorgesehenen Schleifscheibe die Plattenoberfläche bearbeitet.



Abbildung 16: Betonplatte nach der Untergrundvorbereitung durch Schleifen (links) und nach der Grundierung und Abstreung mit Quarzsand (rechts)

Nach der Untergrundvorbereitung erfolgte die Grundierung der Probeplatte mit dem jeweiligen, systemspezifischen Grundierharz. Zur Applikation der Schwimmschicht (Abbildung 17) wurde das entsprechende Polymerharz auf Polyurethanbasis „ungefüllt“ und in entsprechender Schichtdicke auf den Probekörper gegossen, mit einer Zahntraufel verteilt und mit einer Stachelwalze entlüftet.



Abbildung 17: Materialauftrag der Schwimmschicht (links) und Sicherstellung der Schichtstärke mit einer Zahntraufel (rechts)

Alternativ kann die Schwimmschicht auch maschinell im Spritzverfahren appliziert werden. Dabei werden die beiden Komponenten des Harzes in einer speziellen Düse gemischt und erhitzt auf den Probekörper aufgespritzt. Die Reaktion des Harzes erfolgt umgehend, sodass sofort nach dem Abkühlen der Masse eine feste Materialschicht vorliegt. Eine so applizierte Abdichtungsschicht wird als Spritzfolie bzw. OS 10 System gemäß der Instandsetzungs-Richtlinie bezeichnet (Abbildung 18).



Abbildung 18: Spritzdüse zur Herstellung eines OS 10 Systems (links) und Herstellung der Spritzfolie, OS 10 (rechts)

Die Applikation der Verschleißschicht ist bei OS 11a und 11b Systemen gleich. Das dazu verwendete Harz ist mit Quarzsand vorgefüllt und wird nach dem Auftrag auf den Probekörper in der vorgesehenen Materialmenge im Überschuss abgestreut. Abbildung 19 links zeigt den Auftrag des mit Quarzsand vorgefüllten Harzes auf den Probekörper und in Abbildung 19 rechts ist der Abstreuvorgang der Platte dargestellt.



Abbildung 19: Auftrag der vorgefüllten Verschleißschicht auf der Schwimmschicht (links) und Abstreuen der Verschleißschicht im Überschuss (rechts)

Nach der Aushärtung des Matrixharzes wird der überschüssige, vom Harz nicht eingebundene Anteil des zur Abstreuerung benutzten Quarzsandes von der Beschichtungsoberfläche entfernt. Als letzter Arbeitsschritt zur Herstellung einer befahrbaren Oberflächenschutzbeschichtung wird die systemspezifische Deckversiegelung aufgetragen (Abbildung 20). Dazu wird die vorgesehene Menge des Harzes auf der Beschichtungsoberfläche aufgetragen und mit einer Rolle gleichmäßig verteilt.



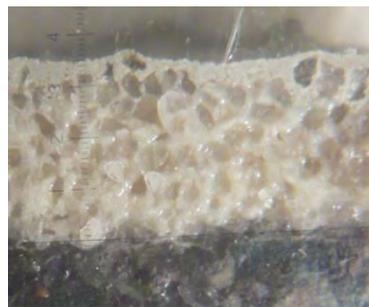
Abbildung 20: Auftrag der Deckversiegelung (links) und Sicherstellung einer gleichmäßigen Schichtdicke auf dem Probekörper (rechts)

Da die Deckversiegelung maßgebend die Eigenschaften der Beschichtungs­oberfläche hinsichtlich Rauigkeit und Verschleißbeständigkeit beeinflusst, ist bei der Applikation dieser Schicht äußerste Sorgfalt erforderlich. Wird zu wenig Deckversiegelung aufgetragen, sinkt die Verschleißbeständigkeit, und bei einer zu großen Auftragsmenge kann die Rutschsicherheitsklasse mit ihrem entsprechenden Verdrängungsraum nicht mehr nachgewiesen werden.

Die Applikation eines OS 8 Systems erfolgt analog zu der beschriebenen Herstellung der OS 11 Systeme.

In der folgenden Gegenüberstellung in Tabelle 1 sind Feinschnitte aller drei Beschichtungssysteme inklusive ihrer Beschreibung abgebildet.

Tabelle 1: Gegenüberstellung OS 11a-, OS 11b- und OS 8-System

OS 11a System	OS 11b System	OS 8 System
		
<p>Schichtaufbau (von oben nach unten): Deckversiegelung Verschleißschicht Schwimmschicht Grundierung</p>	<p>Schichtaufbau (von oben nach unten): Deckversiegelung Elastifizierte Verschleißschicht Grundierung</p>	<p>Schichtaufbau (von oben nach unten): Deckversiegelung Verschleißschicht Grundierung</p>

3.2.3 Begutachtung und Bewertung der Beschichtungssysteme nach der Prüfung

Im Anfangsstadium der Verschleißprüfungen erfolgt die Belastung der Probeplatten in einzelnen Prüfzyklen mit 1.000 Belastungsintervallen. Nach 5.000 Belastungen erhöhte sich die Intervallanzahl pro Zyklus auf 2.500 Belastungen bis zu der maximalen Intervallanzahl von 15.000. Zwischen den einzelnen Prüfzyklen erfolgt die vorläufige Bewertung der Verschleißeigenschaften des Systems. Dazu werden die Platten vom sich darauf befindlichen Reifenabrieb gesäubert und visuell begutachtet. Die Maßnahmen zur Bewertung der Proben nach den einzelnen Zyklen sind in Tabelle 3 angegeben, die letztendliche Klassifizierung des geprüften Systems erfolgt jedoch erst bei Abschluss des Versuches nach 15.000 Intervallen.

Die Beurteilung der Beschichtung hinsichtlich ihres Verschleißverhaltens erfolgte einerseits durch eine optische Kontrolle und andererseits durch Entnahme von Bohrkernen, sobald eine etwas größere Abtragstiefe visuell festgestellt wurde.

Dazu wurde nach einer definierten Zyklenzahl der Prüfvorgang unterbrochen, der Versuchskörper aus dem Versuchsstand ausgebaut und die Prüffläche von Reifenabrieb gesäubert. Das optische Erscheinungsbild des Prüfbereiches wurde anschließend bewertet und fotografisch dokumentiert.

Nachfolgend sind in Abbildung 21 ausgewählte Probekörper nach Durchführung der Verschleißversuche zur Veranschaulichung abgebildet.



Abbildung 21: Ausgangszustand (links), deutliche Verschleißerscheinungen in Form eines Materialabtrages (mittig) und Versagenszustand, Verschleißschicht vollständig abgetragen (rechts)

Bei den Aufnahme rechts in Abbildung 21 handelt es sich um den Ausgangszustand eines Beschichtungssystems vor der Verschleißprüfung. In Abbildung 21 ist mittig eine schon stark verschlissene Beschichtung dargestellt, bei der weite Bereiche der Deckversiegelung abgetragen sind und ein beginnender Abtrag der elastifizierten Verschleißschicht beobachtet werden kann. In Abbildung 21 ist rechts der Versagenszustand eines OS 11a Systems abgebildet. Die komplette Verschleißschicht ist bis auf die Schwimmschicht abgetragen.

Wurden an den Probekörpern größere Abtragstiefe festgestellt, erfolgte eine ergänzende Prüfung an Bohrkernen. Dazu wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 20 mm bis 30 mm aus der geschädigten Prüffläche entnommen, ein Feinschnitt angefertigt und der Schichtaufbau des Prüfbereiches mit dem Schichtaufbau eines aus einem unbelasteten Bereich entnommenen Bohrkerns verglichen.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es unabhängig von subjektiven Einflüssen der zur Bewertung herangezogenen Person ist. Es konnten die beiden Schichtaufbauten der belasteten und unbelasteten Fläche miteinander verglichen werden und mögliche Materialabtragstiefen in der Verschleißschicht waren messtechnisch erfassbar.

Allerdings ist dieses Verfahren nur für Systeme mit deutlichen Verschleißerscheinungen geeignet, da geringe Verschleißschäden anhand eines Feinschnittes nur bedingt als solche zu erkennen sind.

In der nachfolgenden Abbildung 22 ist ein Feinschnitt eines im unbelasteten Bereich entnommenen Bohrkerns einem Feinschnitt eines im belasteten Bereich entnommenen Bohrkerns gegenübergestellt. Der nach der Prüfung festzustellende Materialabtrag in der Verschleißschicht konnte neben dem vollständigen Abtrag der Deckversiegelung dokumentiert werden und diente als Kriterium zur Beurteilung der Verschleißbeständigkeit eines Beschichtungssystems hinsichtlich seiner verbleibenden Restschichtdicke.

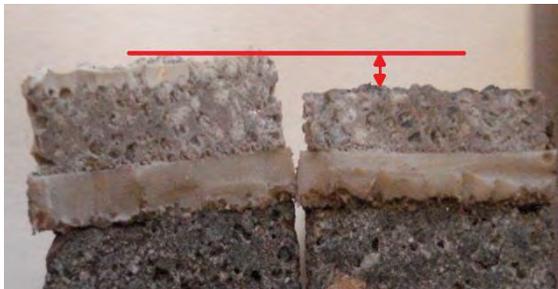


Abbildung 22: Gegenüberstellung von Feinschnitten vor und nach der Versuchsdurchführung. Deutlicher Abtrag der Verschleißschicht am rechten Feinschnitt erkennbar.

Mit Hilfe der beiden Bewertungsverfahren wurden die einzelnen Probekörper nach durchgeführter Prüfung sechs unterschiedlichen Verschleißklassen (Tabelle 2) zugeordnet, die prinzipiell in die vier Hauptkategorien:

VK 1 und VK 2: sehr geringe bis geringe Schädigung,

VK 3: mittlere Abnutzungsrate,

VK 4: starke Abnutzung,

VK 5 und VK 6: sehr starke Abnutzung bis Systemausfall

zusammengefasst werden können. Eine Beschreibung der einzelnen Klassen mit einem Bildbeispiel zur Veranschaulichung befindet sich in nachfolgender Tabelle 2.

Die Zuordnung der Probekörper in die jeweiligen Verschleißklassen erfolgte am Versuchsende nach 15.000 Belastungszyklen. Jedoch erfolgte schon nach 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 7.500, 10.000 und 12.500 Prüfzyklen eine optische Begutachtung der Platten mit einer Zuordnung der Probe in eine entsprechende, vorläufige Verschleißklasse.

Somit ist man in der Lage, in Abhängigkeit der Anzahl der Belastungszyklen, die unterschiedlichen Systeme miteinander zu vergleichen, den Schadensfortschritt mit zunehmender Belastungsdauer zu dokumentieren und letztendlich das Verschleißverhalten der unterschiedlichen Systeme zu bewerten.

Tabelle 2: Klassifizierung der Verschleißversuche

Verschleiß-klasse	Einstufung	Beschreibung	Beispiel
VK 1	Sehr geringe Abnutzung	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren bzw. vereinzelte Quarzkörner 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 Abtragsraten $\leq 50\%$ der ursprünglichen Schichtdicke der Verschleißschicht	
VK 5	Sehr starke Abnutzung	Sehr starker Abtrag der Verschleißschicht mit Abtragsraten $> 50\%$ der ursprünglichen Schichtdicke der Verschleißschicht	
VK 6	Systemausfall	Beschädigung der Abdichtungsschicht	

Systeme, die nach 15.000 Belastungsintervallen der Verschleißklasse 1 angehören, sind als mangelfrei einzustufen. Vereinzelt ausgebrochene Quarzsandkörner und eine an den Kornspitzen abgefahrene Deckversiegelung beeinträchtigen die Funktionalität der Beschichtung in keiner Weise und müssen auch nicht nachgearbeitet werden.

Systeme der Verschleißklasse 2 weisen geringfügige Schäden an der Deckversiegelung auf und kleinere zusammenhängende Ausbrüche von Quarzkörnern. Dies stellt zu diesem Zeitpunkt keine Beeinträchtigung der Funktionalität dar, jedoch sind die optischen Anforderungen eingeschränkt.

Systeme der Verschleißklasse 3 mit flächig ausgebrochenen Quarzkörnern ($d < 3 \text{ cm}$) und einer großflächig beschädigten Deckversiegelung stellen einen optischen Mangel dar. Aus technischer Sicht ist die Funktionalität der Beschichtung noch nicht eingeschränkt. Für die Aufrechterhaltung der Funktionalität der Beschichtung muss eine Überarbeitung der Deckversiegelung erfolgen. Dadurch kann die Verschleißbeständigkeit der Beschichtung wieder auf ihr ursprüngliches Maß hergestellt werden.

Systeme der Verschleißklasse 4 sind für die Applikation auf einem stark frequentierten Parkdeck nicht zu empfehlen. Hier zeigen sich schon größere Mängel am System, die sich bei einer entsprechenden Abtragtiefe der Verschleißschicht auch auf die Funktionalität des Systems auswirken können und diese ggf. auch beeinträchtigen. In diesem Zustand ist die Überarbeitung des Beschichtungssystems zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit des zu schützenden Bauteils zwingend erforderlich.

Systeme der Verschleißklasse 5 sind für eine Applikation als befahrbares Oberflächenschutzsystem auf stark frequentierten Flächen ungeeignet. Hier kommt es zu einem flächigen Abtrag der hwO bei OS 11b Systemen und zum vollständigen Abtrag der Verschleißschicht bis auf die Schwimmschicht bei OS 11a Systemen. Die Funktionalität der Beschichtung ist in diesem Zustand in Frage zu stellen bzw. nicht mehr zu gewährleisten. Hier empfiehlt sich ein Neuaufbau des Beschichtungssystems zur Wiederherstellung eines ausreichenden Oberflächenschutzsystems.

Systeme der Verschleißklasse 6 zeichnen sich durch einen Systemausfall aus. Dieser zeigt sich durch Beschädigungen an der Abdichtungsschicht. Die Funktionalität der Beschichtung ist nicht mehr gegeben. In diesem Fall ist ein Neuaufbau des Beschichtungssystems zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit des zu beschichtenden Bauteils zwingend erforderlich.

Für die Praxis bedeutet dies, dass Systeme der Verschleißklassen 1 und 2 für eine Applikation auf befahrbaren Stahlbetonbauteilen als Oberflächenschutzsystem anwendbar wären. Die Auswahl eines Beschichtungssystems der beiden Klassen muss hinsichtlich der zu erwartenden Frequentierung der Parkfläche erfolgen. Für hohe bis sehr hohe Frequentierungen sind ausschließlich Systeme der Verschleißklasse 1 zu empfehlen. Letztendlich muss eine entsprechende Festlegung im zuständigen Regelwerk erfolgen.

Die Auswertung der Vorversuche ergab eine klare Unterteilung der geprüften Systeme in unterschiedliche Verschleißklassen. Eine Übersicht der geprüften Systeme kann Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Übersicht der geprüften Systeme

Hersteller	Oberflächenschutzsysteme gemäß Instandsetzungs-Richtlinie		
	OS 8	OS 11a	OS 11b
A	-	17	6
B	1	2	2
C	-	2	4
D	-	2	1
E	1	-	1

Eine Vielzahl der in Parkbauten festgestellten Schäden an Beschichtungssystemen kann im verkleinerten Maßstab auch an den Probekörpern der PAT Verschleißversuche beobachtet werden.

In der folgenden Gegenüberstellung (Abbildung 23: Beschichtungsoberfläche nach PAT Prüfung (links) und Beschichtungsoberfläche am Bauteil im Parkhaus (rechts)) ist eine Aufnahme der im Bereich der Kornspitzen abgefahrenen Deckversiegelung mit vereinzelt ausgebrochenen Quarzsandkörnern aus den Versuchen einer Aufnahme aus einem Parkhaus gegenübergestellt.

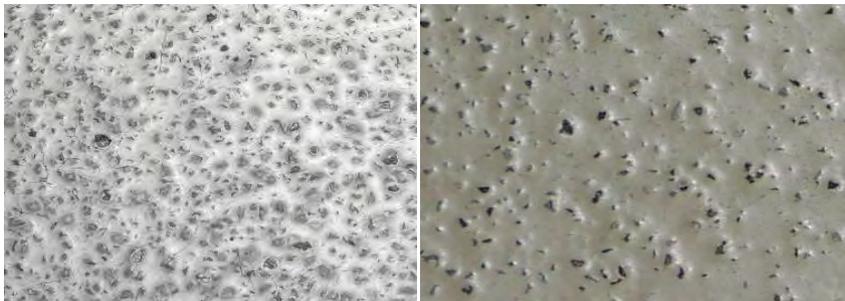


Abbildung 23: Beschichtungsoberfläche nach PAT Prüfung (links) und Beschichtungsoberfläche am Bauteil im Parkhaus (rechts)

Weiterhin können Verschleißerscheinungen in Form von Materialabträgen verglichen werden. Dies wird am Beispiel in Abbildung 24 verdeutlicht. Hier sind die Materialabträge in der Verschleißschicht des OS-Systems in den hochbelasteten Kurvenzonen von Parkflächen mit den Materialabträgen an Versuchskörpern während der Verschleißversuche gegenübergestellt. Dabei kann man eine großflächige Beschädigung der Deckversiegelung und den Abtrag der Verschleißschicht feststellen.

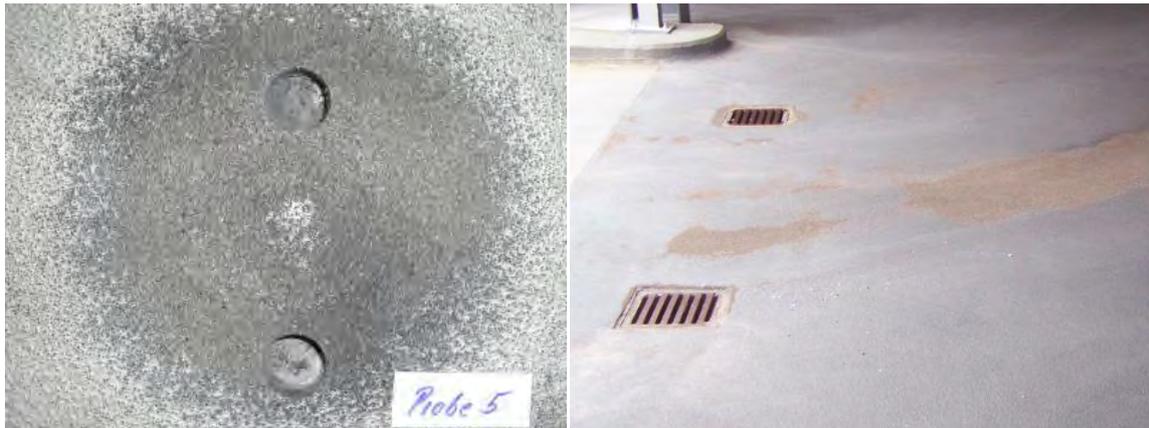


Abbildung 24: Verschleißerscheinung am Versuchskörper während des Verschleißversuchs (links) und Verschleißerscheinung von Parkflächen in hochbelasteten Kurvenzonen (rechts)

Nachfolgend (Abbildung 25) sind Beschädigungen der Deckversiegelung mit Kornausbrüchen in der Verschleißschicht aus den Versuchen einem Schadensbild auf einer Parkfläche gegenübergestellt. Es ist eine großflächige Beschädigung der Deckversiegelung und ein Abtrag der Verschleißschicht feststellbar.

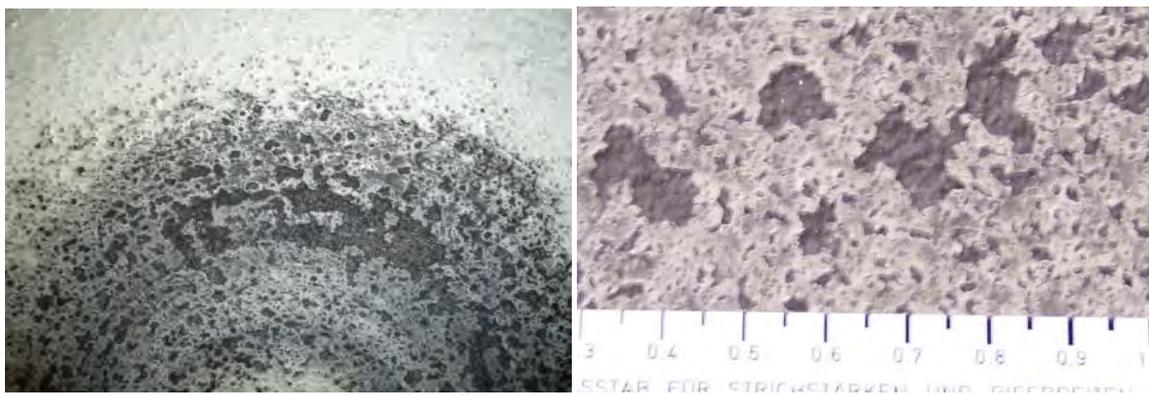


Abbildung 25: Beschädigung der Deckversiegelung während des Verschleißversuchs (links) und Beschädigung der Deckversiegelung auf einer Parkfläche (rechts)

Anhand der Gegenüberstellung der Schadensbilder aus den Versuchen zu realen Schäden auf befahrenen Flächen konnte die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf die Schadensvorgänge an befahrenen Beschichtungssystemen belegt werden.

Somit konnten bei den PAT-Versuchen wirklichkeitsnahe Verschleißerscheinungen, wie sie auf befahrenen Beschichtungssystemen in Parkhäusern vorgefunden werden, simuliert werden.

3.3 Modul C

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinen- und Apparatebau (KIMA) an der TU Kaiserslautern wurde Modul C bearbeitet. Anders als geplant, konnte Modul C erst nach einem Teil der durchgeführten Versuche aus Modul D gestartet werden. Für ein Finite Elemente Modell werden Materialparameter wie Elastizitätsmodul, Querdehnzahl etc. benötigt. Sowohl für die einzelnen Parameter wie auch für den Gesamtschichtaufbau konnten seitens der Hersteller und auch in der Literatur keine entsprechenden Angaben gefunden werden. Aus diesem Grund wurde ein Finite Elemente Modell auf der Basis der durchgeführten Versuche aus Modul D erstellt. Als Grundlage hierfür wurde der gemessene Verschleiß über die geprüfte Zyklenanzahl genommen. Dieses Modell wurde nur für die Versuche mit dem Parking Abrasion Test durchgeführt.

Für das Modell wurde das Programm ABAQUS verwendet. Mit diesem Programm konnte dreidimensional die nichtlineare Reifen-Fahrbahn-Interaktion analysiert werden. Das Reifen-Modell ist mehrschichtig (Gürtel, Karkasse; Abbildung 26) aufgebaut. Die Eigenschaften des Gummi-Materials wurden nicht-linear dargestellt, die Verstärkungselemente und auch die Fahrbahn wurden als elastisches Material definiert. In der Simulation wurde die Spannungsverteilung des Reifens und der Fahrbahn berechnet. Darüber hinaus wurde die Flächenpressung in Abhängigkeit von verschiedenen Luftdrücken und Auflasten berechnet. Ferner wurden die Kurvenformen der Abdrücke durch elliptische Gleichungen mit Hilfe des Programms MATLAB angepasst. Durch diese Gleichungen war es möglich festzustellen, dass die theoretischen Gleichungen mit den visuellen Trends übereinstimmen.

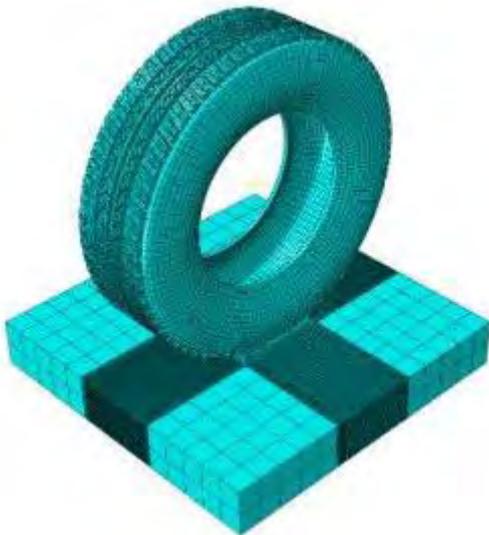


Abbildung 26: FE-Modellierung des Reifens

Im Rahmen einer Diplomarbeit [14] wurden am Lehrstuhl KIMA des Fachbereichs Maschinenbau der TU Kaiserslautern orientierende statische und dynamische Berechnungen durchgeführt. Für die Entwicklung des Modells wurden mit Druckfolien die Reifenaufstandsfläche in Abhängigkeit vom Luftdruck und Auflast ermittelt.

In diesen Berechnungen wurden die Oberflächenschutzsysteme zunächst als eine Schicht betrachtet. Die Materialparameter wurden dabei dem Grundansatz „Verschleiß“ angenähert. Die Ergebnisse des Elastizitätsmoduls lagen mit 20.000 N/mm^2 im erwarteten Bereich.

Ebenfalls wurden auch Berechnungen zur Größe der Belastungsfläche in Abhängigkeit von Luftdruck und Auflast erstellt (Abbildung 27).

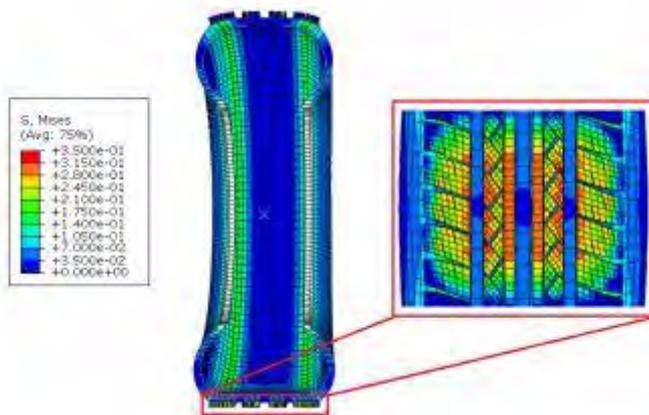


Abbildung 27: Darstellung der Aufstandsfläche des Reifens

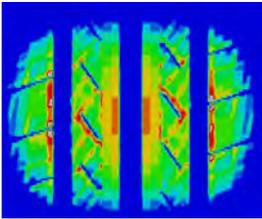
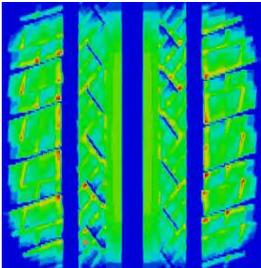
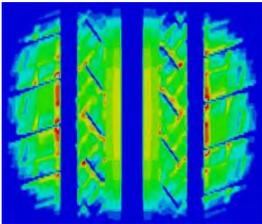
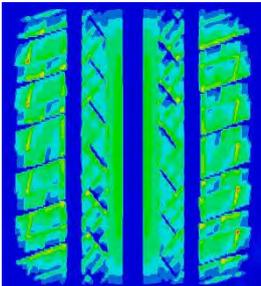
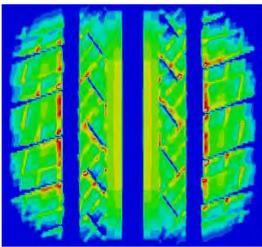
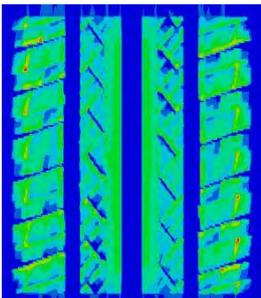
Dabei wurde der Anpressdruck auf die Reifenaufstandsfläche unter verschiedenen Bedingungen gemessen. Tabelle 4 zeigt die Spannungsverteilung der Reifenaufstandsfläche unter verschiedenen Reifendrücken bei gleicher Belastung von 4000 N. Es ist zu beobachten, dass der maximale Anpressdruck mit steigendem Reifendruck zunimmt, die Reifenaufstandsfläche sich dabei verkleinert. Auch ist erwartungsgemäß zu erkennen, dass die mittleren Streifen des Profils die größten Lasten abtragen.

Tabelle 4: Reifenaufstandsfläche bei verschiedenen Reifendrücken und gleichbleibender Auflast

Reifen- druck [MPa]	Reifenaufstands- fläche	CPPRESS [MPa]	Reifen- druck [MPa]	Reifenaufstands- fläche	CPPRESS [MPa]
0,2		<p>CPPRESS</p> <ul style="list-style-type: none"> +6.537e-01 +6.000e-01 +5.500e-01 +5.000e-01 +4.500e-01 +4.000e-01 +3.500e-01 +3.000e-01 +2.500e-01 +2.000e-01 +1.500e-01 +1.000e-01 +5.000e-02 +0.000e+00 	0,5		<p>CPPRESS</p> <ul style="list-style-type: none"> +1.09e+00 +1.00e+00 +9.00e-01 +8.00e-01 +7.00e-01 +6.00e-01 +5.00e-01 +4.00e-01 +3.00e-01 +2.00e-01 +1.00e-01 +0.00e+00
0,3		<p>CPPRESS</p> <ul style="list-style-type: none"> +9.00e-01 +8.00e-01 +7.00e-01 +6.00e-01 +5.00e-01 +4.00e-01 +3.00e-01 +2.00e-01 +1.00e-01 +0.00e+00 	0,6		<p>CPPRESS</p> <ul style="list-style-type: none"> +1.18e+00 +1.10e+00 +1.00e+00 +9.00e-01 +8.00e-01 +7.00e-01 +6.00e-01 +5.00e-01 +4.00e-01 +3.00e-01 +2.00e-01 +1.00e-01 +0.00e+00
0,4		<p>CPPRESS</p> <ul style="list-style-type: none"> +1.02e+00 +1.00e+00 +9.00e-01 +8.00e-01 +7.00e-01 +6.00e-01 +5.00e-01 +4.00e-01 +3.00e-01 +2.00e-01 +1.00e-01 +0.00e+00 	0,7		<p>CPPRESS</p> <ul style="list-style-type: none"> +1.282e+00 +1.200e+00 +1.100e+00 +1.000e+00 +9.000e-01 +8.000e-01 +7.000e-01 +6.000e-01 +5.000e-01 +4.000e-01 +3.000e-01 +2.000e-01 +1.000e-01 +0.000e+00

Die Tabelle 5 zeigt die Reifenaufstandsflächen infolge von verschiedenen Auflasten mit gleichem Reifendruck von 0,2 bar. Hieraus geht hervor, dass sich mit steigenden Auflasten auch der Anpressdruck erhöht und die Reifenaufstandsfläche sich mit steigenden Auflasten erwartungsgemäß vergrößert. Die Form der Reifenaufstandsfläche ändert sich erst merklich zum Rechteck, wenn die Auflast größer als 6000 N wird.

Tabelle 5: Reifenaufstandsfläche bei verschiedenen Auflasten und gleichbleibenden Reifendruck

Auflast [N]	Reifenaufstandsfläche	CPPRESS [MPa]	Auflast [N]	Reifenaufstandsfläche	CPPRESS [MPa]
2.000		CPPRESS +5,623e-01 +5,000e-01 +4,500e-01 +4,000e-01 +3,500e-01 +3,000e-01 +2,500e-01 +2,000e-01 +1,500e-01 +1,000e-01 +5,000e-02 +0,000e+00	5.000		CPPRESS +7,000e-01 +6,500e-01 +6,000e-01 +5,500e-01 +5,000e-01 +4,500e-01 +4,000e-01 +3,500e-01 +3,000e-01 +2,500e-01 +2,000e-01 +1,500e-01 +1,000e-01 +5,000e-02 +0,000e+00
3.000		CPPRESS +6,250e-01 +6,000e-01 +5,500e-01 +5,000e-01 +4,500e-01 +4,000e-01 +3,500e-01 +3,000e-01 +2,500e-01 +2,000e-01 +1,500e-01 +1,000e-01 +5,000e-02 +0,000e+00	6.000		CPPRESS +9,000e-01 +8,000e-01 +7,000e-01 +6,000e-01 +5,000e-01 +4,000e-01 +3,000e-01 +2,000e-01 +1,000e-01 +0,000e+00
4.000		CPPRESS +6,575e-01 +6,000e-01 +5,500e-01 +5,000e-01 +4,500e-01 +4,000e-01 +3,500e-01 +3,000e-01 +2,500e-01 +2,000e-01 +1,500e-01 +1,000e-01 +5,000e-02 +0,000e+00	7.000		CPPRESS +1,083e+00 +1,000e+00 +9,000e-01 +8,000e-01 +7,000e-01 +6,000e-01 +5,000e-01 +4,000e-01 +3,000e-01 +2,000e-01 +1,000e-01 +0,000e+00

Aus diesen Berechnungen wurden auch Normalspannungsverteilungen in der Fahrbahn entwickelt. Auf den folgenden Abbildungen ist eine halbe, in x-y-Richtung geschnittene, Platte dargestellt. Der Reifen wurde in y-Richtung belastet und in x-Richtung entstand Reibung. Abbildung 28 zeigt die vertikale Spannung in x-Richtung im Querschnitt. Man kann erkennen, dass die maximale Spannung an der Oberfläche auftritt, wohingegen die äußeren Bereiche des Reifenprofils zugbeansprucht sind.

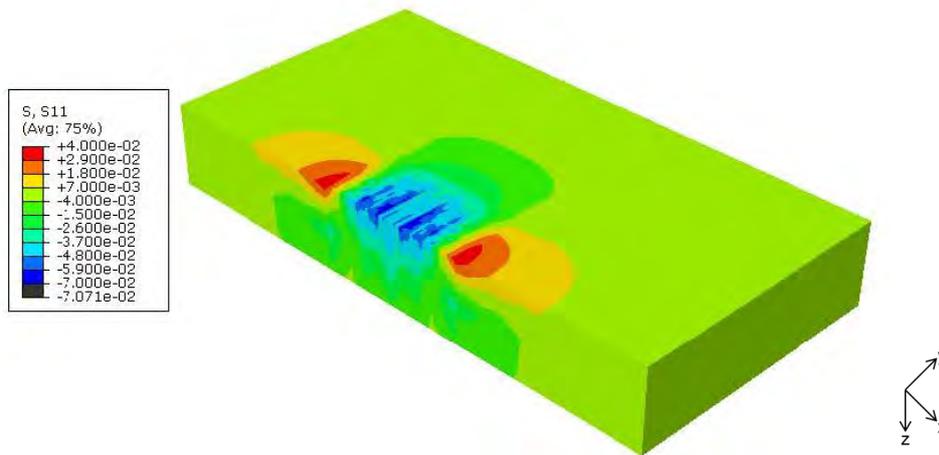


Abbildung 28: Normalspannung der Fahrbahn in x-Richtung

Die Normalspannungsverteilung in y-Richtung (Abbildung 29) weist deutlich höhere Belastungen auf. Die betragsmäßig größte Spannung tritt im Zentrum der Fahrbahn, im blauen Bereich auf. Hier wird die Fahrbahn in vertikaler Richtung zusammengepresst. Die Normalspannung verbreitet sich von dort zu den äußeren Bereichen. Der äußere, rot dargestellte, Bereich stellt die Zugspannungen dar. Diese Normalspannungsverteilung zeigt, dass die plastischen Verformungen mittig in der beschichteten Fläche hervorgerufen werden.

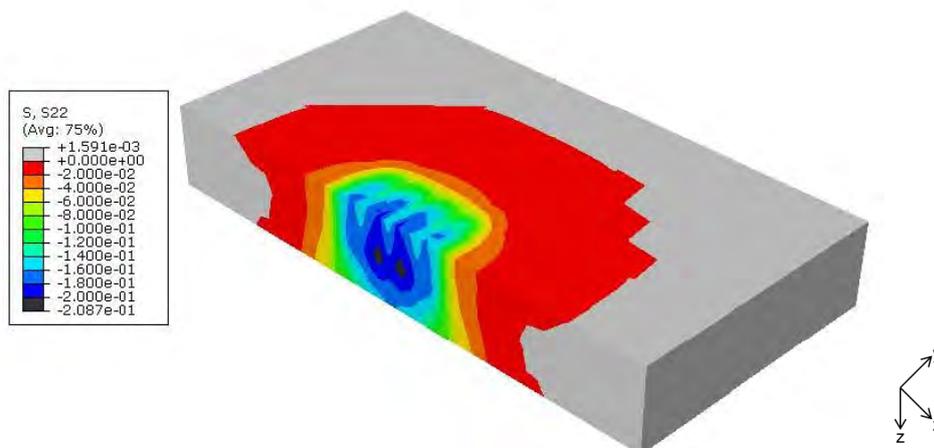


Abbildung 29: Normalspannung der Fahrbahn in y-Richtung

Die Abbildung 30 zeigt die Normalspannungsverteilung der Fahrbahn in z-Richtung. Hier ist zu erkennen, dass die Spannungen sich auf die Oberfläche konzentrieren und diese zur Unterseite weitergeleitet werden.

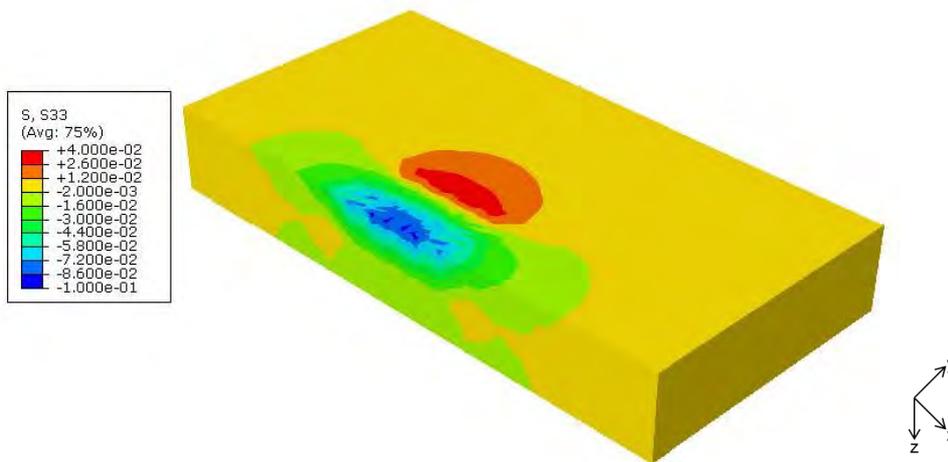


Abbildung 30: Normalspannung der Fahrbahn in z-Richtung

Allgemein ließ sich feststellen, dass die Spannungen in x- und z-Richtung geringer waren als die in y-Richtung. Dies lag daran, dass der Reifen in y-Richtung belastet wurde und in x- und z-Richtung nur Reibungskräfte wirkten.

Mit dieser Diplomarbeit wurde ein FE-Modell erstellt, das die Reifen-Fahrbahn-Interaktion beschreibt und den Zustand der Reifen und der Fahrbahn unter verschiedenen statischen Lasten vorausberechnet. Die Versuche zur Spannungsverteilung zeigten, dass die Spannungen der Fahrbahn sich auf die Oberfläche konzentrierten, während das Reifenprofil die größten Spannungen in den mittleren Streifen des Profils abtrug.

Die Versuche zu den Reifenaufstandsflächen unter verschiedenen Reifendrücken oder Lasten ergaben, dass der Anpressdruck bei zunehmendem Reifendruck und zunehmender Last zunimmt. Die Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn wird kleiner mit steigendem Reifendruck, während sie mit steigender Last größer wird. Die Reifenaufstandsfläche wandelt sich hierbei von einer elliptischen Form zu einem Rechteck.

Zur genaueren Modellierung der Reifen-Fahrbahn-Interaktion müssten die Parameter verfeinert werden. Dazu sollte die Fahrbahn zu einem mehrschichtigen System nach dem Aufbau eines Oberflächenschutzsystems weiterentwickelt werden.

3.4 Modul D

3.4.1 Allgemein

In Modul D wurden Probekörper hergestellt und mit verschiedenen Oberflächenschutzsystemen beschichtet. Es wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt, jeweils mit unterschiedlichen Prüfmethoden und unterschiedlichen Messmethoden zur Erfassung des Verschleißes. Es wurden sowohl eine magnetisch-induktive Messmethode wie auch eine laserbasierte Messmethode angewandt.

3.4.2 Aufbau Oberflächenschutzsysteme

3.4.2.1 Allgemein

Bei den Oberflächenschutzsystemen wird unterschieden zwischen Hydrophobierungen und Beschichtungen nach [1]. Nachfolgend werden thematisch nur die drei Oberflächenschutzsysteme behandelt, die für befahrbare Flächen geeignet sind.

Mit Hilfe von Beschichtungssystemen ist es möglich, die Dauerhaftigkeit von Stahlbetonbauteilen zu erhöhen. Die Beschichtung verhindert zum Beispiel das Eindringen von Chloriden in den Beton und dadurch die Korrosion der Bewehrung.

3.4.2.2 Materialien

Der Aufbau von Oberflächenschutzsystemen ist in der DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ geregelt. Der Aufbau eines Oberflächenschutzsystems setzt sich aus der Grundierung, der hauptsächlich wirksamen Oberflächenschutzschicht (hwO) und der Deckversiegelung zusammen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Schichten eingegangen.

Grundierung:

Die Grundierung ist die erste Schicht eines Oberflächenschutzsystems. Sie ist so konzipiert, dass sie teilweise in die Poren des Betonuntergrundes eindringt und als wesentliche Aufgabe die Verbesserung der Adhäsion zwischen Betonuntergrund und anschließendem Beschichtungssystem hat. Durch das Eindringen verfestigt sie den Betonuntergrund und gewährleistet eine einheitliche Saugfähigkeit. Für einen besseren Verbund zwischen der Grundierung und der folgenden Schicht wird diese mit Quarzsand der Körnung 0,3 – 0,8 mm abgestreut.

Grundierungen bestehen in der Regel aus 1- oder 2-komponentigen Epoxidharzen, die meistens flutend appliziert werden. Bei ungleichmäßigen Untergründen kann alternativ auch ein Grundierspachtel aufgetragen werden.

Hauptsächlich wirksame Oberflächenschutzschicht (hwO):

Je nach Systemaufbau gliedert sich die hwO in einen einschichtigen oder zweischichtigen Aufbau (OS 11a). Beim einschichtigen Aufbau besteht die hwO zugleich aus Schwimmschicht und Verschleißschicht. Beim zweischichtigen Aufbau sind diese Funktionen in einzelnen Schichten aus Schwimmschicht und Verschleißschicht getrennt.

Die Schwimmschicht ist ca. 1,5 – 2,0 mm dick. Ihre Aufgabe ist die Sicherstellung der Rissüberbrückung. Diese wird nicht abgestreut, da die Verschleißschicht bereits aufgebracht wird bevor die Schwimmschicht komplett ausgehärtet ist.

Die Verschleißschicht ist ca. 3,0 – 5,0 mm dick. Diese ist gewöhnlich der Radreibung bzw. Radbeanspruchung direkt ausgesetzt und muss daher neben einem hohen Verschleißwiderstand auch Eigenschaften wie Ebenheit, Griffigkeit, Wetterbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit aufweisen. Die Verschleißschicht wird i. d. R. mit Quarzsand der Körnung 0,3 – 0,8 mm für einen besseren Haftverbund vorgefüllt und abschließend mit 0,3 – 0,8 mm Quarzsand abgestreut. Mit Hilfe der Abstreuerung soll ein besserer Verbund mit der Deckversiegelung hergestellt werden. Darüber hinaus wird die Rutsicherheit durch die Abstreuerung gewährleistet.

Der hwO können nach [1] eine oder mehrere Schutzfunktionen zugeordnet werden:

- Diffusionsfähigkeit für H₂O
- Diffusionsdichtigkeit für CO₂
- Temperaturwechselbeständigkeit
- Rissüberbrückung (OS 11a und OS 11b)
- Verschleißfestigkeit (OS 11a, OS 11b und OS 8)

Die hwO besteht hauptsächlich aus Polyurethanen, modifizierten Epoxidharzen oder 2-K Polymethylmethacrylaten.

Deckversiegelung:

Als letzte Schicht wird eine Deckversiegelung appliziert. Sie dient zur Bindung der Abstreuerung mit der darunterliegenden Schicht und verhindert das Eindringen von Wasser in die anderen Schichten. Mit der Deckversiegelung kann gleichzeitig die Farbgebung gestaltet werden. Weitere Funktionen liegen in der Beständigkeit gegenüber mechanischen und chemischen Angriffen wie auch der UV-Strahlung.

3.4.2.3 Oberflächenschutzsysteme

OS 8:

Das Oberflächenschutzsystem OS 8 (Abbildung 31) stellt eine starre Beschichtung ohne rissüberbrückende Eigenschaften dar. OS 8 Systeme sind verschleißfest und für mechanisch stark beanspruchte Flächen geeignet. Derartige Systeme können nicht für freibewitterte Flächen mit Rissbewegungen verwendet werden. Schwerpunktmäßig werden OS 8 Systeme im Bereich von Rampen und Bodenplatten eingesetzt. Dieses System besteht aus einer abgestreuten Grundierung, einer abgestreuten hwO und einer Deckversiegelung. Die Gesamtschichtdicke nach [1] beträgt 2,5 mm.

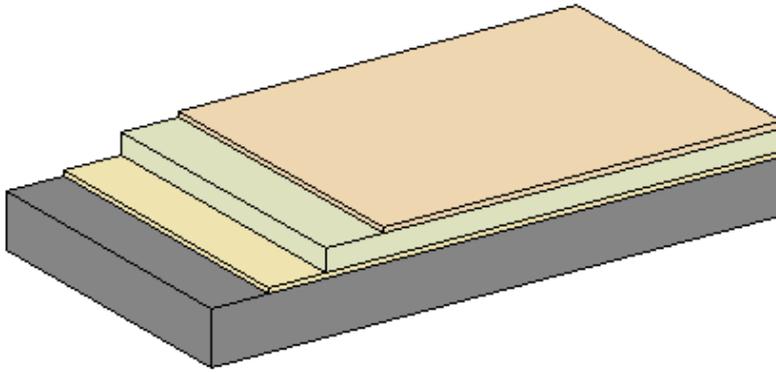


Abbildung 31: Aufbau OS 8 System von unten nach oben: Betonuntergrund, Grundierung, Abstreuerung, Deckversiegelung

OS 10:

Systeme der Klasse OS 10 (Abbildung 32) stellen eine Dichtungsschicht mit hoher Rissüberbrückungsfähigkeit dar. Sie werden hauptsächlich zur Abdichtung von Betonbauteilen mit Trennrissen und planmäßiger mechanischer Beanspruchung verwendet. Die dynamische Rissüberbrückungsfähigkeit beträgt hierbei bis zu 0,4 mm bei -20°C , bei statischen Rissverhältnissen kann bis zu 1 mm bei Raumtemperatur überbrückt werden. OS 10 Systeme finden bei der Beschichtung von Zwischengeschosssdecken Anwendung, hierbei wird eine zusätzliche Verschleißschicht aus Gussasphalt aufgebracht (nach DIN 18195-5). Die hWO wird meist aus Polyurethan auf Flüssigharzbasis ausgeführt.

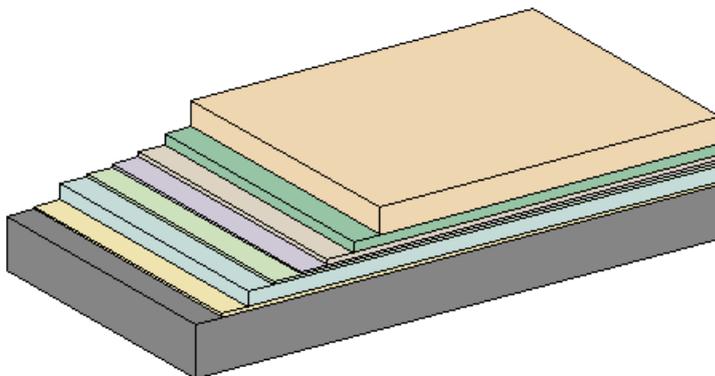


Abbildung 32: Aufbau OS 10 System von unten nach oben: Betonuntergrund, Grundierung, Versiegelung, Kratzspachtelung, ggf. Haftvermittler, Dichtungsschicht der hWO, Verbindungsschicht, Deckschicht aus Gussasphalt

OS 11a:

Das Oberflächenschutzsystem OS 11a (Abbildung 33) weist einen zweischichtigen Aufbau auf. Es verfügt über eine dynamische Rissüberbrückungsfähigkeit und eignet sich für begehbare und befahrbare Flächen. Vorwiegend wird es bei freibewitterten sowie überdachten Flächen mit oberflächennahen Rissen und/oder Trennrissen sowie planmäßigen mechanischen Beanspruchungen eingesetzt. OS 11a Systeme werden auch im Sprüh- und Spritzbereich von Auftausalzen wie z. B. Parkhaus-Freidecks und Brückenkappen verwendet. Das System besteht aus einer abgestreuten Grundierung, einer nicht gefüllten elastischen Schwimmschicht, einer vorgefüllten und anschließend abgestreuten Verschleißschicht sowie einer Deckversiegelung. Es ergibt sich eine Gesamtschichtdicke von mindestens 4,5 mm (1,5 mm für die Schwimmschicht und 3 mm für die Verschleißschicht).

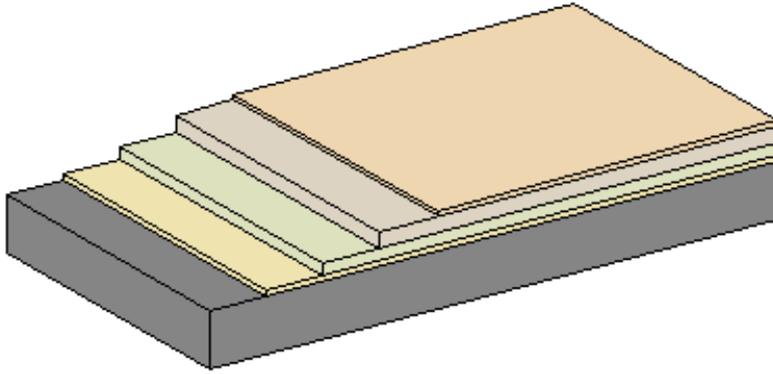


Abbildung 33: Aufbau OS 11a System von unten nach oben: Betonuntergrund, Grundierung, Schwimmschicht, Verschleißschicht, Deckversiegelung

OS 11b:

Im Wesentlichen unterscheidet sich das OS 11b (Abbildung 34) vom OS 11a durch seinen einschichtigen Aufbau. Es besteht aus einer abgestreuten Grundierung, einer verschleißfesten, vorgefüllten und anschließend abgestreuten Oberflächenschutzschicht (hwO) sowie der Deckversiegelung. Die Gesamtschichtdicke beim OS 11b beträgt mindestens 4 mm. Die elastische Oberflächenschutzschicht, wie sie beim zweischichtigen OS 11a ausgeführt wird, ist planmäßig nicht vorhanden und führt zu einer geringeren Widerstandsfähigkeit gegenüber Verschleißbeanspruchung. OS 11b Systeme werden aufgrund dieser reduzierten Widerstandsfähigkeit gegenüber den OS 11a Systemen vorwiegend bei nicht freibewitterten Flächen mit Rissbewegungen eingesetzt.

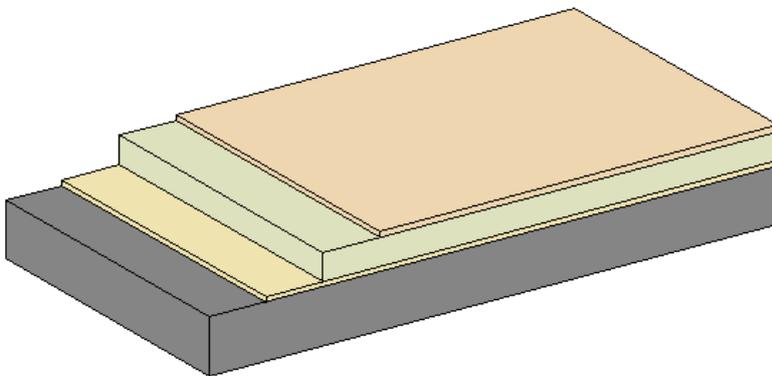


Abbildung 34: Aufbau OS 11b System von unten nach oben: Betonuntergrund, abgestreute Grundierung, verschleißfest, vorgefüllte und abgestreute hwO, Deckversiegelung

OS 13:

Als System der Klasse OS 13 (Abbildung 35) wird eine Beschichtung mit statischer Rissüberbrückungsfähigkeit bezeichnet. Die Verwendung liegt bei mechanisch und chemisch beanspruchten überdachten Bauteilen mit oberflächennahen Rissen. OS 13 Systeme werden häufig bei Rampen oder Ein- und Ausfahrtsbereichen eingesetzt, die durch Bremsvorgänge und Scherbewegungen äußerst starken mechanischen Belastungen unterliegen. Die Herstellung der hwO erfolgt entweder aus Epoxidharz oder aus Polyurethan. Der Aufbau ergibt sich zu einer Gesamtschichtdicke von 2,5 mm.

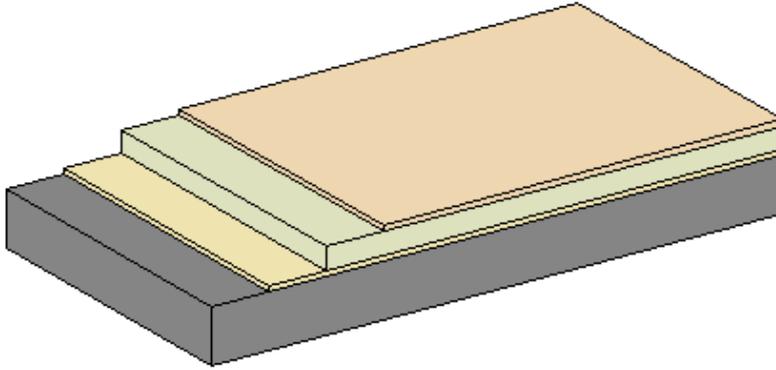


Abbildung 35: Aufbau OS 13 System von unten nach oben: Betonuntergrund, abgestreute Grundierung, verschleißfest, vorgefüllte und abgestreute hwO, Deckversiegelung

3.4.3 Herstellung der Probekörper

3.4.3.1 Allgemein

Die Betonprobekörper wurden aus einem Referenzbeton Typ C (0,45) nach DIN EN 1766 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken: Prüfverfahren, Referenzbeton für Prüfungen [N14] hergestellt und anschließend durch Fachpersonal beschichtet. Nach 28 Tagen Aushärtezeit wurden die Probekörper sandgestrahlt um die geforderte Rautiefe von 0,3 mm zu erreichen. Insgesamt wurden 16 verschiedene Systeme von fünf verschiedenen Herstellern geprüft. Es handelte sich dabei um OS 8, OS 10, OS 11a, OS 11b und OS 13-Systeme.

Es wurden in Abstimmung mit der Deutschen Bauchemie e. V. fünf namenhafte Hersteller von Oberflächenschutzsystemen ausgewählt, die insgesamt 16 gängige Systeme zur Prüfung bereitstellten. Dazu wurden je vier Systeme der Klassen OS 11a und OS 11b ausgewählt. Die Probekörper erhielten unterschiedliche Bezeichnungen. Es wurden folgende Bezeichnungen gewählt:

- Erste Zahl / Buchstabe steht für OS-System
- Zweite Zahl bezeichnet den Hersteller
- Dritte Zahl steht für das System des Herstellers

Bsp.: 11A.1.1 = OS 11a, Hersteller 1, System 1

11B.5.2 = OS 11b, Hersteller 5, System 2

Die ausgewählten Systeme unterscheiden sich bezüglich ihres Aufbaus und ihrer verarbeiteten Produkte. Die nachstehende Tabelle 6 gibt einen Überblick über die verwendeten Systeme und ihre Eigenschaften.

Tabelle 6: Übersicht der Hersteller und Systeme

System	Hersteller	Schichten der hWO	Rissüberbrückung	Material
OS 8.1.1	1	1	Keine	EP
OS 8.1.2	1	1	Keine	EP
OS 8.2.1	2	1	Keine	EP
OS 8.3.1	3	1	Keine	EP
OS 10.4.1	4	3	Dynamisch	PMMA
OS 11.A.1.1	1	2	Dynamisch	EP
OS 11.A.1.2	1	2	Dynamisch	PU
OS 11.A.1.3	1	2	Dynamisch	PU
OS 11.A.2.1	2	2	Dynamisch	EP
OS 11.A.2.2	2	2	Dynamisch	PU
OS 11.B.1.1	1	1	Dynamisch	EP
OS 11.B.1.2	1	1	Dynamisch	PU
OS 11.B.2.1	2	1	Dynamisch	EP
OS 11.B.5.1	5	1	Dynamisch	PU
OS 13.4.1	4	1	Statisch	PMMA
OS 13.4.2	4	1	Statisch	PMMA

3.4.3.2 Herstellung von Betongrundkörper

Als Probekörper wurden Platten mit den Abmessungen 0,5 m x 0,5 m x 0,05 m und Ringe mit einer Dicke von 0,20 m und einem Ringdurchmesser von 1,50 m hergestellt. Für die Betonage der ringförmigen Probekörper wurde eine Metallschalung mit Bewehrung verwendet. Das Einbringen einer Bewehrung war nötig um die erforderliche Eigensteifigkeit des Probekörpers zu gewährleisten, da die Trägerplatte des Prüfstandes dies nicht gewährleisten konnte. Beide Probekörperarten wurden aus einem Referenzbeton Typ C (0,45) nach DIN EN 1766 „Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken: Prüfverfahren, Referenzbeton für Prüfungen“ [N14] hergestellt. Die Betonzusammensetzung kann dem Anhang entnommen werden.

Die Herstellung erfolgte an vier Betonierterminen. Die erste Betonage fand am 26.03.2012 statt; hierbei wurden zunächst die Probekörper hergestellt, die später für die Beschichtung der OS 11.B Systeme verwendet wurden. Am 30.03.2012 erfolgte die zweite Betonage, bei der die Probekörper für die OS 8 Systeme hergestellt wurden. Die dritte Betonage erfolgte am 03.04.2012; dabei wurden die Probekörper für die OS 11.A Systeme hergestellt. Am 12.04.2012 fand die vierte Betonage statt, bei der die Probekörper für die OS 13 Systeme und OS 10 Systeme hergestellt wurden.

Pro OS-System wurden 2 Probplatten und ein Viertelkreis des Ringprobekörpers genutzt. Es wurden daher insgesamt 16 Platten und vier Ringe hergestellt. Der Beton wurde in die Schalung (Abbildung 36) gegossen und anschließend mit der Messlatte nivelliert. Mit der Traufel und dem Reibebrett wurde die Oberfläche nachverdichtet, so dass sie möglichst frei von Luftporen und Unebenheiten war. Der Nachweis der Druckfestigkeit und der Haftzugfestigkeit erfolgte an parallel hergestellten Würfeln nach 28 Tagen. Weiterhin wurden bei jeder Betonage die Frischmörtelkennwerte bestimmt.



Abbildung 36: Schalung der Platten (links), Schalung mit innenliegender Bewehrung (mittig) Einfüllen des Betons (rechts)

3.4.3.3 Betonkennwerte

Frischbetonkennwerte:

Parallel zur Betonage erfolgten die Prüfungen zur Bestimmung der Frischbetonkennwerte des hergestellten Betons nach DIN EN 12350 [N15]. Es wurde der Luftporengehalt bestimmt, ebenso wie das Ausbreitmaß und die Rohdichte. Die Ergebnisse der Frischbetonprüfungen sind Tabelle 7 zu entnehmen. Bei der Herstellung der letzten drei Chargen wurde aufgrund der Verarbeitbarkeit eine höhere Menge an Fließmittel zugegeben. Daher wiesen diese Chargen höhere Ausbreitmaße auf, als die erste Herstellung. Die Spannweite reichte hierbei von steif (Herstellung: 26.03.2012) bis sehr weich (Herstellung: 30.03.2012).

Tabelle 7: Frischbetonkennwerte

Herstelltag	LP-Topf leer [kg]	LP-Topf gefüllt [kg]	Rohdichte [kg/dm ³]	Ausbreitmaß [mm]	Konsistenzklasse	LP-Gehalt [%]
26.03.2012	4,54	23,40	2,36	340	F 1	2,15
30.03.2012	4,56	23,38	2,35	520	F 4	2,70
03.04.2012	4,56	23,59	2,38	350	F 2	1,80
12.04.2012	4,56	23,43	2,36	440	F 3	1,80

Festbetonkennwerte:

Zur Bestimmung der Festbetonkennwerte wurden bei jeder Betonherstellung 9 Würfel und 3 Zylinder hergestellt. An jeweils 3 Würfeln wurde die 7 bzw. 28-Tage Festigkeit ermittelt, die verbleibenden 3 Würfel wurden zur Bestimmung der Haftzugfestigkeit verwendet.

Die Festbetonprüfung zur Ermittlung der Festigkeit wurde nach DIN EN 12390-3 [N16] durchgeführt. Tabelle 8 zeigt eine Übersicht der Betone mit der jeweiligen Druckfestigkeit

von Würfeln und Zylindern. Die geforderten Werte für die 28-Tage Druckfestigkeiten der Würfel ($f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$) und Zylinder ($f_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$) für einen Referenzbeton Typ C (0,45) wurden eingehalten. Alle Mischungen konnten sehr gute Festigkeitswerte aufweisen. Bei der Auswertung der Betonkennwerte zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Konsistenzklasse des Frischbetons und der 28-Tage Festigkeit. Die am 26.03.2012 und am 03.04.2012 hergestellten Betonchargen konnten nach ihrem Ausbreitmaß in die Konsistenzklassen F1 (steif) und F2 (plastisch) eingestuft werden. Diese wiesen bei den Festbetonkennwerten auch die höchste Druckfestigkeit auf. Die beiden Chargen vom 12.04.2012 und 30.03.2012 entsprachen den Konsistenzklassen F3 (weich) und F4 (sehr weich) und zeigten geringere Festigkeitswerte der hergestellten Mischungen. Trotz der sehr unterschiedlichen Plastizität der vier hergestellten Chargen wurde bei allen die geforderte Mindestfestigkeitsklasse des Referenzbetons von C 40/50 mit der 28-Tage-Festigkeit zielsicher erreicht.

Tabelle 8: Festbetonkennwerte

Herstelltag	Probekörper- geometrie	Probekörper- bezeichnung	Prüfalter [d]	Rohdichte [kg/dm ³]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]
26.03.2012	Würfel	1	7	2,36	54,8	54,9
		2		2,36	56,2	
		3		2,35	53,7	
		4	28	2,36	62,4	63,9
		5		2,36	63,7	
		6		2,36	65,7	
	Zylinder	10	28	2,37	55,0	56,1
		11		2,37	56,5	
		12		2,38	56,7	
30.03.2012	Würfel	13	6	2,35	51,3	51,0
		14		2,35	51,1	
		15		2,33	50,8	
		16	28	2,34	58,2	59,8
		17		2,38	63,9	
		18		2,33	57,3	
	Zylinder	22	28	2,35	55,0	54,4
		23		2,35	54,2	
		24		2,36	54,1	
03.04.2012	Würfel	25	7	2,37	58,0	58,7
		26		2,36	59,1	
		27		2,36	59,1	
		28	29	2,38	68,0	66,0
		29		2,37	67,9	
		30		2,37	62,2	
	Zylinder	34	29	2,41	62,6	61,5
		35		2,40	60,5	
		36		2,40	61,5	
12.04.2012	Würfel	37	7	2,32	53,8	53,1
		38		2,31	52,1	
		39		2,30	53,4	
		40	28	2,33	63,1	62,0
		41		2,32	61,1	
		42		2,34	61,9	
	Zylinder	46	28	2,33	55,4	54,4
		47		2,33	52,8	
		48		2,34	55,1	

Ergebnisse Endfestigkeit mit Rückprallhammer:

Zur Feststellung der Endfestigkeit wurde nach erfolgter Verschleißprüfung am 12.12.2013 eine Messung der Festigkeit mittels Rückprallhammer (Tabelle 9) durchgeführt. Die Prüfung der Endfestigkeit mittels Rückprallhammer dient nur einer Abschätzung der endgültig erreichten Betonfestigkeit. Da sich diese Methode für hochfeste Betone nur bedingt eignet, ist eine genaue Bestimmung der Endfestigkeitsklasse nicht möglich. Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Rückprallhammermessungen. Es ergab sich für alle vier Probekörper eine Einschätzung der Endfestigkeit > C50/60.

Tabelle 9: Festgestellte Endfestigkeit mit Rückprallhammer

Endfestigkeit am 12.12.2013												
	26.03.2012			30.03.2012			03.04.2012			12.04.2012		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	57	62	58	54	58	58	59	58	60	60	54	56
2	58	62	66	55	64	56	64	61	61	61	56	63
3	62	65	62	57	60	60	60	59	61	63	59	58
4	63	67	63	59	65	60	55	64	63	59	63	59
5	61	64	66	58	64	59	60	62	63	60	61	56
6	65	67	66	60	68	63	65	61	60	58	65	64
7	64	68	60	63	65	64	60	64	66	61	57	63
8	67	67	66	60	64	65	62	60	67	63	62	61
9	68	64	67	60	69	63	64	63	60	61	63	65
Median	63	65	66	59	64	60	60	61	61	61	61	61
Median	65			60			61			61		
Festigkeit	> C50/60											

Oberflächenzugfestigkeit:

Die Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit erfolgte nach DIN EN 1542 [N17]. Zur Durchführung wurden drei der hergestellten Würfel verwendet. Die Prüfung erfolgte am Tag der Applikation der Beschichtungssysteme. Dazu wurden die aufgeklebten Abzugskörper mit $0,05 \text{ N}/(\text{mm}^2 \times \text{s})$ belastet und die dazugehörige Bruchkraft sowie die Versagensart protokolliert. Bei der Feststellung der Versagensart wurde unterschieden zwischen:

- Kohäsionsbruch im Betonuntergrund
- Bruch zwischen Klebstoff und Abzugskörper

Die Ergebnisse der Oberflächenzugprüfung mit entsprechender Versagensart der Probekörper sind in Tabelle 10 dargestellt. Die Norm fordert eine Mindestabreißfestigkeit von $2,50 \text{ N}/\text{mm}^2$, bei der Mischung vom 12.04.2012 konnte ein Würfel den geforderten Wert nicht aufweisen ($2,34 \text{ N}/\text{mm}^2 < 2,50 \text{ N}/\text{mm}^2$). Im Mittel wurde die geforderte Abreißfestigkeit jedoch eingehalten.

Tabelle 10: Ergebnisse Oberflächenzugfestigkeit

Herstelltag	Probekörper		Prüfalter [d]	Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	Mittelwert [N/mm ²]	Versagensart
26.03.2012	7	OS 8	142	3,91	4,08 > 2,50	A
	8			4,67		A
	9			3,65		A
30.03.2012	19	OS 11a	138	2,92	4,15 > 2,50	A
	20			4,39		A
	21			5,13		A
03.04.2012	31	OS 11b	134	5,21	5,14 > 2,50	A
	32			5,49		A
	33			4,72		A
12.04.2012	43	OS 10/13	125	3,62	3,25 > 2,50	A
	44			3,80		A
	45			2,34 ¹⁾		A
A: Kohäsionsbruch im Betonuntergrund, B: Bruch zwischen Klebstoff und Abzugskörper 1) geforderte Mindesthaftzugfestigkeit von 2,5 N/mm ² konnte nur im Mittelwert, nicht Einzelwert nachgewiesen werden						

Haftzugfestigkeit:

Die Bestimmung der Haftzugfestigkeit der Beschichtung erfolgte nach vollendeter Verschleißprüfung. Diese Prüfung sollte zeigen, ob die Beschichtung im Belastungsbereich durch Scherbewegungen vom Untergrund gelöst wurde. Die Prüfung erfolgte analog zur Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit nach DIN EN 1542 [N17]. Es wurden jeweils 3 Stellen in der Nähe der Fahrspur und 3 Stellen im unbelasteten Bereich geprüft. Aufgrund der vorhandenen Beschichtung erwies sich eine Einstufung laut Norm in die Versagensarten A und B nicht zweckmäßig. Die Einstufung wurde daher um die Versagensart C „Bruch innerhalb des Beschichtungssystems“ ergänzt. Die genauen Werte der Haftzugfestigkeitsprüfung, sowie die detaillierte Beschreibung der Bruchstellen können dem

Anhang Tabelle 15 bis Tabelle 18 entnommen werden. In Tabelle 11 sind für die untersuchten Systeme jeweils die Mittelwerte der Haftzugfestigkeit für den belasteten und unbelasteten Bereich inklusive der Versagensart aus drei Proben dargestellt.

Bei den Probekörpern der Systeme OS 8, OS 11a und OS 11b fiel auf, dass die Proben aus dem belasteten Bereich deutlich höhere Haftzugfestigkeitswerte aufwiesen, als die des unbelasteten Bereichs. Die beiden Systeme der Klasse OS 13 wiesen ebenfalls höhere Haftzugfestigkeitswerte im belasteten Bereich auf als im unbelasteten. Das OS 10- wie auch das OS 11a-System auf dem 4. Probekörper hatten dagegen im belasteten Bereich geringere Haftzugfestigkeiten als im unbelasteten. Keines der Systeme konnte jedoch im belasteten Bereich deutlich schlechtere Werte aufweisen als im unbelasteten. Ein Ablösen der Beschichtung konnte nicht festgestellt werden.

Bei den OS 8 und OS 13 Beschichtungssystemen fand bei allen Proben ein Kohäsionsbruch im Betonuntergrund (Versagensart A) statt. Dies erklärt die hohen Haftzugfestigkeiten sowohl in belasteten wie auch unbelasteten Bereich und zeigt, dass die einzelnen Schichten des Beschichtungssystems eine gute Haftung auf der Betonoberfläche wie auch einen guten Verbund innerhalb des Systems hatten. Bei den OS 11a- und OS 11b-Systemen erfolgte der Bruch i. d. R. innerhalb des mehrschichtigen Beschichtungssystems, weshalb die Haftzugfestigkeiten deutlich niedriger ausfallen. Die niedrigsten Haftzugfestigkeiten insgesamt wiesen die OS 11a-Systeme auf. Dies lässt darauf schließen, dass innerhalb des Beschichtungssystems die einzelnen Schichten einen niedrigen Verbund aufwiesen. Zwischen der Grundierung und dem Betonuntergrund lag somit ein besserer Verbund bzw. größere Haftung vor wie innerhalb des Systems.

Tabelle 11: Mittelwerte der Haftzugfestigkeit

Herstelltag	System		Haftzugfestigkeit [N/mm ²]		Versagensart	
			belastet	unbelastet	belastet	unbelastet
30.30.2012	OS 8	8.1.1	4,37	4,01	A	A
		8.1.2	4,25	4,03	A	A
		8.2.1	4,01	3,91	A	A
		8.3.1	4,95	4,74	A	A
03.04.2012	OS 11a	11.A.1.1	0,91	0,77	C	C
		11.A.1.2	1,40	1,24	C	C
		11.A.2.1	0,96	0,76	C	C
		11.A.2.2.	1,11	0,75	C	C
26.03.2012	OS 11b	11.B.1.1	2,35	2,04	C	B
		11.B.1.2	2,17	2,4	C	C
		11.B.2.1	2,53	1,97	C	C
		11.B.5.1	2,53	2,31	B	C
12.04.2012	OS 10/13	11.A.1.3	1,15	1,46	C	C
		10.4.1	0,73	1,16	C	C
		13.4.1	2,36	1,97	A	A
		13.4.2	2,64	2,43	A	A

A: Kohäsionsbruch im Betonuntergrund
B: Bruch zwischen Klebstoff und Abzugskörper
C: Bruch innerhalb des Beschichtungssystems

3.4.3.4 Vorbereitung von Messstellen

Um im Verlauf der Prüfung die Schichtdicke messen zu können, wurden vor der Applikation kleine Metallstreifen in die Oberflächen der Probekörper eingeklebt. Dazu wurde an jeder Seite, etwa 10 cm vom Rand entfernt, eine Nut in den Beton gefräst, in die die Metallstreifen eingeklebt wurden. Weiterhin wurden in der Mitte der Platten zwei runde Metallplatten eingeklebt, die für Kontrollmessungen vorgesehen waren. Die Unebenheiten in der Oberfläche, die durch Einkleben der Metallplatten entstanden, wurden im Verlauf des Beschichtens mit den entsprechenden Beschichtungsprodukten wieder geschlossen. Hierbei wurde als Füllmaterial immer die entsprechende Grundierung des Systems verwendet und diese mit Zementleim zu einer zähen Masse verfestigt. Mit dem Beschichten wurde erst nach dem Aushärten des Füllmaterials begonnen. Abbildung 37 zeigt die Lage der Metallstreifen im Probekörper (rot dargestellt).

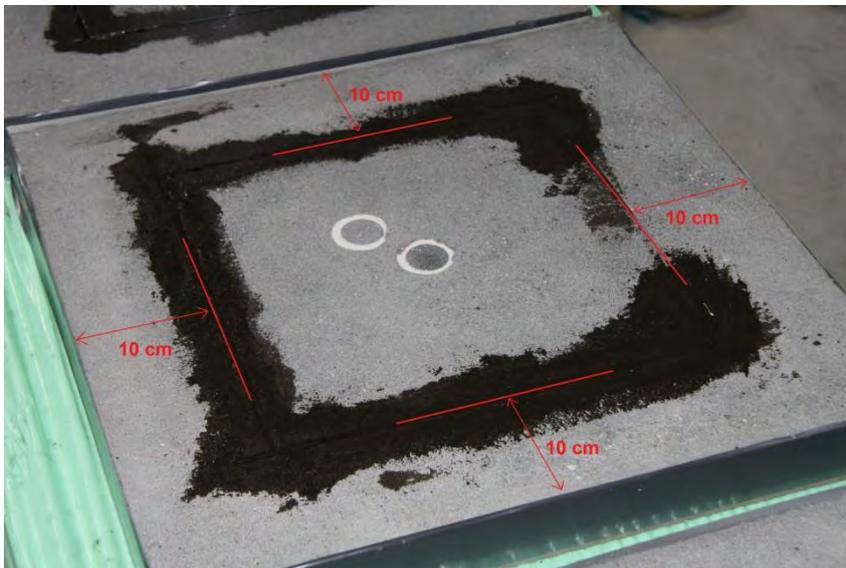


Abbildung 37: Anordnung der Metallplatten im Probekörper

3.4.3.5 Vorbereiten der Betonoberfläche – Sandstrahlen

Bevor die Probekörper beschichtet werden konnten, musste durch das Sandstrahlen mit Korund die geforderte Oberflächenrauigkeit hergestellt werden. Die Ermittlung der Rautiefe erfolgte nach DIN EN 1766 [N14] mit dem Sandflächenverfahren. Dazu wurde ein Messzylinder mit 25 ml Sand nach [N14] befüllt. Dieser wurde mittels einer Scheibe auf der Betonoberfläche verteilt, bis kein weiteres Verteilen mehr möglich war. Der Durchmesser der Sandfläche wurde gemessen und somit die Rautiefe bestimmt. Abbildung 38 zeigt die Bestimmung der Oberflächenrauigkeit eines Probekörpers. Der Radius der Sandfläche betrug hierbei 380 mm und die dazugehörige Rauigkeit 0,22 mm. In einem zweiten Arbeitsschritt musste noch einmal mit einem Druckluftgerät nachgearbeitet werden, um die geforderte Rauigkeit von 0,3 bis 0,5 mm zu erreichen. Diese bewirkt, dass die Beschichtung besser auf der Oberfläche haften bleibt und sich nicht während der Prüfung durch Scherbewegungen ablöst. Um den Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die Verschleißbeständigkeit der Oberfläche zu untersuchen, wurde je eine Platte bereits nach dem ersten Stahlgang (Rauigkeit 0,22 mm) mit dem ausgewählten OS-System beschichtet. Somit betrug die Rautiefe der sandgestrahlten Probekörper dem Grenzwert von 0,3 mm und die der einmalig gestrahlten Platten 0,22 mm.



Abbildung 38: Bestimmung der Rautiefe mit dem Sandflächenverfahren

3.4.3.6 Applikation der OS-Systeme

Ein Mitarbeiter des Projektpartners applizierte die Systeme fachgerecht vor Ort (Abbildung 39). Es wurden jeweils zwei Platten mit dem gleichen System beschichtet. Als Referenzsysteme für die ungestrahlten Platten wurden je ein OS 11.A und ein OS 11.B System des gleichen Herstellers gewählt. Zu beachten waren die Einhaltung der Mischverhältnisse und Zeiten, sowie das fachgerechte Aufbringen auf die Probekörper.



Abbildung 39: Ring 11.A: links: auf der linken Seite abgestreute Grundierung, auf der rechten nicht vorgefüllte, elastische Verschleißschicht; mittig: linke Seite: vorgefüllte, abgestreute Verschleißschicht, rechts: Verschleißschicht vor dem Abstreuen (Schicht muss noch egalisiert werden); rechts: alle Systeme abgestreut, vor der Deckversiegelung

3.4.4 Versuchsdurchführung

3.4.4.1 Versuche mit dem PAT

Die Verschleißversuche mit dem Parking Abrasion Test wurden mit einem Standard-PKW-Reifen durchgeführt. Die Intervalldauer einer Rotation inkl. Pausenzeit betrug hierbei elf Sekunden. Nach jeweils 1.000 Zyklen erfolgte zuerst eine visuelle Begutachtung des Verschleißes und eine Einstufung in die entsprechende Verschleißklasse. Zusätzlich wurde eine magnetisch-induktive Messung der Schichtdicke durchgeführt.

3.4.4.2 Versuche mit dem DAT

Die Versuche mit dem Driving Abrasion Test wurden mit zwei unterschiedlichen Radtypen durchgeführt, die aufgrund gleicher Abmessungen zusammen geprüft werden konnten. Zum einen wurde ein weiches Vulkollanrad verwendet und zum anderen ein Polyamidrad aus Hartplastik. Hierbei sollte der Einfluss der unterschiedlichen Radtypen auf den Verschleiß untersucht werden. Die Auswertung der Versuche erfolgte hierbei mittels laserbasierter Messtechnik.

Vor Beginn der Prüfung wurde der Probekörper auf die Drehteller aufgelegt und dort mittig eingespannt. Am Ende des Lastarmes wurden Stahlplatten aufgebracht, die eine Auflast von 4 kN auf die Prüfräder erzeugten. Diese Last entspricht dem Gewicht einer Achse eines PKW mit einer Gesamtmasse von ca. 1.600 kg. Die Auflast wurde mittels Kraftmessdose, die über den Testrädern angebracht wurde, auf den Zielwert eingestellt. Die Prüfräder wurden an einer speziellen Halterung, die eigens für die Belastung mit zwei Testrädern hergestellt wurde, befestigt und konnten so gleichzeitig geprüft werden. Der Fahrspurradius betrug hierbei etwa 0,5 m. Die Prüfgeschwindigkeit wurde auf 16 U/min eingestellt. Nach jeweils 1.000 bzw. im späteren Verlauf der Prüfung 1.500 Zyklen wurde die Prüfung gestoppt um Messungen vorzunehmen. Es erfolgte sowohl eine Bilddokumentation als auch eine Lasermessung der Oberfläche. Die Prüfung wurde beendet, wenn ein oder mehrere Systeme so stark beschädigt waren, dass ein Weiterprüfen nicht mehr möglich war. Der mit 11.A Systemen beschichtete Probekörper wurde versuchsweise über diesen Punkt hinaus geprüft. Dazu wurden die beschädigten Systeme mit einer Metallplatte abgedeckt, so konnten die unbeschädigten Bereiche weiter geprüft werden.

Lasermessungen:

Nach jedem Prüfzyklus wurde der Laser am Lastarm befestigt. Die Prüfgeschwindigkeit des Prüfstandes wurde auf die minimale Drehzahl von 2 U/min herabgesetzt, so dass pro Messung ein Plattenviertel, d. h. ein System, vermessen werden konnte. Zur Markierung von Beginn und Ende der Systeme wurde eine kleine Erhöhung verwendet, deren Ausschlag in den Messergebnissen die Übergänge der Systeme kennzeichnen sollte. So konnte bei der späteren Auswertung der relevante Messbereich des Systems identifiziert werden. Während der Messung lieferte die Software des Lasers bereits ein 3D-Bild der Messergebnisse. Diese Darstellung wurde direkt zur Kontrolle der Messergebnisse verwendet. Die detaillierte Auswertung der 3D-Visualisierung erfolgte später mit bereinigten Messwerten unter Anwendung der Software MATLAB.

3.4.5 Messverfahren zur Bestimmung des Verschleißes

3.4.5.1 Zerstörende Verschleißbestimmung

Als zerstörende Prüfung ist die Entnahme von Bohrkernen zu nennen. Vor Versuchsbeginn wurde an einer unbefahrenen Stelle ein Bohrkern entnommen. Nach Beendigung der Versuche wurde erneut ein Bohrkern entnommen und es konnte der Verschleiß an den gespaltenen Bohrkernen durch Vergleich bestimmt werden (Abbildung 40). Im Rahmen der Untersuchungen wurden Bohrkern mit einem Durchmesser von 22 mm entnommen.

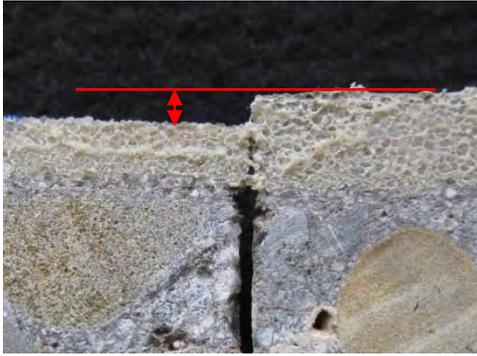


Abbildung 40: Bohrkernentnahme vor und nach der Prüfung

Dieses Verfahren ist bei Systemen mit einem hohen Verschleiß gut anwendbar. Nachteil ist jedoch, dass nur zu Beginn und nach Beendigung des Versuchs eine Probenentnahme sinnvoll möglich ist, da nur eine begrenzte Anzahl von Bohrkernproben an der schwächsten Stelle entnommen werden kann. Bei Oberflächenschutzsystemen mit geringem Verschleiß ist eine genaue Bestimmung des Schichtdickenabtrags nur schwer quantifizierbar.

3.4.5.2 Zerstörungsfreie Verschleißbestimmung

Durch Wiegen kann der Verschleiß zerstörungsfrei bestimmt werden. Die Auswertung der Versuche erfolgte durch die Bestimmung von Massenverlusten. Vor und nach der Prüfung wurden die Probekörper gewogen. Anhand der Differenz konnte der Verschleiß bestimmt werden. Nachteil dieses Verfahrens war ebenfalls die Ungenauigkeit. Der Verschleiß ist in i. d. R. nicht in dem Maße ausgeprägt, als dass eine ausreichend genaue, aussagekräftige Massendifferenz ermittelt werden konnte. Zusätzlich wurde das Ergebnis durch anhaftende Radpartikel verfälscht. Positiv zu bewerten ist die Möglichkeit auch während des Versuchs das Gewicht des Probekörpers bestimmen zu können.

Durch visuelle Begutachtung (Abbildung 41) kann der Verschleiß ebenfalls bestimmt werden. Nach Beendigung der jeweiligen Zyklenanzahl oder des Versuchs wurde der Probekörper ausgebaut und von den Reifenpartikeln gereinigt. Es wurde anschließend eine visuelle Begutachtung des Probekörpers durchgeführt, die fotografisch dokumentiert wurde. Vorteil dieses Verfahrens war die einfache und schnelle Dokumentation des Verschleißes. Soll anhand einer visuellen Begutachtung ein System beurteilt werden, so ist dies allerdings kein objektives Verfahren. Es konnte ebenfalls keine genaue Beurteilung über die Stärke des Verschleißes getroffen werden.

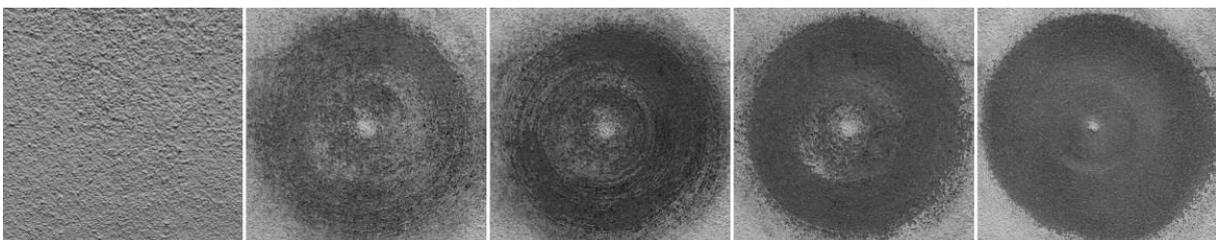


Abbildung 41: Verschleißverlauf an unterschiedlichen Systemen von links (Ausgangszustand) nach rechts (15.000 Zyklen)

Mit einem magnetisch-induktiven Messverfahren (Abbildung 42) [16-18] kann die Schichtdicke zerstörungsfrei bestimmt werden. Dünne Metallstreifen mit einer Breite von 3 mm und einer Länge von 150 mm wurden hierfür vor dem Beschichten bündig in den

Betonprobekörper eingelassen. Die Messung wurde mittels einer Messschablone durchgeführt, um für jede Wiederholungsmessung den gleichen Messpunkt sicherzustellen. Darüber hinaus konnten Ungenauigkeiten durch die Oberflächenrauigkeit ausgeglichen werden. Dieses Verfahren stellte ein sehr genaues Verfahren dar, setzt jedoch den Einbau von Metallstreifen voraus.



Abbildung 42: Gerät zur Schichtdickenmessung mit zugehöriger Beschriftung der Messstellen

Mit einem ursprünglich für die Medizintechnik entwickelten Halbleiter-Laser kann der Verschleiß durch 2D- bzw. 3D-Laserscannung bestimmt werden. Bei einer Laserscannung wurde eine 2-dimensionale Tiefenmessung (Abbildung 43) in z-Richtung durchgeführt. Die Koordinaten in x- und y-Richtung ergaben sich aus der zugehörigen Position des Lasers. Anhand dieser Koordinaten ließ sich anschließend ein dreidimensionales Bild der Oberfläche erstellen. Die maximale Messbreite des verwendeten Lasersystems betrug 240 mm.

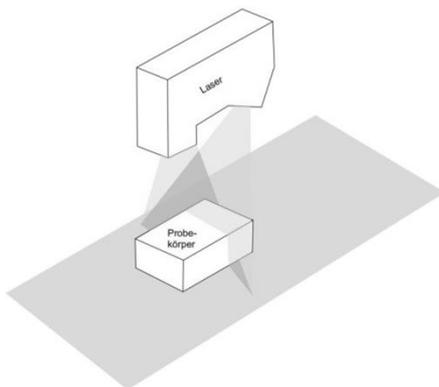


Abbildung 43: Funktionsweise 2-dimensionale Tiefenmessung

In Abbildung 44 ist beispielhaft die Laserscannung eines OS 11 B-Systems dargestellt. Die Laser-Messung hat eine Messgenauigkeit von $0,4 \mu\text{m}$ in die z-Achse und $5 \mu\text{m}$ in die x-Achse.

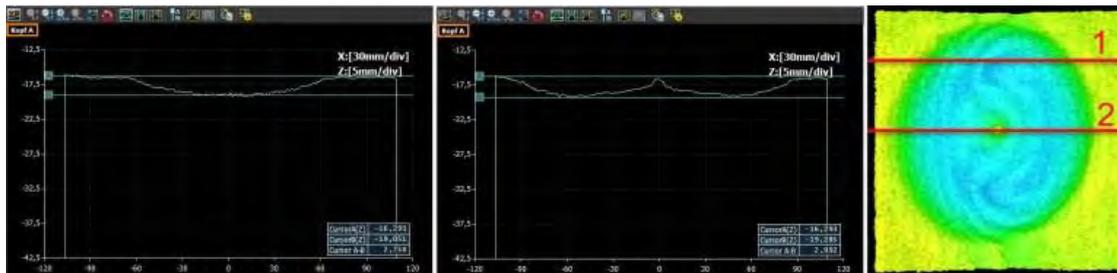


Abbildung 44: Verschleißbestimmung mittels 2D-/3D-Laserscanning: Links Messstelle 1, mittig Messstelle 2 und rechts Anordnung der Messstellen

3.4.6 Auswertung

3.4.6.1 Zerstörende Verschleißbestimmung

Zur quantitativen Bewertung des tatsächlichen Verschleißes eignet sich die Bohrkernentnahme. Dargestellt ist in Abbildung 45 ein gespaltener Bohrkern vor und nach der Prüfung. Bei diesem System handelt es sich um ein OS 11b-System. Geprüft wurde diese Oberfläche mit dem Parking Abrasion Test. Der rechte Bohrkern wurde nach 15.000 Zyklen entnommen. Der Verschleiß in der Verschleißschicht ist deutlich erkennbar. Für Bestandsbauten ist dies eine Variante, die eine gute und schnelle Beurteilung des Verschleißes zulässt. Eine Dokumentation des Verschleißes mit verschiedenen Zwischenintervallen ist jedoch nicht möglich.

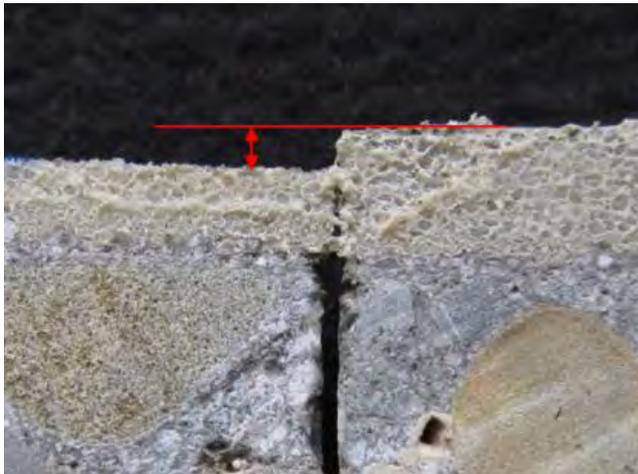


Abbildung 45: Bohrkernentnahme: links vor der Prüfung und rechts nach der Prüfung

3.4.6.2 Zerstörungsfreie Verschleißbestimmung

Zerstörungsfrei kann der Verschleiß in einer Bilddokumentation erfasst werden. In Abbildung 46 ist der Verschleiß an einem OS 11b-System in Abhängigkeit von der Zyklanzahl dargestellt. Fortschreitender Verschleiß mit zunehmender Zyklanzahl ist deutlich erkennbar. Bereits nach 1.000 Zyklen waren einzelne Korngruppen ausgebrochen. Nach 5.000 Zyklen fehlte die Deckversiegelung komplett und der Verschleiß fand ausschließlich in der Verschleißschicht statt.

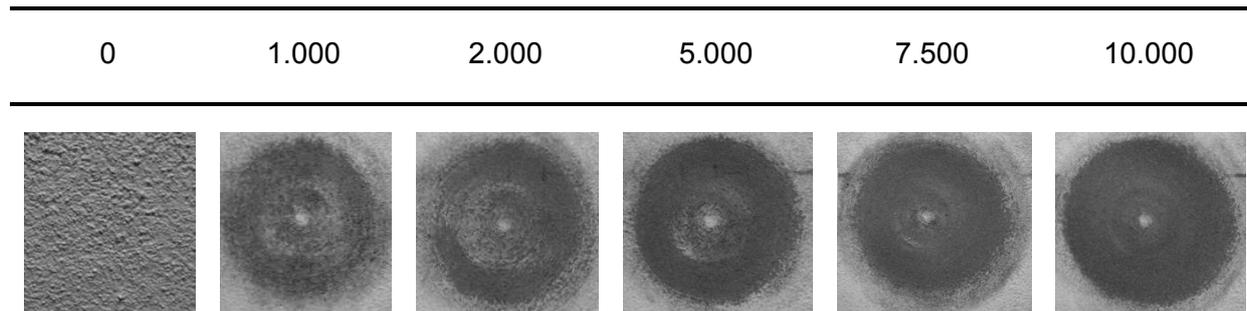


Abbildung 46: Dokumentation des Verschleißes in Abhängigkeit von der Zyklanzahl an einem OS 11b-System bei der visuellen Begutachtung

In Abbildung 47 ist die Auswertung des o. g. OS 11b-Systems (Abbildung 46) in Form eines Höhenprofils dargestellt. Bei diesem System wurde der Verschleiß mit dem PAT bestimmt. Auf der y-Achse ist die Gesamtschichtdicke des Systems über den Messstellen 1 bis 5 aufgetragen. Ergänzend dazu wurde ebenfalls auf der y-Achse rechts die Zyklanzahl angegeben. Mit Erreichen von 15.000 Zyklen wurde ein Verschleiß von bis zu 38 % bezogen auf die Anfangsschichtdicke ermittelt. In den Randbereichen war der Verschleiß nach 15.000 Zyklen deutlich niedriger (Messstelle 1 und 5: 23 % und 27 %).

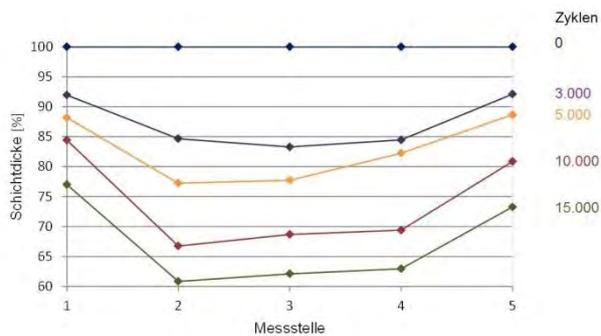


Abbildung 47: Auswertung eines OS 11b-Systems mit dem Schichtdickenmessgerät nach 0; 3.000; 5.000; 10.000 und 15.000 Zyklen

In Abbildung 48 ist der Verschleiß eines OS 10-Systems nach 20.000 Überfahrungen dargestellt. Geprüft wurde das System mittels DAT. Als Räder wurden hier Polyamid- und Vulkollanräder verwendet. Einen sichtbaren Verschleiß verursachte nur das Polyamidrad.

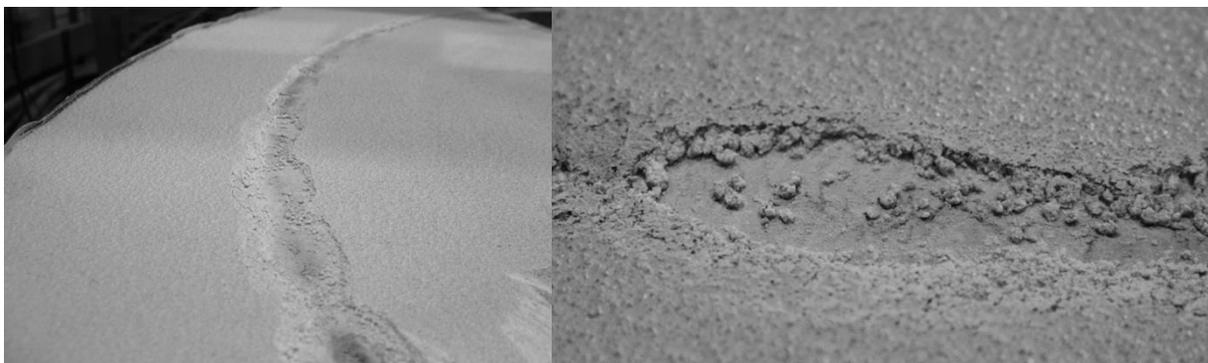
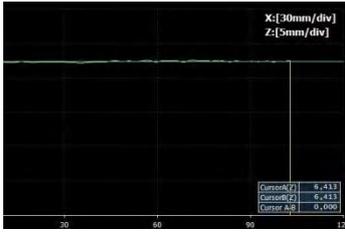
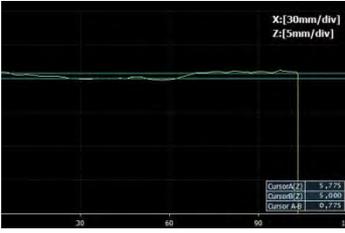
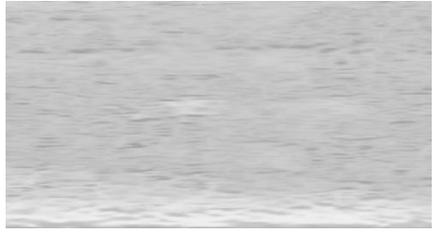
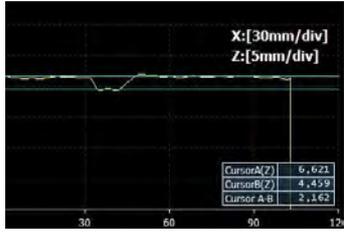
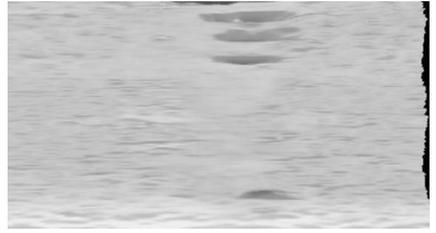
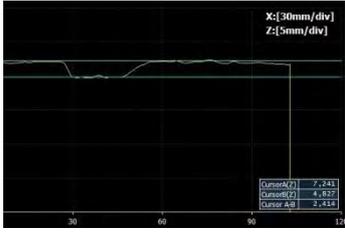
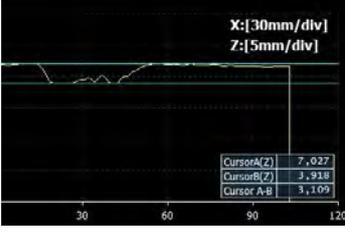


Abbildung 48: OS 10-System nach 20.000 Überfahrungen mit dem Driving Abrasion Test mit Polyamidrad

Nachfolgend ist in Tabelle 12 eine Lasermessung eines OS 10-Systems dargestellt. Neben dem Verschleiß ist ein Höhenprofil wie auch ein 3D-Bild (Draufsicht) mit angegeben. Deutlich erkennbar ist die Verschleißzunahme sowohl im Höhenprofil als auch im zugehörigen 3D-Bild.

Tabelle 12: Dokumentation des Verschleißes an einem OS 11b-System mit dem Laser

Zyklen/ Verschleiß	Höhenprofil	3D-Bild
0 0 mm		
5.000 0,8 mm		
10.000 2,2 mm		
12.500 2,4 mm		
15.500 2,7 mm		
20.000 3,1 mm		

In Abbildung 49 ist exemplarisch die 3D Visualisierung eines Beschichtungssystems mit entsprechendem Verschleiß dargestellt. Die Aufzeichnung der Messdaten ermöglicht eine genaue Auswertung des Verschleißverhaltens.

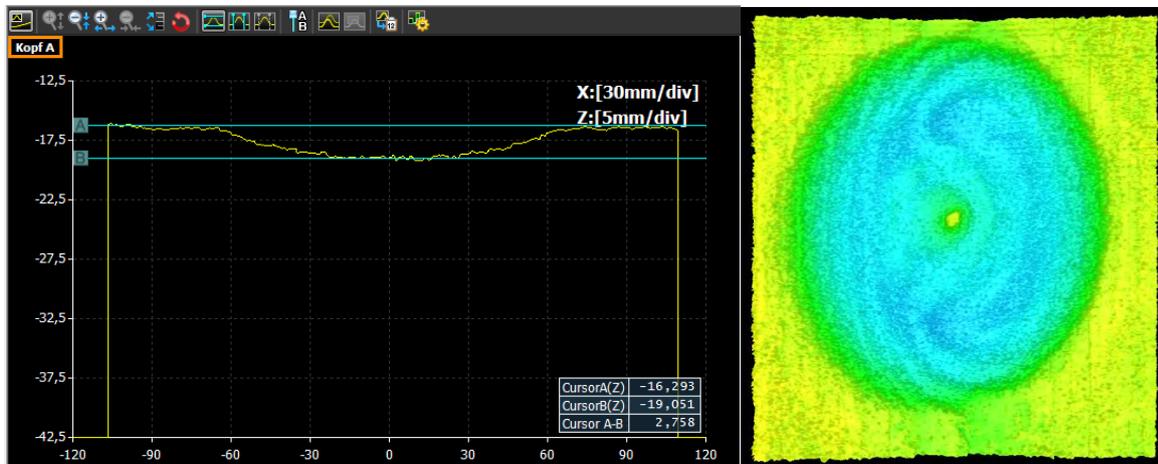


Abbildung 49: 3D-Visualisierung

3.4.6.3 Auswertung einzelner Profillinien

Bei der Prüfung des Abnutzungsgrades mittels Lasermessung auf der Oberfläche erhält man ein 3D-Bild der gescannten Fläche. Durch die Betrachtung einzelner Profillinien im System, kann der Verschleiß quantifiziert werden. Dafür ist es sinnvoll für die auszuwertenden Messzyklen dieselbe Profillinie zu extrahieren. Bei dem Driving Abrasion Test DAT wurde die mittlere Profillinie gewählt. Dies brachte zum einen eine bessere Darstellung des Verschleißes innerhalb eines Systems nach den jeweiligen Messungen und zum anderen eine bessere Vergleichbarkeit der getesteten Systeme untereinander mit sich. Bild 50 zeigt beispielhaft den Verschleiß eines OS 11a-Systems nach 0, 1.000, 5.000, 10.000, 15.000 und 20.000 Zyklen. Die Linien in den 3D-Bildern geben die Positionen der entnommenen Profillinien (Abbildung 50) wieder.

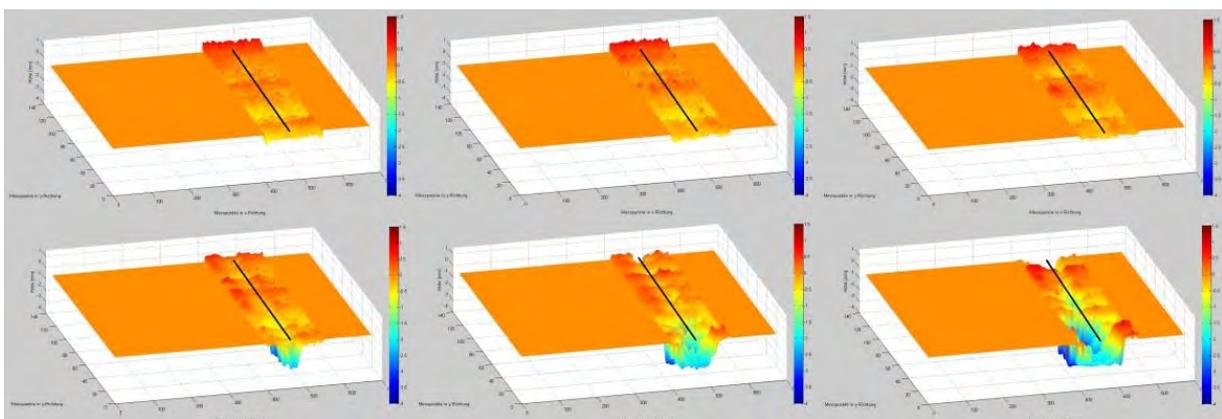


Abbildung 50: OS 11a System nach 0 (oben links), 1.000 (oben mittig), 5.000 (oben rechts), 10.000 (unten links), 15.000 (unten mittig) und 20.000 (unten rechts) Überfahrungen mit dem Driving Abrasion Test dargestellt im 3D-Bild

Erkennbar ist eine deutliche Abtragszunahme mit steigender Zyklanzahl. Der Vergleich der einzelnen Profillinien bestätigte dies erwartungsgemäß (Abbildung 51). Deutlich zu erkennen ist, dass bei diesem System ein massiver Abtrag bzw. Verschleiß ab 10.000

Überfahrungen auftrat. Der Vorteil dieses zerstörungsfreien Prüfverfahrens ist die dreidimensionale Dokumentation des Verschleißes. Das Versagen eines Beschichtungssystems kann somit genau erfasst werden. Bei diesem OS 11a-System lag der maximale Abtrag nach 20.000 Überfahrungen bei 3,7 mm. Dies bedeutet, dass die Verschleißschicht komplett abgetragen und die Schwimmschicht erreicht wurde.

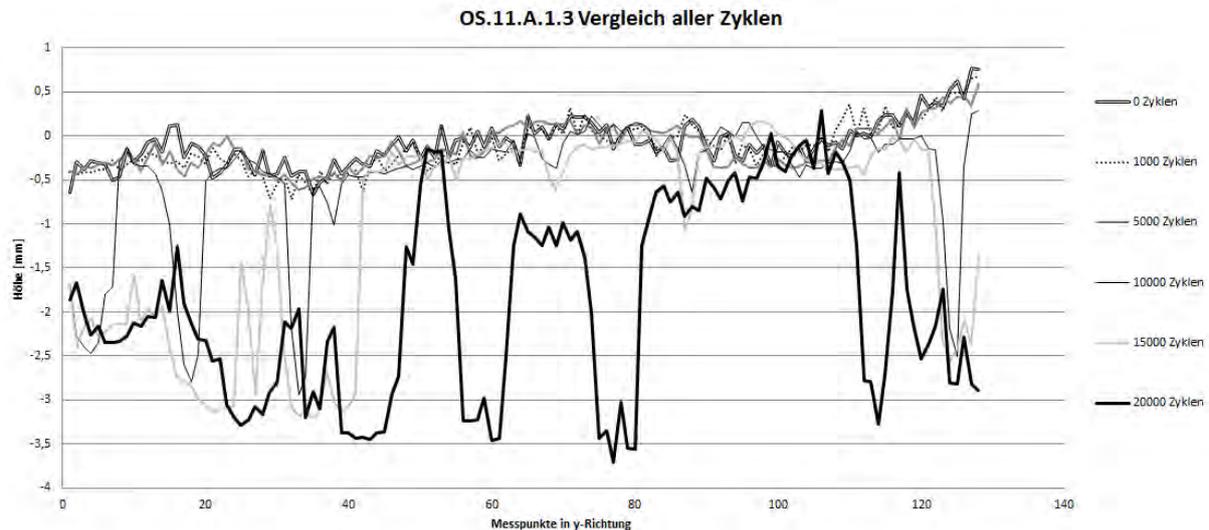


Abbildung 51: Einzelne Profillinien eines OS 11a-System vom Ausgangszustand bis hin zu 20.000 Überfahrungen

Neben dem typischen Schädigungsbild durch Abtrag der Beschichtung kam es auch zu Aufwölbungen. Abbildung 52 verdeutlicht dies. Es handelt sich dabei um ein Ablösen der Beschichtung vom Untergrund. Zu erkennen ist eine 2,5 mm hohe Aufwölbung, welche nach 25.000 Überfahrungen lokal begrenzt entstanden ist.

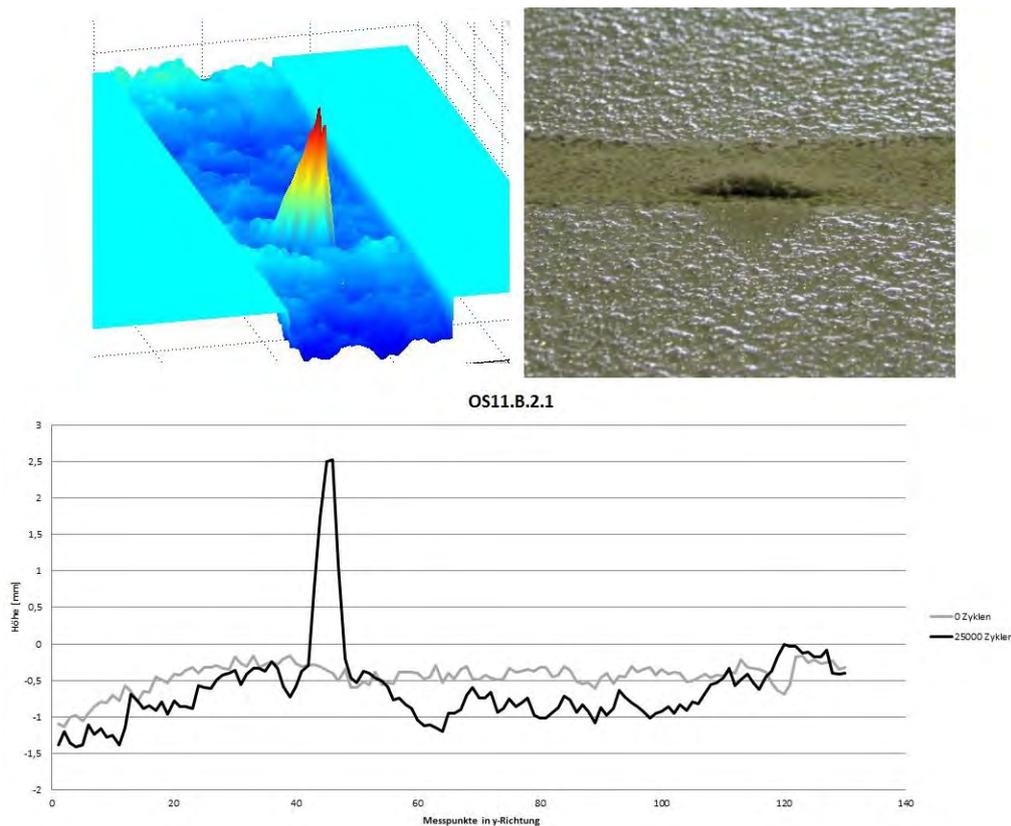


Abbildung 52: 3D-Bild, Foto und Diagramm einer Aufwölbung nach 25.000 Überfahrungen eines OS 11b-Systems

Die Auswertung der durchgeführten Driving Abrasion Tests zeigte, dass bei den OS 11a-Systemen oftmals ein Verschleiß bis zum vollständigen Abtrag der Verschleißschicht (Mindestschichtdicke 3 mm) auftrat. Bei den OS 11b-Systemen hingegen lagen die Werte durchschnittlich bei 1 mm nach 25.000 Überfahrungen und waren somit deutlich niedriger. Die OS 8-Systeme zeigten wie beim Parking Abrasion Test keinen messbaren Abtrag.

3.4.7 Bewertung der Prüfergebnisse

3.4.7.1 Versuche mit dem Parking Abrasion Test

Es wurden vier verschiedene OS 8-Systeme von drei Herstellern geprüft. Die OS 8-Systeme waren aufgrund ihres starren Systems wenig verschleißanfällig. I. d. R. beschränkte sich der Abrieb auf abgefahrene Kornspitzen in der Deckversiegelung (etwa 20 % der Gesamtschichtdicke). Alle geprüften Systeme konnten in die Verschleißklasse VK 1 eingestuft werden.

Ein OS 10-System versagte bereits nach 7.500 Zyklen. Es stellte sich ein deutlicher Verschleiß ein (etwa 45 % der Gesamtschichtdicke waren abgefahren) und die einzelnen Schichten lösten sich voneinander sowie vom Untergrund ab. Das geprüfte System wurde in die Verschleißklasse VK 6 eingestuft.

Die zwei geprüften OS 13-Systeme eines Herstellers waren ebenfalls stark verschleißanfällig. Nach 15.000 Zyklen wiesen die Systeme noch eine Gesamtschichtdicke von 60 bis 70 % auf. Die Deckschichten waren sehr schnell abgefahren und an mehreren

Stellen Korngruppen ausgebrochen. Die Klassifikation erfolgte in die Verschleißklassen VK 3 und VK 4.

Fünf verschiedene OS 11a-Systeme von zwei verschiedenen Herstellern wurden geprüft. Die OS 11a-Systeme konnten alle als verschleißarme Oberflächenschutzsysteme (Verschleißklassen VK 1 bis VK 3) eingestuft werden, wobei vereinzelt Korngruppen ausgebrochen sind. Der maximale Verschleiß betrug nach 15.000 Prüfzyklen 20 % der Gesamtschichtdicke.

Tendenziell verschleißanfälliger als die OS 11a-Systeme waren die vier geprüften OS 11b-Systeme dreier Hersteller. Neben ausgebrochenen Quarzkörner kam es bei einem System zum vollflächigen Verschleiß (bis zu 40 % der Gesamtschichtdicke). Die Systeme wurden in die Verschleißklassen VK 1 bis VK 4 eingestuft.

Die Klassifikationen mit der visuellen Prüfung sowie die einzelnen Werte aus der Schichtdickenbestimmung sind im Anhang dargestellt. Es fanden keine Lasermessungen bei den Untersuchungen mit dem Parking Abrasion Test statt.

3.4.7.2 Versuche mit dem Driving Abrasion Test

Mit dem Vulkollan-Rad ist im Gegensatz zum Polyamid-Rad optisch sichtbar kein Abrieb an den Oberflächenschutzsystemen entstanden. Das Vulkollan-Rad besteht aus einem sehr weichen Gummi, sodass während der Prüfung ein Abrieb des Rades entstand. An dem Rad wie auch an dem Beschichtungssystem selbst konnte mit dem bloßen Auge kein nennenswerter Schaden festgestellt werden. Bis auf vereinzelt abgefahrene Kornspitzen trat ansonsten kein Verschleiß auf. Auch aus den Messergebnissen der Lasermessungen liesen sich für den Fahrbereich des Vulkollanrades keine nennenswerten Abweichungen vom Normalwert ablesen.

Die OS 8-Systeme zählten wie erwartet auch bei den Untersuchungen mit dem Driving Abrasion Test die verschleißärmsten Oberflächenschutzsysteme. Optisch sichtbar waren abgefahrene Kornspitzen.

Bei dem OS 10-System traten im Laufe der Prüfung Verwölbungen auf. Diese resultierten wie beim Parking Abrasion Test aus dem Ablösen der einzelnen Schichten voneinander. Die zunächst aufgewölbten Korngruppen hatten sich anschließend vom Untergrund komplett gelöst, sodass „Löcher“ im Oberflächenschutzsystem entstanden.

Die beiden geprüften OS 13-Systeme zeigten sich in der Prüfung unauffällig. Bei beiden Systemen waren lediglich abgefahrene Deckversiegelungen und vereinzelt ausgebrochene Quarzkörner das Resultat.

Starken Verschleiß wiesen die OS 11a-Systeme auf. Zwei Systeme waren zum Ende der Prüfungen noch intakt während bei den anderen drei Systemen die Verschleißschicht nahezu vollständig abgefahren war und die Systeme nur aus der Schwimmschicht bestanden. Auffällig war hier, dass die Systeme mit der Epoxidharz-Deckversiegelung deutlich schlechter abschnitten als die Systeme mit einer Deckversiegelung aus Polyurethan.

Die OS 11b-Systeme wiesen die gleichen Verschleißerscheinungen wie beim Parking Abrasion Test auf. Hier konnte jedoch kein Unterschied zwischen den Deckversiegelungen

auf Polyurethan- oder Epoxidharzbasis festgestellt werden. Interessanterweise wies das System, das beim Parking Abrasion Test die schlechtesten Werte hatte, hier die besten auf.

Beim Vergleich beider Prüfmethode n konnte festgestellt werden, dass alle Systeme durch die Belastung der simulierten Kurvenfahrt des Driving Abrasion Tests deutlich stärkere Schäden zeigten, als durch das auf der Stelle drehende Rad des Parking Abrasion Tests. Die einzelnen Prüfergebnisse können im Detail dem Anhang entnommen werden. Schichtdickenmessungen wurden mit dem Laser durchgeführt.

3.4.7.3 Verschleißbeständigkeit der einzelnen Systeme

Bei allen Systemen hatte sich gezeigt, dass die Deckversiegelung einen großen Einfluss auf die Verschleißbeständigkeit hat. Die Deckversiegelung bindet die Quarzsandkörner ein und bietet dementsprechend maßgebenden Widerstand gegen eine Verschleißbeanspruchung. Zunächst wird bei verschleißbeständigeren Systemen die Deckversiegelung bei den Kornspitzen abgefahren, während in den „Tälern“ die Deckversiegelung erhalten bleibt und dies ein Ausbrechen von Korngruppen verhindert. Bei verschleißunbeständigeren Systemen entsteht neben abgefahrenen Kornspitzen direkt auch ein Ausbruch ganzer Korngruppen bis in die Verschleißschicht.

Erwartungsgemäß waren die geprüften OS 8-Systeme sehr verschleißbeständig. Bei allen Systemen waren lediglich die Kornspitzen der Deckversiegelung abgefahren.

Bei den OS 10, OS 11 und OS 13 geprüften Systemen hatte sich gezeigt, dass nach dem Abfahren der Deckversiegelung schnell ein Verschleiß in den unteren Schichten entstand. Auf die Verschleißbeständigkeit der einzelnen Systeme hat ein zusätzliches Erhitzen der Probekörper mit einem Strahler auf 50 °C keinen Einfluss.

Tendenziell verschleißbeständiger sind die OS 11b-Systeme mit ihrem einschichtigen Aufbau als die OS 11a-Systeme auf. Hier erfolgte der Verschleiß jedoch nur bis zur Schwimmschicht (kein Verschleiß bei Gummirad auf Schwimmschicht) während die OS 11b-Systeme Schichtabträge von bis zu 40 % aufwiesen.

Bereits ein großflächiger Schichtdickenabtrag entstand nach wenigen Prüfzyklen bei den verschleißanfälligeren OS 10 und OS 13-Systeme.

3.4.8 Bewertung der Prüfverfahren

3.4.8.1 Parking Abrasion Test

Der Parking Abrasion Test erwies sich als ein geeignetes Prüfverfahren zur Bestimmung des Verschleißverhaltens von Oberflächenschutzsystemen. Mit einer Auflast von 400 kg entspricht dies der Radlast eines Mittelklassewagens. Ebenfalls spiegelt die Drehbewegung die Einparkbewegung eines Rades wider. Die Handhabung des Prüfgerätes ist klar und leicht verständlich. Mittels eines Wagenhebers wird der Reifen angehoben, sodass ein Austausch der Probekörper erfolgen kann. Nach dem Einbau einer neuen Platte wird der Reifen wieder abgesenkt wobei darauf geachtet werden sollte, dass dieser weiter gedreht wird, sodass nicht immer die gleiche Stelle des Rades „abgerieben“ wird. Durch Metallschienen ist ein Verrutschen der Platten ausgeschlossen. An jeder Platte sind bis zu vier Prüfstellen vorhanden, weshalb der Aufwand bzgl. der Herstellung der Probekörper

relativ gering ist. Durch eine Steuerung werden die einzelnen Zyklen gezählt und die Prüfung endet automatisch mit Erreichen der eingestellten Zyklenzahl.

3.4.8.2 Driving Abrasion Test

Der Driving Abrasion Test ist ein Verfahren zur Verschleißbestimmung von Oberflächenschutzsystemen. In diesem Forschungsvorhaben wurde er in dieser Form zum ersten Mal eingesetzt. Je Prüfkörper wurden vier Oberflächenschutzsysteme appliziert und es wurde ebenfalls mit einer Auflast von 400 kg geprüft. Die Steuerung des Driving Abrasion Test war ähnlich zu der des Parking Abrasion Test, d. h. die Überfahrten wurden automatisch gezählt. Nach der entsprechenden Zyklenzahl musste jedoch händisch das Prüfgerät gestoppt werden. Ein Verrutschen des Rings war hier auch nicht möglich, da der Probekörper entsprechend eingespannt wurde. Der Vorteil von vier gleichzeitig prüfbaren Oberflächenschutzsystemen erwies sich aufgrund der unterschiedlichen Höhen der einzelnen Systeme in der Praxis als nicht zielführend. Bei weiteren Untersuchungen sollte hier bereits im Vorfeld auf gleiche Höhen geachtet werden.

3.4.9 Bewertung der zerstörungsfreien Messtechnik

Beide Verfahren, sowohl die Schichtdickenmessung wie auch die laserbasierte Messung, haben sich als gute und genaue Verfahren zur Bestimmung der Schichtdicken heraus kristallisiert. Während die Schichtdickenmessung Erfahrung in der Handhabung des Gerätes bedarf, erzeugt die laserbasierte Messung eine große Datenmenge aufgrund der großen Anzahl an Messpunkten. Mit beiden Verfahren lassen sich genauere Ergebnisse bzgl. der Abtragstiefen erzielen als bei der traditionellen, kostengünstigeren und leichter durchführbaren Bohrkernentnahme. Aufwendig ist bei der Schichtdickenmessung der im Vorfeld einzubringende Metallstreifen, ohne den die Prüfung nicht durchführbar ist. Aus diesem Grund eignet sich dieses Verfahren in Kombination mit dem Parking Abrasion Test vor allem für Zulassungs- und Eignungsprüfungen von Oberflächenschutzsystemen im Labor. Dagegen ist die Lasermessung mit einem motorbetriebenen Prüfgestell auch für den Praxisbetrieb zur Bestimmung der Restschichtdicken geeignet.

3.4.10 Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse

Eine Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse in die Praxis ist schwierig, da neben dem applizierten Oberflächenschutzsystem eine weitere Anzahl an Faktoren eine Rolle spielt. Dazu zählen neben der mechanischen Beanspruchung (Anfahren, Bremsen, Kurvenfahrten, Drehen des Rades im Stand) die Frequentierung der Parkflächen wie auch der Fahrspuren, das Reinigungsverhalten der Nutzer sowie die Witterung bei Freiflächen. Dementsprechend schwierig ist die Abschätzung der Lebensdauer eines Beschichtungssystems. Die geprüften Systeme können untereinander auf ihre Verschleißbeständigkeit verglichen werden. Für die Auswahl eines Oberflächenschutzsystems müssen diese Faktoren entsprechend mit berücksichtigt werden. Systeme, die bei beiden Prüfverfahren starke Abnutzungserscheinungen aufwiesen, sind bei stark frequentierten Parkflächen nur bedingt geeignet, da sie über eine geringe Verschleißbeständigkeit verfügten.

3.5 Modul E

3.5.1 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.

3.5.2 Einleitung

Das nachfolgende Prüfverfahren (Parking 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 unterschiedliche Verschleißwiderstandsklassen. Es ergänzt die nach DIN EN 1504-2 vorgesehenen Prüfverfahren zum Nachweis der physikalischen Widerstandsfähigkeit eines Beschichtungssystems.

Das nach DIN EN 1504-2 vorgesehene Prüfverfahren zur Bestimmung des Abriebwiderstandes unter Verwendung des Taber-Abriebprüfgerätes nach DIN EN ISO 5470-1 ist entsprechend den Festlegungen im Anwendungsbereich zur Prüfung beschichteter Textilien vorgesehen. Die Prüfverfahren BCA und RWA nach DIN EN 13813, als Alternative zum Taberverfahren auch nach DIN EN 1504-2 vorgesehen, sind für die Bestimmung des Verschleißwiderstands von Estrichmörtel und Estrichmassen konzipiert. Diese Arten der Prüfung spiegeln nicht die auf ein durch Personenkraftwagen befahrenes Beschichtungssystem wieder. Eine Klassifizierung von Beschichtungssystemen auf Basis der danach ermittelten Prüfergebnisse ist somit im Hinblick auf die Anwendbarkeit von Beschichtungen in Parkbauten nicht möglich.

3.5.3 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. Es kann auch zur Klassifizierung eines Beschichtungssystems OS 10 mit zusätzlicher Verschleißschicht auf Basis eines Reaktionsharzmörtels angewandt werden.

3.5.4 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*

DIN EN ISO 5470-1, *Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung des Abriebwiderstandes - Teil 1: Taber-Abriebprüfgerät*

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

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

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

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

DIN EN ISO 868, *Kunststoffe und Bitumen - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte)*

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

3.5.5 Definitionen

3.5.6.1

PAT: Parking Abrasion Test

Prüfstand zur Bestimmung des Verschleißwiderstands für mechanisch durch Reifen beanspruchte Oberflächenschutzsysteme

3.5.8.1

Verschleißklasse VK

Visuelle Bewertung mit anschließender Klassifizierung von Oberflächenschutzsystemen

3.5.9.2

Abtragstiefe A_{BK}

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

3.5.9.3

Abtragstiefe A_L

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

3.5.6 Prinzip

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

Hierzu werden in dieser Norm unterschiedliche Verschleißwiderstandsklassen definiert, die eine Beurteilung eines Oberflächenschutzsystems hinsichtlich seines mechanischen Abnutzungsvorrates zulassen.

3.5.7 Geräte und Prüfmittel

3.5.7.1 Verschleißprüfstand:

Der Verschleißprüfstand des Parking Abrasion Test PAT 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.

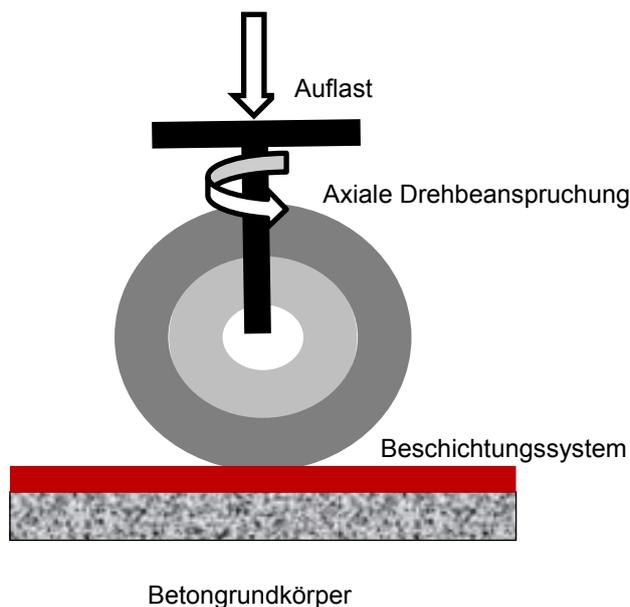


Abbildung 53: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus Parking Abrasion Test PAT

3.5.7.2 Prüfrad:

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

3.5.7.3 Elektronische Steuerung:

Das Prüfrad wird mittels eines Elektromotors zu einer regelmäßigen Drehung auf der Stelle um $\Delta\phi = 90^\circ$ innerhalb einer Zeitspanne von $\Delta t = 4$ sek. mit einer Winkelgeschwindigkeit $\omega = \Delta\phi / \Delta t = (22,5 \pm 2,5)^\circ/\text{sek.}$ veranlasst.

Nach der Drehbeanspruchung erfolgt eine Ruheperiode von 7 Sekunden. Danach folgt die nächste Drehbeanspruchung in entgegengesetzter Richtung ($\Delta\phi = -90^\circ$). Der Zyklus startet nach erneuter Pause von 7 Sekunden. Die Drehbewegung verursacht durch Reibung einen Temperaturanstieg in den einzelnen Lagen des Oberflächenschutzsystems. Durch die Intervallsteuerung wird sichergestellt, dass im Gesamtaufbau des Oberflächenschutzsystems eine Temperatur von 45°C in den einzelnen Schichten nicht überschritten wird.

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

3.5.7.4 Oberflächenthermometer:

Für die Bestimmung der Oberflächentemperatur wird ein handelsübliches Infrarot-Thermometer verwendet.

3.5.8 Probekörper

3.5.8.1 Betongrundkörper:

Der Grundkörper ist eine Betonplatte mit den Abmessungen 400 mm x 400 mm x 40 mm bis 500 mm x 500 mm x 60 mm aus einem Beton der Güte MC (0,45) nach DIN EN 1766. Dieser Beton weist eine Oberflächenzugfestigkeit von mindestens $2,5 \text{ N/mm}^2$ (kleinster Einzelwert), geprüft nach DIN EN 1542, 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, vorliegt.

Vor Auftrag des Oberflächenschutzsystems muss die Eigenfeuchte der Betonplatte im Bereich der Ausgleichsfeuchte des Betons liegen. Die Betonplatten sind bis unmittelbar vor dem Auftrag des Oberflächenschutzsystems über einen Zeitraum von mindestens 24 Stunden im Normklima (Lufttemperatur $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $(50 \pm 10)\%$) nach DIN EN ISO 291 temperiert zu lagern.

3.5.8.2 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 sind zwei Probepplatten zu beschichten und zu prüfen.

Platte 1: Plattengrund- und Materialtemperatur sowie Aushärtetemperatur entsprechend der vom Hersteller in den Angaben zur Ausführung angegebenen Mindesttemperatur abzüglich einer Toleranzbreite von 2 K; z. B. Herstellerangabe zu Mindesttemperatur: 10 °C, Beschichtung und Lagerung zwischen 8 °C und 10 °C.

Platte 2: 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 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 oder das Prüfverfahren zur Ermittlung der mittleren Profiltiefe MPD nach DIN EN ISO 13473-1 angewandt werden.

3.5.8.3 Gesonderte Probekörper:

Von jedem zur Herstellung des Oberflächenschutzsystem verwendeten Produkt aus Reaktionsharz werden, bevor die angemischten Produkte mit Quarzsand versetzt werden, gesonderte Probekörper mit z. B. den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 10 mm hergestellt, um die Shore-Härte nach DIN EN ISO 868 der einzelnen Systemkomponenten in Abhängigkeit der zeitlichen Festigkeitsentwicklung sowie unter Einfluss unterschiedlicher Erhärtungstemperaturen 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 nach 28 Tagen ausgehärteten Proben über einen Zeitraum von 4 Stunden im Wärmeschrank bei 50 °C bis 55 °C

Anmerkung: Im Freideckbereich von Parkbauten sind die Oberflächenschutzsysteme bei direkter Sonneneinstrahlung erhöhten Anwendungstemperaturen ausgesetzt. Diese können zu einer Beeinträchtigung der Verschleißigenschaften des Oberflächenschutzsystems führen.

3.5.9 Durchführung der Prüfungen

3.5.9.1 Verschleißbeanspruchungen:

Die beschichteten Betonplatten werden so in der Prüfeinrichtung fixiert, dass sie sich während der Prüfung nicht verschieben lassen und dass an einer Betonplatte bis zu vier Einzelprüfungen durchgeführt werden können. 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 1 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 1 beschrieben werden dokumentiert. Bei Einstufung in Verschleißklasse VK 6 erfolgt der Abbruch der Prüfung.

Prüfstufe 3: 10.001 bis 15.000 Drehbeanspruchungen. Inaugenscheinnahme und ggf. Reinigen der Prüffläche vom Reifenabrieb etc. je 2.500 Einzelbeanspruchungen. Auffälligkeiten wie in Tabelle 1 beschrieben werden dokumentiert. Bei Einstufung in Verschleißklasse VK 6 erfolgt der Abbruch der Prüfung.

Mit einem Infrarot-Oberflächenthermometer ist stichprobenartig zu überprüfen, ob die maximal zulässige Prüftemperatur von 45 °C überschritten wird.

3.5.9.2 Bestimmung der Shore Härte:

Die Bestimmung der Shore-Härte erfolgt nach DIN EN ISO 868 in Abhängigkeit von der Lagerungsart, die nachfolgend beschrieben ist:

Lagerung A: Prüfung der Shore-Härte D unter Normtemperatur (23 ± 2) °C nach 24 Stunden, 3 Tagen, 7 Tagen und 28 Tagen.

Lagerung B: Prüfung der Shore-Härte D unter der vom Hersteller angegebenen Mindesttemperatur aus den Angaben zur Ausführung nach 24 Stunden, 3 Tagen, 7 Tagen und 28 Tagen.

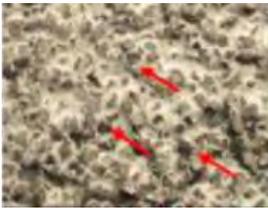
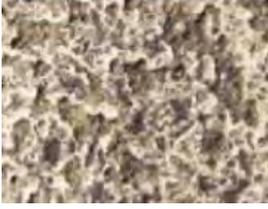
Lagerung C: Prüfung unter der Lagerungstemperatur bei 50 °C bis 55 °C

3.5.10 Beurteilung

3.5.10.1 Optische Beurteilung mit Verschleißklassen:

Nach der ersten, zweiten und dritten Prüfstufe mit jeweils 5.000 Prüfzyklen erfolgt eine optische Bewertung der Prüfflächen und eine Einstufung in eine Verschleißklasse nach Tabelle 13.

Tabelle 13: Klassifizierung der Oberflächen nach der Verschleißbeanspruchung

Verschleißklasse	Einstufung	Beschreibung	Beispiel
VK 1	Sehr geringe Abnutzung	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren bzw. vereinzelte 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 ≤ 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	

3.5.10.2 Zerstörende Bestimmung des Abtrags:

Ab der Verschleißklasse VK 4 sind die Abtragstiefen zu dokumentieren. Hierzu werden Bohrkern (Abbildung 54) aus einer unbeanspruchten Teilfläche sowie der am stärksten geschädigten Teilfläche entnommen. Die Bohrkern werden in Längsrichtung aufgeschnitten und die einzelnen Lagen auf ihre Schichtdicke untersucht. Hierbei werden die Schichtdicken in unbeanspruchten mit verschleißbeanspruchten Flächen vergleichend bewertet.

Die Abtragstiefe A_{BK} ist die Differenz aus ursprünglicher Schichtdicke und der Restschichtdicke nach Beendigung der Verschleißversuche, die an Bohrkernen bestimmt wird. Diese ist in mm auf 0,1 mm anzugeben. Die Bestimmung der Schichtdicken erfolgt gemäß Tabelle 14.

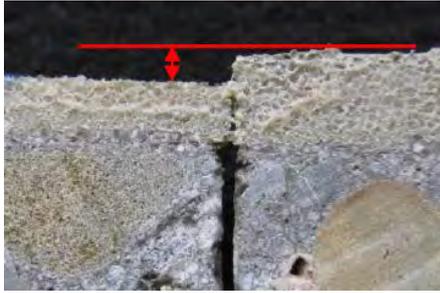
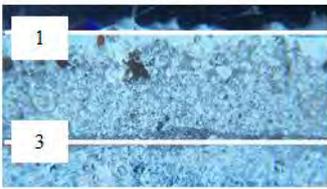
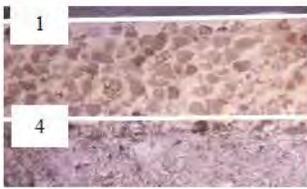


Abbildung 54: Beispiel Oberflächenschutzsystem OS 11b (links: nach Verschleißbeanspruchung, rechts: ohne Verschleißbeanspruchung)

Tabelle 14: Ermittlung von Schichtdicken bei mehrschichtigen Aufbauten von Oberflächenschutzschichten

Oberflächenschutzsystem	OS 8	OS 11b	OS 11a
Darstellung			
Linien = Begrenzungslinien			
obere Begrenzung	über Kopfversiegelung, jedoch ohne herausstehende QS-Körner (1)		
mittlere Begrenzung	-	-	zwischen Schwimmschicht und Verschleißschicht (2)
untere Begrenzung	über der Betonoberfläche; einschließlich Grundierung (3)	über den Kornspitzen der abgesandeten Grundierung (4)	

3.5.10.3 Zerstörungsfreie Bestimmung der Abtragsraten:

Alternativ kann der Verschleiß zerstörungsfrei können mit einem Laserscanning-Verfahren bestimmt werden. Die Genauigkeit des Verfahrens muss mit dem der Bohrkernentnahme übereinstimmen und im Vorfeld überprüft werden. 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. Die Nulllinien der einzelnen Schichten entsprechen denen in Tab. 2.

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

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

3.5.10.4 Bestimmung der Shore-Härte:

Weichen die Messwerte der Shore-Härte Prüfung bei 50 °C um mehr als 20 % von den Messwerten bei 23 °C bei gleichem Prüfalter ab, ist eine wesentliche Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften durch erhöhte Nutzungstemperaturen zu vermuten. In diesem Fall erfolgt eine zusätzliche Verschleißprüfung unter einer Oberflächentemperatur des Oberflächenschutzsystems von 50 °C bis 55 °C.

3.5.11 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
- 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 Entwicklung der Shore-Härte der jeweils ungefüllten Reaktionsharzprobe jeder Beschichtungslage unter der vom Hersteller vorgegebenen Mindestverarbeitungstemperatur gem. Angaben zur Ausführung sowie unter Normtemperatur 23°C. Prüfzeitpunkt 24 Stunden / 3 Tage / 7 Tage / 28 Tage
- Ggf. Shore-Härte bei 50°C Nutzungstemperatur; Prüfzeitpunkt 28 Tage.
- Alle vom vorgegebenen Prüfprocedere abweichenden Randbedingungen
- Datum der Prüfung

4 Fazit und Ausblick

In den durchgeführten Versuchsreihen wurden sowohl 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.

In den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die geprüften Oberflächenschutzsysteme über 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 deutlich 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 des Zeitaufwands der Ergebnisaufbereitung. Auch die Handhabung des Lasermessgerätes stellt einen großen Pluspunkt dar und steht einer Verwendung in der Praxis nicht im Wege. Werden beide Methoden (optische Beurteilung und eine zerstörungsfreie Messmethode) kombiniert, so kann der auftretende Verschleiß sehr gut quantifiziert und qualifiziert werden.

Bei der Herstellung der Probekörper für den Driving Abrasion Test sollte in Zukunft nur ein Oberflächenschutzsystem je Probekörper (Ring) verwendet werden. Die unterschiedlichen Höhen im Schichtaufbau, die je nach Hersteller teils stark variierten, erschwerten die Versuchsdurchführung und die Lasermessungen und somit auch die Auswertung und Darstellung der Messergebnisse.

Das Grundmodell für eine FE-Simulation wurde auf Basis des ermittelten Verschleißes im Parking Abrasion Test entwickelt. In weiteren Untersuchungen sollten die Materialparameter der einzelnen Schichten bestimmt werden, da weitere Kenngrößen wie Elastizitätsmodul und Querdehnzahl für FE-Simulationen benötigt werden. Mit Hilfe dieser Simulationen können sich weitere Entwicklungsmöglichkeiten von Oberflächenschutzsystemen ergeben.

Um den Verschleiß vor Ort bestimmen zu können, wird noch die Entwicklung eines Prüfstandes für den Baustelleneinsatz benötigt. Ebenfalls sollten in weiteren Untersuchungen die bislang erzielten Ergebnisse mit Versuchswerten aus den genormten Prüfmethode verglichen und verifiziert werden. Eine weitere noch offene Fragestellung ergibt sich hinsichtlich der Übertragbarkeit der Versuche in die Praxis. Eine Aussage über die Nutzungsdauer ist derzeit noch nicht möglich, ist aber Ziel weiterer Untersuchungen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Gegenüberstellung OS 11a-, OS 11b- und OS 8-System	31
Tabelle 2:	Klassifizierung der Verschleißversuche	34
Tabelle 3:	Übersicht der geprüften Systeme.....	36
Tabelle 4:	Reifenaufstandsfläche bei verschiedenen Reifendrücken und gleichbleibender Auflast.....	40
Tabelle 5:	Reifenaufstandsfläche bei verschiedenen Auflasten und gleichbleibenden Reifendruck	41
Tabelle 6:	Übersicht der Hersteller und Systeme.....	49
Tabelle 7:	Frischbetonkennwerte	50
Tabelle 8:	Festbetonkennwerte	52
Tabelle 9:	Festgestellte Endfestigkeit mit Rückprallhammer.....	53
Tabelle 10:	Ergebnisse Oberflächenzugfestigkeit.....	55
Tabelle 11:	Mittelwerte der Haftzugfestigkeit.....	57
Tabelle 12:	Dokumentation des Verschleißes an einem OS 11b-System mit dem Laser	65
Tabelle 13:	Klassifizierung der Oberflächen nach der Verschleißbeanspruchung	78
Tabelle 14:	Ermittlung von Schichtdicken bei mehrschichtigen Aufbauten von Oberflächenschutzschichten.....	79
Tabelle 15:	Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 8	94
Tabelle 16:	Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 11.A.....	95
Tabelle 17:	Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 11.B.....	96
Tabelle 18:	Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 10/13.....	97
Tabelle 19:	Klassifizierung eines OS 8.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	105
Tabelle 20:	Klassifizierung eines OS 8.1.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	106
Tabelle 21:	Klassifizierung eines OS 8.2.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	107
Tabelle 22:	Klassifizierung eines OS 8.3.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	108

Tabelle 23:	Klassifizierung eines OS 10.4.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	109
Tabelle 24	Klassifizierung eines bei 50 °C geprüften OS 10.4.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	110
Tabelle 25:	Klassifizierung eines OS 13.4.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	111
Tabelle 26:	Klassifizierung eines OS 13.4.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	112
Tabelle 27:	Klassifizierung eines OS 11.A.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	113
Tabelle 28	Klassifizierung eines bei 50 °C geprüften OS 11.A.11-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	114
Tabelle 29:	Klassifizierung eines OS 11.A.1.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	115
Tabelle 30:	Klassifizierung eines OS 11.A.2.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	116
Tabelle 31:	Klassifizierung eines OS 11.A.2.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	117
Tabelle 32:	Klassifizierung eines OS 11.B.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	118
Tabelle 33	Klassifizierung eines bei 50 °C geprüften OS 11.B.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	119
Tabelle 34:	Klassifizierung eines OS 11.B.1.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	120
Tabelle 35:	Klassifizierung eines OS 11.B.2.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	121
Tabelle 36:	Klassifizierung eines OS 11.B.5.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung	122

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verschleiß von Oberflächenschutzsystemen im Bereich von Rampen und Kurven in einem Parkhaus.....	12
Abbildung 2: Ausführungsvarianten für Parkdecks nach [8].....	13
Abbildung 3: Verschleißprüfmaschine nach Böhme aus [N7]	15
Abbildung 4: BCA Abriebprüfgerät aus [N9]	16
Abbildung 5: Aufbau RWA-Prüfung aus [N10]	17
Abbildung 6: Aufbau der Stuttgarter Prüfung aus [N11].....	18
Abbildung 7: Aufbau Taber-Abriebprüfgerät aus [N6].....	19
Abbildung 8: Aufbau des Aachener-Ravelling-Tester aus [10].....	20
Abbildung 9: Prüfgerät mit den Hauptelementen Belastungsklammer (1) und Motor (2) aus [11].....	21
Abbildung 10: Belastungsklammer mit Vulkollanrad aus [11].....	21
Abbildung 11: Prüfstand Bilfinger Construction GmbH (PAT) aus [12].....	22
Abbildung 12: Übersichtszeichnung Prüfstand aus [13].....	24
Abbildung 13: Versuchsstand TU Kaiserslautern (DAT)	24
Abbildung 14: Versuchsaufbau zur Temperaturmessung während der Verschleißprüfung am OS 11a Systemaufbau; Temperaturmessfühler im oberflächennahen Beton, in der Schwimm- und Verschleißschicht	27
Abbildung 15: Temperaturentwicklung während der Verschleißprüfung, Einfluss der Intervalldauer	28
Abbildung 16: Betonplatte nach der Untergrundvorbereitung durch Schleifen (links) und nach der Grundierung und Abstreuerung mit Quarzsand (rechts)	29
Abbildung 17: Materialauftrag der Schwimmschicht (links) und Sicherstellung der Schichtstärke mit einer Zahntraufel (rechts).....	29
Abbildung 18: Spritzdüse zur Herstellung eines OS 10 Systems (links) und Herstellung der Spritzfolie, OS 10 (rechts).....	30
Abbildung 19: Auftrag der vorgefüllten Verschleißschicht auf der Schwimmschicht (links) und Abstreuen der Verschleißschicht im Überschuss (rechts)	30
Abbildung 20: Auftrag der Deckversiegelung (links) und Sicherstellung einer gleichmäßigen Schichtdicke auf dem Probekörper (rechts)	31

Abbildung 21: Ausgangszustand (links), deutliche Verschleißerscheinungen in Form eines Materialabtrages (mittig) und Versagenszustand, Verschleißschicht vollständig abgetragen (rechts).....	32
Abbildung 22: Gegenüberstellung von Feinschnitten vor und nach der Versuchsdurchführung. Deutlicher Abtrag der Verschleißschicht am rechten Feinschnitt erkennbar.	33
Abbildung 23: Beschichtungsoberfläche nach PAT Prüfung (links) und Beschichtungsoberfläche am Bauteil im Parkhaus (rechts).....	36
Abbildung 24: Verschleißerscheinung am Versuchskörper während des Verschleißversuchs (links) und Verschleißerscheinung von Parkflächen in hochbelasteten Kurvenzonen (rechts)	37
Abbildung 25: Beschädigung der Deckversiegelung während des Verschleißversuchs (links) und Beschädigung der Deckversiegelung auf einer Parkfläche (rechts)	37
Abbildung 26: FE-Modellierung des Reifens.....	38
Abbildung 27: Darstellung der Aufstandsfläche des Reifens.....	39
Abbildung 28: Normalspannung der Fahrbahn in x-Richtung.....	42
Abbildung 29: Normalspannung der Fahrbahn in y-Richtung.....	42
Abbildung 30: Normalspannung der Fahrbahn in z-Richtung.....	43
Abbildung 31: Aufbau OS 8 System von unten nach oben: Betonuntergrund, Grundierung, Abstreuerung, Deckversiegelung.....	46
Abbildung 32: Aufbau OS 10 System von unten nach oben: Betonuntergrund, Grundierung, Versiegelung, Kratzspachtelung, ggf. Haftvermittler, Dichtungsschicht der hwO, Verbindungsschicht, Deckschicht aus Gussasphalt	46
Abbildung 33: Aufbau OS 11a System von unten nach oben: Betonuntergrund, Grundierung, Schwimmschicht, Verschleißschicht, Deckversiegelung.....	47
Abbildung 34: Aufbau OS 11b System von unten nach oben: Betonuntergrund, abgestreute Grundierung, verschleißfest, vorgefüllte und abgestreute hwO, Deckversiegelung	47
Abbildung 35: Aufbau OS 13 System von unten nach oben: Betonuntergrund, abgestreute Grundierung, verschleißfest, vorgefüllte und abgestreute hwO, Deckversiegelung	48
Abbildung 36: Schalung der Platten (links), Schalung mit innenliegender Bewehrung (mittig) Einfüllen des Betons (rechts)	50
Abbildung 37: Anordnung der Metallplatten im Probekörper.....	58

Abbildung 38: Bestimmung der Rautiefe mit dem Sandflächenverfahren	59
Abbildung 39: Ring 11.A: links: auf der linken Seite abgestreute Grundierung, auf der rechten nicht vorgefüllte, elastische Verschleißschicht; mittig: linke Seite: vorgefüllte, abgestreute Verschleißschicht, rechts: Verschleißschicht vor dem Abstreuen (Schicht muss noch egalisiert werden); rechts: alle Systeme abgestreut, vor der Deckversiegelung	59
Abbildung 40: Bohrkernentnahme vor und nach der Prüfung	61
Abbildung 41: Verschleißverlauf an unterschiedlichen Systemen von links (Ausgangszustand) nach rechts (15.000 Zyklen)	61
Abbildung 42: Gerät zur Schichtdickenmessung mit zugehöriger Beschriftung der Messstellen	62
Abbildung 43: Funktionsweise 2-dimensionale Tiefenmessung	62
Abbildung 44: Verschleißbestimmung mittels 2D-/3D-Laserscannung: Links Messstelle 1, mittig Messstelle 2 und rechts Anordnung der Messstellen	63
Abbildung 45: Bohrkernentnahme: links vor der Prüfung und rechts nach der Prüfung	63
Abbildung 46: Dokumentation des Verschleißes in Abhängigkeit von der Zyklenanzahl an einem OS 11b-System bei der visuellen Begutachtung	64
Abbildung 47: Auswertung eines OS 11b-Systems mit dem Schichtdickenmessgerät nach 0; 3.000; 5.000; 10.000 und 15.000 Zyklen	64
Abbildung 48: OS 10-System nach 20.000 Überfahrten mit dem Driving Abrasion Test mit Polyamidrad	64
Abbildung 49: 3D-Visualisierung	66
Abbildung 50: OS 11a System nach 0 (oben links), 1.000 (oben mittig), 5.000 (oben rechts), 10.000 (unten links), 15.000 (unten mittig) und 20.000 (unten rechts) Überfahrten mit dem Driving Abrasion Test dargestellt im 3D-Bild	66
Abbildung 51: Einzelne Profillinien eines OS 11a-System vom Ausgangszustand bis hin zu 20.000 Überfahrten	67
Abbildung 52: 3D-Bild, Foto und Diagramm einer Aufwölbung nach 25.000 Überfahrten eines OS 11b-Systems.....	68
Abbildung 53: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus Parking Abrasion Test PAT	74
Abbildung 54: Beispiel Oberflächenschutzsystem OS 11b (links: nach Verschleißbeanspruchung, rechts: ohne Verschleißbeanspruchung).....	79
Abbildung 55: Betonzusammensetzung	93

Abbildung 56: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.1.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	98
Abbildung 57: Links: Foto eines OS 8.1.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen	98
Abbildung 58: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.1.2-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	98
Abbildung 59: Links: Foto eines OS 8.1.2-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen	98
Abbildung 60: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.2.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	98
Abbildung 61: Foto eines OS 8.2.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen.....	99
Abbildung 62: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.3.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	99
Abbildung 63: Foto eines OS 8.3.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen.....	99
Abbildung 64: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.1.1-Systems von 0-9.500 Überfahrungen.....	100
Abbildung 65: Links: Foto eines OS 11.A.1.1-Systems nach 9500 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 8.000 und 9.500 Überfahrungen	100
Abbildung 66: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.1.2 Systems nach 9.500 Überfahrungen.....	100
Abbildung 67: Links: Foto eines OS 11.A.1.2-Systems nach 9.500 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 4.500 und 9.500 Überfahrungen	100
Abbildung 68: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.1.3 Systems nach 20.000 Überfahrungen.....	100
Abbildung 69: Links: Foto eines OS 11.A.1.3-Systems nach 20.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 10.000 und 20.000 Überfahrungen	101
Abbildung 70: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.2.1-Systems von 0-6.000 Überfahrungen.....	101
Abbildung 71: Links: Foto eines OS 11.A.2.1-Systems nach 6.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 3.500 und 6.000 Überfahrungen	101
Abbildung 72: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.2.2-Systems von 0-6.000 Überfahrungen.....	101
Abbildung 73: Links: Foto eines OS 11.A.2.2-Systems nach 6.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 4.500 und 6.000 Überfahrungen	102

Abbildung 74: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.1.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	103
Abbildung 75: Links: Foto eines OS 11.B.1.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 15.000 und 25.000 Überfahrungen	103
Abbildung 76: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.1.2-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	103
Abbildung 77: Links: Foto eines OS 11.B.1.2-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 15.000 und 25.000 Überfahrungen	103
Abbildung 78: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.2.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	104
Abbildung 79: Links: Foto eines OS 11.B.2.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 20.000 und 25.000 Überfahrungen	104
Abbildung 80: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.5.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen.....	104
Abbildung 81: Links: Foto eines OS 11.B.5.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 10.000 und 25.000 Überfahrungen	104
Abbildung 82: Schichtdickenmessung OS 8.1.1.2-Systems.....	123
Abbildung 83: Schichtdickenmessung OS 8.1.2.2-Systems.....	123
Abbildung 84: Schichtdickenmessung OS 8.2.1.2-Systems.....	124
Abbildung 85: Schichtdickenmessung OS 10.4.1-Systems	124
Abbildung 86: Schichtdickenmessung OS 13.4.1-Systems	125
Abbildung 87: Schichtdickenmessung OS 13.4.2-Systems	125
Abbildung 88: Schichtdickenmessung OS 11.A.1.1-Systems	126
Abbildung 89: Schichtdickenmessung OS 11.A.1.2-Systems	126
Abbildung 90: Schichtdickenmessung OS 11.A.2.1-Systems	127
Abbildung 91: Schichtdickenmessung OS 11.A.2.2-Systems	127
Abbildung 92: Schichtdickenmessung OS 11.B.1.1-Systems	128
Abbildung 93: Schichtdickenmessung OS 11.B.1.2-Systems	128
Abbildung 94: Schichtdickenmessung OS 11.B.2.1-Systems	129
Abbildung 95: Schichtdickenmessung OS 11.B.5.1-Systems	129

Literaturverzeichnis

- [1] DAfStb-Richtlinie „Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen“ (Instandsetzungsrichtlinie), Ausgabe Oktober 2001, Beuth
- [2] Gehlen, C.; Weydert, R.: Schäden an Parkhäusern und Tiefgaragen – Wahl der geeigneten Instandsetzungsstrategie. beton 54 (2004), Nr. 3, S. 134-141
- [3] Raupach, M.; Orlowsky, J.: Erhaltung von Betonbauwerken – Baustoffe und ihre Eigenschaften. Vieweg + Teubner, 2008
- [4] Raupach, M.; Orlowsky, J.: Schutz und Instandsetzung von Betontragwerken. Grundlagen, Planung, und Instandsetzungsprinzipien nach neuer Norm. Verlag Bau+Technik, 2008
- [5] Raupach, M.; Wolff, L.: Reduktion der Bewehrungsüberdeckung bei vorhandener Beschichtung bei Parkhaus-Neubauten. Schriftenreihe des Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E.V., DBV-Heft 9, 2005
- [6] Wolff, L.; Raupach, M.: Beschichtungsschäden – Schadensmechanismen und Lösungsansätze. 3. Kolloquium Verkehrsbauten, Schwerpunkt Parkhäuser/Brücken, Technische Akademie Esslingen, 29.-30.01.2008, S. 313-324
- [7] Bayer, E.: Parkhäuser – aber richtig. Ein Leitfaden für Bauherren, Architekten und Ingenieure. Verlag Bau+Technik, 2006
- [8] DBV-Merkblatt „Parkhäuser und Tiefgaragen“, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V., Berlin, 2010
- [9] Schwamborn, B.; Wolff, L.: Immer wieder Diskussionen über den Verschleiß von befahrbaren Oberflächenschutz- bzw. Abdichtungssystemen – Wer meint was? In: 5. Kolloquium Verkehrsbauten – Schwerpunkt Parkhäuser vom 24.-25. Januar 2012 in Esslingen, S. 287-295, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 2012
- [10] Institut für Straßenwesen, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau: Aachener Ravelling Tester (ARTe), 2011
- [11] Huppertz, F.; Neisecke, J.: Entwicklung eines praxisrelevanten Verschleißtests für rissüberbrückende Parkhausbeschichtungen – Stand der Forschung. In: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, Jg. 10, Nr. 5, 2004, S. 497-510
- [12] Bilfinger Berger: Verschleißbeständigkeit von Parkhausbeschichtungssystemen, 06/2009
- [13] Oster, Sebastian: Zusammenhang von Rissbreiten und Rissflankenbruchneigung bei Industriefußböden, Forschungsvorhaben DBV, Band T 3269, 06/2011
- [14] Gu, C.: Finite Element Analysis of contact Pressure on Tire-Pavement Interface, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Konstruktion Maschinen- und Apparatebau, TU Kaiserslautern, 2013

- [15] Krams, J.; Stauder, F.: Parkhausbeschichtungen unter extremer Verschleißbeanspruchung. In: 1. Kolloquium zur Erhaltung von Bauwerken vom 27.-28. Januar 2009 in Esslingen, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 2009
- [16] Ladner, E.-M.; Krams, J.; Breit, W.: Abrasion Test for Surface Protection Systems for Car Parks. In: Uzoegbo, H.; Schmidt, W. 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
- [17] 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, Ostfildern, 2013
- [18] Ladner, E.-M.: Neue Prüfmethode zur Bestimmung des Verschleißes an Parkhausbeschichtungssystemen. In: Beiträge zur 1. DAfStb-Jahrestagung mit 54. Forschungskolloquium vom 07.-08. November 2013 in Bochum, S. 433-436, Ruhr-Universität Bochum, Bochum, 2013
- [19] Ladner, E.-M.; Breit, W.; Schulze, J.; Krams, J.: Neue Verschleißprüfmethode an Oberflächenschutzsystemen von Parkbauten. In: 6. Kolloquium Parkbauten vom 28. -29. Januar 2014 in Esslingen, S. 225-230, Technische Akademie Esslingen, Ostfildern, 2014

Normenverzeichnis

- [N1] DIN EN 1990:2010-12 Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung: mit DIN EN 1990/NA: Nationaler Anhang: 2010-12
- [N2] DIN EN 1990/NA:2010-12 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [N3] DIN EN 1992-1-1:2011-01 Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [N4] DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [N5] DIN V 18026:2006-06 Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2:2005-01
- [N6] DIN EN ISO 5470-1:1999-09 Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien - Bestimmung des Abriebwiderstandes - Teil 1: Taber-Abriebprüfgerät
- [N7] DIN EN 13892-3:2004-07 Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen - Teil 3: Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach Böhme
- [N8] DIN EN 13892-1:2003-02 Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen - Teil 1: Probenahme, Herstellung und Lagerung der Prüfkörper
- [N9] DIN EN 13892-4:2003-02 Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen - Teil 4: Bestimmung des Verschleißwiderstandes nach BCA
- [N10] DIN EN 13892-5:2003-09 Prüfverfahren für Estrichmörtel und Estrichmassen - Teil 5: Bestimmung des Widerstandes gegen Rollbeanspruchung von Estrichen für Nuttschichten
- [N11] DIN EN 660-1:1999-06 Elastische Bodenbeläge - Ermittlung des Verschleißverhaltens - Teil 1: Stuttgarter Prüfung
- [N12] DIN EN 1504-2:2005-01 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Definitionen, Anforderungen, Qualitätsüberwachung und Beurteilung der Konformität - Teil 2: Oberflächenschutzsysteme für Beton
- [N13] DIN 18560-7:2004-04 Estriche im Bauwesen - Teil 7: Hochbeanspruchbare Estriche (Industriestriche)
- [N14] DIN EN 1766:2000-03 Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen
- [N15] DIN EN 12350:2009-08 Prüfung von Frischbeton

- [N16] DIN EN 12390-3:2009-07 Prüfung von Festbeton - Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern
- [N17] DIN EN 1542:1992-07 Prüfverfahren – Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch

Anhang zum Forschungsbericht

Betonzusammensetzung

 Mischungsberechnungs-Protokoll <small>Erstellt am: Donnerstag, 15. März 2012, 12:58:23 Uhr Bitte beachten Sie den Hinweis zum Haftungsausschluss unter Hilfe im Programm oder im Impressum von www.lafarge.de</small>		Werk/Baustelle: Bauwerk/Bauteil: OS Parkhaus Ersteller/Bearbeiter: Ladner							
Anforderungen									
Expositions-klassen:	XC3; XD3; XF4	Festigkeits-klasse:	C 40/50	Feuchtigkeits-klasse:	WO	Konsistenz-klasse:	C3, F3	Größtkorn:	16 mm
max. w/z bzw. w/z _{eq}	0,45	min. Zement-gehalt:	320 kg/m ³	Vorhaltemaß:	6 N/mm ²	Unterwasser-beton:	nein	Sieblinien-bereich:	A/B
Prüftermin:	28 Tage	min. Zement-gehalt:	(bei Anrechnung von Zusatzstoffen)		WU-Beton:	nein	k-Wert:	4,08	
Ausgangsstoffe									
Zement:	CEM I 42,5 R Karsdorf			Gesteins-körnung:	Rheinsand 0/2, 02.11.2010 (2,6) Rheinkies 2/8, 02.11.,2010 (2,6) Rheinkies 8/16, 02.11.2010 (2,6)				
Zusatz-mittel:					Recycling-wasser-gehalt:	0,0 kg/m ³	Recycling-wasser-dichte:	1,00 kg/dm ³	
Zusatz-stoffe:					Gesamt-wasser:	170,4 kg/m ³	Luftporen-gehalt:	1,5 Vol.-%	
Stoffraumrechnung									
Zieldruck-festigkeit:	$f_{ck,cube} \geq f_{ck} + 6 \text{ N/mm}^2 = 56 \text{ N/mm}^2$			w/z-Wert (Festigkeit)	$\leq 0,36$		w/z-Wert (Expositions-klasse)	$\leq 0,45$	
				Gewählter w/z-Wert, $w/z + k_{rf} + k_{rs}$, ($k_r = 0,4; k_s = 1,0$) (bei Unterwasserbeton $k_r = 0,7; k_s = 1,0$)					
				Dichte kg/dm ³	Stoffraum dm ³ /m ³				
Frischwassergehalt, w_{frisch}				kg/m ³	170,42	: 1,00 -->		170,42	
Recyclingwassergehalt, w_{recycl}				kg/m ³	0,00	: 1,00 -->		0,00	
Zementgehalt, z				kg/m ³	375,00	: 3,12 -->		120,19	
Zusatzmittel				kg/m ³					
Zusatzmittel				kg/m ³					
Zusatzmittel				kg/m ³					
Zusatzstoffe				kg/m ³				1000,00	
Zusatzstoffe				kg/m ³					
Zusatzstoffe				kg/m ³					
Luftporengehalt, p				Vol.-%	1,52	x 10 -->		15,16	
Erforderliche Gesteinskörnung, g				kg/m ³	1805,00	<- 2,60 x		694,23 <- 694,23	
Zusammensetzung für 1 m³					Zusammensetzung für 0,600 m³				
		Anteil	Stoffraum	Kornroh-dichte	trocken		Oberflächenfeuchte		feucht
		Vol.-%	dm ³ /m ³	kg/dm ³	kg/m ³	kg	M.-%	kg	kg
Gesteinskörnung									
Rheinsand 0/2		34,9	242,1	2,60	629,37	377,621	1,0	3,776	381,397
Rheinkies 2/8		34,9	242,0	2,60	629,24	377,546	1,5	5,663	383,210
Rheinkies 8/16		30,3	210,1	2,60	546,38	327,830	0,2	0,656	328,486
Summe		100,0	694,2		1805,00	1082,997			1093,092
Zement		CEM I 42,5 R Karsdorf			375,00	225,000			225,000
Zusatzmittel									
Zusatzmittel									
Zusatzmittel									
Frischwasser					170,42	102,251		10,095	92,156
Recyclingw.					0,00	0,000			0,000
Zusatzstoff									
Zusatzstoff									
Zusatzstoff									
Sollwert Frischbetonmasse					2350,41	1410,248			1410,248
Mehlkorngehalt in kg/m ³ : 375,0 Zement + 6,3 Gesteinskörnung < 0,125 mm + 0,0 Zusatzstoff + 0,0 Feststoffe Recyclingw. = 381,3 Mehlkorn- und Feinstsandgehalt in kg/m ³ : 375,0 Zement + 100,7 Gesteinskörnung < 0,25 mm + 0,0 Zusatzstoff + 0,0 Feststoffe Recyclingw. = 475,7 Mörtelgehalt in dm ³ /m ³ : 170,4 Wasser + 0,0 Recyclingw. + 120,2 Zement + 0,0 Zusatzstoff + 15,2 Luftporengehalt + 227,5 Sand 0/2 mm = 533,3									

Abbildung 55: Betonzusammensetzung

Ergebnisse Haftzugfestigkeit

Tabelle 15: Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 8

	Probestelle	Oberflächenzugfestigkeit [N/mm ²]	Bruchstelle	Mittelwert [N/mm ²]
OS 8.1.1	belastet			
	1	4,32	im Betonuntergrund	4,37
	2	4,41	im Betonuntergrund	
	3	4,39	im Betonuntergrund	
	unbelastet			
	1	3,85	im Betonuntergrund	4,01
	2	4,19	im Betonuntergrund	
	3	3,99	im Betonuntergrund	
	OS 8.1.2	belastet		
1		4,60	im Betonuntergrund	4,25
2		3,86	im Betonuntergrund	
3		4,28	im Betonuntergrund	
unbelastet				
1		4,28	im Betonuntergrund	4,03
2		3,72	im Betonuntergrund	
3		4,10	im Betonuntergrund	
OS 8.2.1		belastet		
	1	3,87	im Betonuntergrund	4,01
	2	3,93	im Betonuntergrund	
	3	4,22	im Betonuntergrund	
	unbelastet			
	1	4,00	im Betonuntergrund	3,91
	2	3,72	im Betonuntergrund	
	3	4,02	im Betonuntergrund	
	OS 8.3.1	belastet		
1		5,06	im Betonuntergrund	4,95
2		5,09	im Betonuntergrund	
3		4,69	im Betonuntergrund	
unbelastet				
1		4,71	im Betonuntergrund	4,74
2		5,12	im Betonuntergrund	
3		4,39	im Betonuntergrund	

Tabelle 16: Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 11.A

	Probestelle	Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	Bruchstelle	Mittelwert [N/mm ²]
OS 11.A.1.1	belastet			
	1	1,00	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 80 %	0,91
	2	0,87	zw. Grundierung und Beton	
	3	0,85	zw. Grundierung und Beton	
	unbelastet			
	1	0,75	zw. Grundierung und Beton, ca. 10 %	0,77
	2	0,84	zw. Grundierung und Beton, ca. 10 %	
	3	0,73	zw. Grundierung und Beton, ca. 30 %	
	OS 11.A.1.2	belastet		
1		0,90	zw. Grundierung und Beton, ca. 5 %	1,40
2		1,77	zw. Schwimm- und Verschleißschicht, ca. 20 %	
3		1,52	zw. Schwimm- und Verschleißschicht, ca. 80 %	
unbelastet				
1		1,54	zw. Schwimm- und Verschleißschicht, ca. 70 %	1,24
2		1,23	zw. Grundierung und Schwimmschicht, ca. 90%	
3	0,96	zw. Grundierung und Beton		
OS 11.A.2.1	belastet			
	1	0,96	zw. Grundierung und Beton	0,96
	2	0,76	zw. Grundierung und Beton	
	3	1,16	zw. Grundierung und Beton	
	unbelastet			
	1	0,72	zw. Grundierung und Beton	0,76
	2	0,42	zw. Grundierung und Beton, ca. 30 %	
3	1,15	zw. Grundierung und Beton		
OS 11.A.2.2	belastet			
	1	1,45	zw. Grundierung und Beton, ca. 20 %	1,11
	2	0,30	zw. Grundierung und Beton, ca. 5 %	
	3	1,588	zw. Grundierung und Beton	
	unbelastet			
	1	0,59	zw. Grundierung und Beton, ca. 5 %	0,75
	2	0,71	zw. Grundierung und Beton	
3	0,95	zw. Grundierung und Beton		

Tabelle 17: Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 11.B

	Probestelle	Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	Bruchstelle	Mittelwert [N/mm ²]
OS 11.B.1.1	belastet			
	1	2,44	in der Beschichtung	2,35
	2	2,28	zw. Kleber und Beschichtung, 10 %	
	3	2,32	in der Beschichtung, ca. 5 % Beton	
	unbelastet			
	1	1,52	zw. Kleber und Beschichtung, 10 %	2,04
	2	2,50	in der Beschichtung	
3	2,11	zw. Kleber und Beschichtung, 40 %		
OS 11.B.1.2	belastet			
	1	1,68	zw. Stempel und Kleber, ca. 5 %	2,17
	2	2,52	in der Beschichtung, < 5 %	
	3	2,30	in der Beschichtung, ca. 10 %	
	unbelastet			
	1	2,02	in der Beschichtung, ca. 5 %	2,40
	2	2,55	in der Beschichtung	
3	2,64	in der Beschichtung		
OS 11.B.2.1	belastet			
	1	2,20	zw. Beschichtung und Grundierung, ca. 5 %	2,53
	2	2,47	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 80 %	
	3	2,92	zw. Beschichtung und Grundierung, ca. 80 %	
	unbelastet			
	1	2,00	zw. Grundierung und Beschichtung, < 5 %	1,97
	2	2,44	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 5 %	
3	1,46	zw. Beschichtung und Grundierung, < 5 %		
OS 11.B.5.1	belastet			
	1	2,46	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 70 %	2,53
	2	2,47	zw. Klebstoff und Beschichtung, ca. 95 %	
	3	2,67	zw. Klebstoff und Beschichtung, ca. 80 %	
	unbelastet			
	1	1,81	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 90 %	2,31
	2	2,43	zw. Klebstoff und Beschichtung, ca. 80 %	
3	2,70	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 10 % Beton		

Tabelle 18: Ergebnisse Haftzugfestigkeit OS 10/13

	Probestelle	Haftzugfestigkeit [N/mm ²]	Bruchstelle	Mittelwert [N/mm ²]
OS 11.A.1.3	belastet			
	1	1,01	zw. Grundierung und Beschichtung	2,26
	2	1,32	zw. Grundierung und Beschichtung	
	3	1,11	zw. Grundierung und Beschichtung, ca.5 %	
	unbelastet			
	1	1,56	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 50 %	2,87
	2	1,42	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 10 %	
	3	1,39	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 20 %	
	OS 10.4.1	belastet		
1		0,65	zw. Grundierung und Beschichtung	1,43
2		0,73	zw. Grundierung und Beton	
3		0,80	zw. Grundierung und Beton	
unbelastet				
1		0,96	zw. Grundierung und Beschichtung	2,28
2		1,07	zw. Grundierung und Beton, ca. 1 %	
3	1,45	zw. Grundierung und Beton		
OS 13.4.1	belastet			
	1	1,87	zw. Grundierung und Beschichtung, ca. 20 %	4,63
	2	2,27	im Beton, ca. 15 %	
	3	2,94	im Beton, ca. 10 %	
	unbelastet			
	1	0,96	zw. Grundierung und Beschichtung	3,87
	2	1,89	im Beton, ca. 5%	
3	3,06	im Beton, ca. 5 %		
OS 13.4.2	belastet			
	1	2,72	zw. Grundierung und Beschichtung	5,2
	2	2,49	im Beton, ca. 5 %	
	3	2,72	im Beton, ca. 15 %	
	unbelastet			
	1	2,55	zw. Grundierung und Beschichtung	4,78
	2	2,42	im Beton, < 5 %	
3	2,33	im Beton, ca. 5 %		

OS 8-Systeme

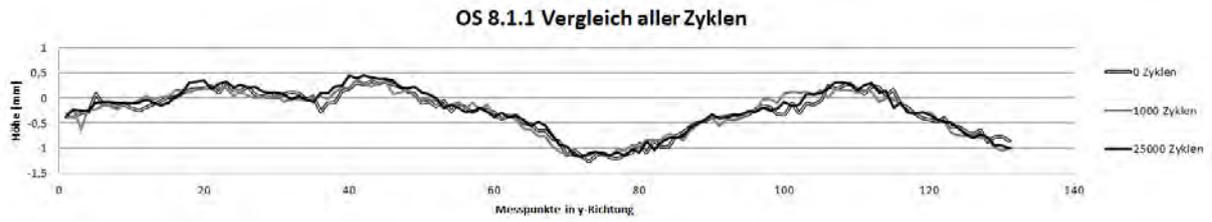


Abbildung 56: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.1.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

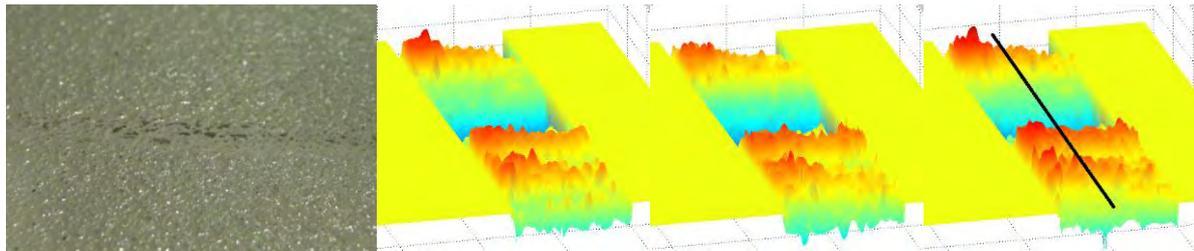


Abbildung 57: Links: Foto eines OS 8.1.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen



Abbildung 58: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.1.2-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

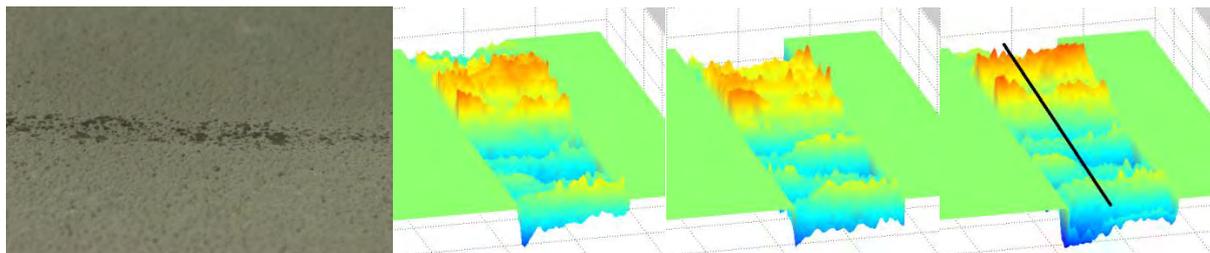


Abbildung 59: Links: Foto eines OS 8.1.2-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen

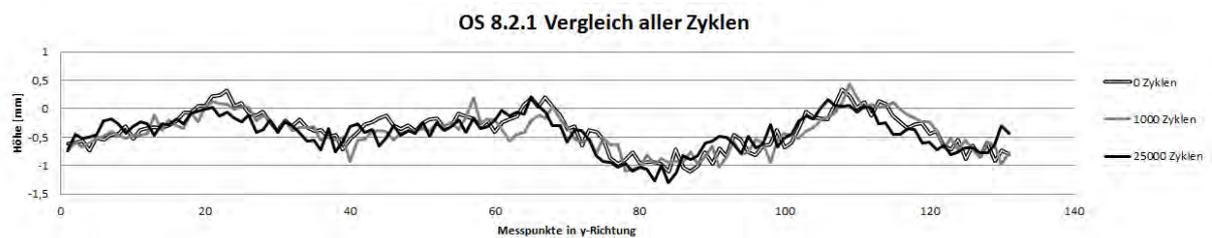


Abbildung 60: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.2.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

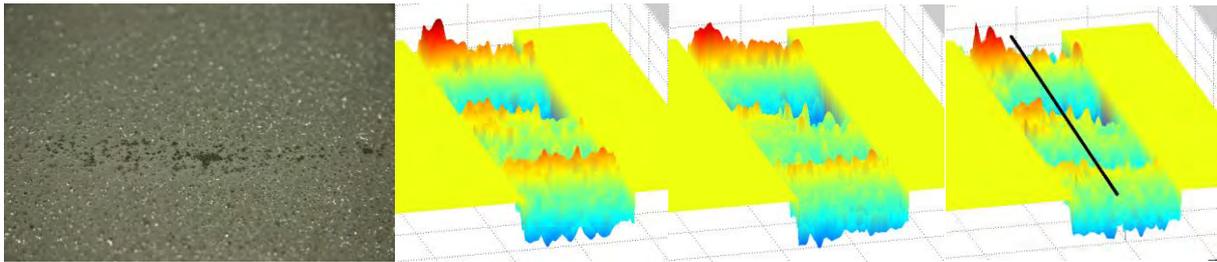


Abbildung 61: Foto eines OS 8.2.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen



Abbildung 62: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 8.3.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

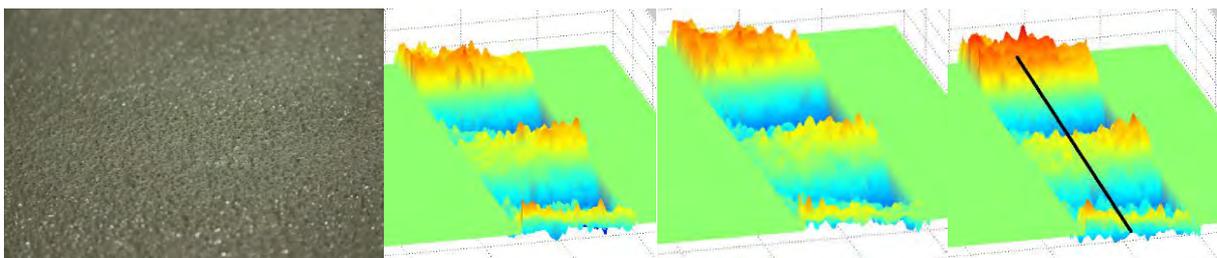


Abbildung 63: Foto eines OS 8.3.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 1.000 und 25.000 Überfahrungen

OS 11.A-Systeme

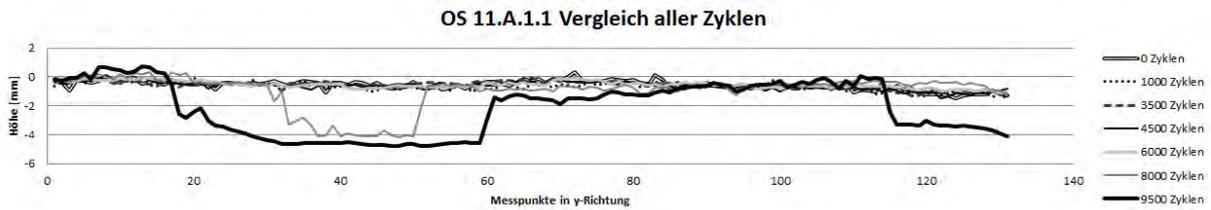


Abbildung 64: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.1.1-Systems von 0-9.500 Überfahrungen

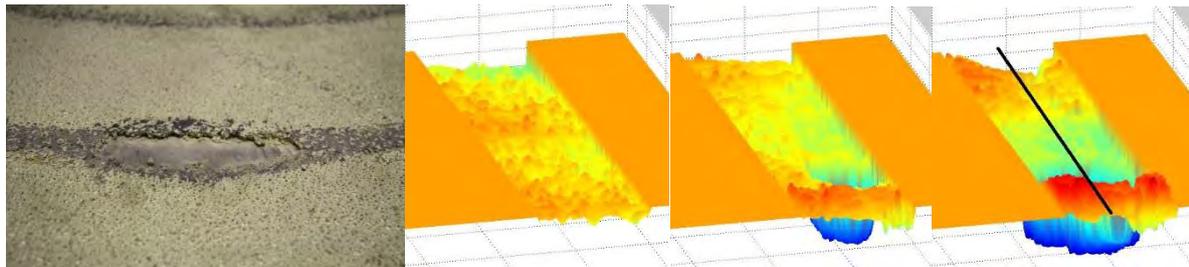


Abbildung 65: Links: Foto eines OS 11.A.1.1-Systems nach 9500 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 8.000 und 9.500 Überfahrungen

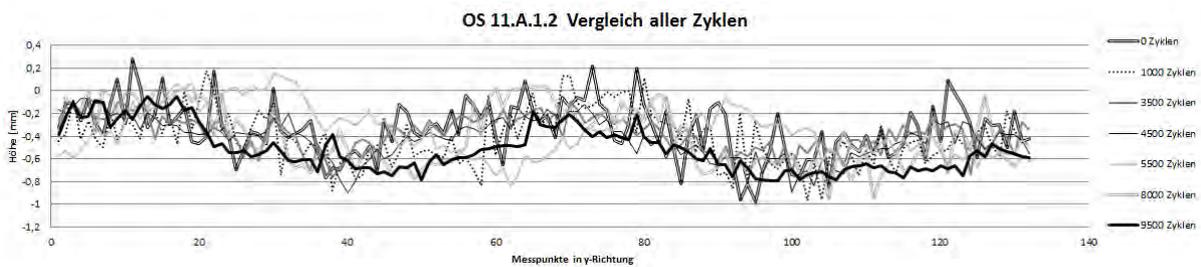


Abbildung 66: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.1.2 Systems nach 9.500 Überfahrungen

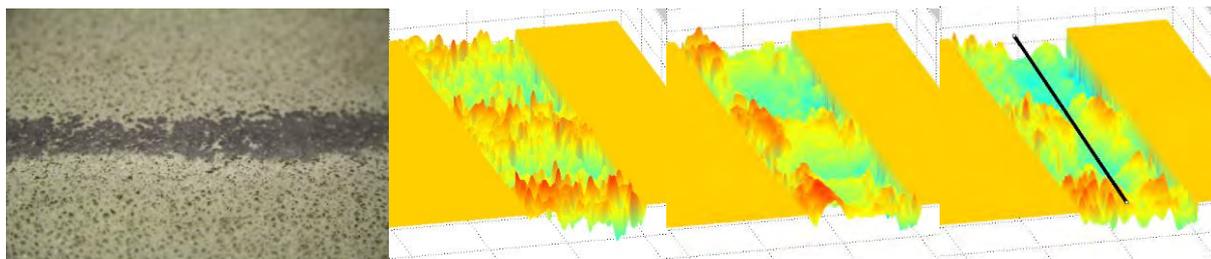


Abbildung 67: Links: Foto eines OS 11.A.1.2-Systems nach 9.500 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 4.500 und 9.500 Überfahrungen

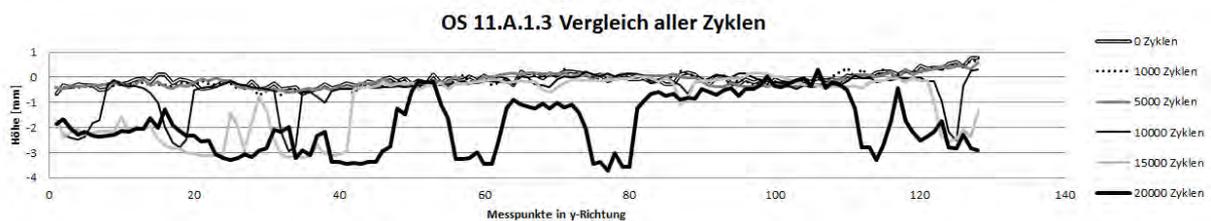


Abbildung 68: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.A.1.3 Systems nach 20.000 Überfahrungen

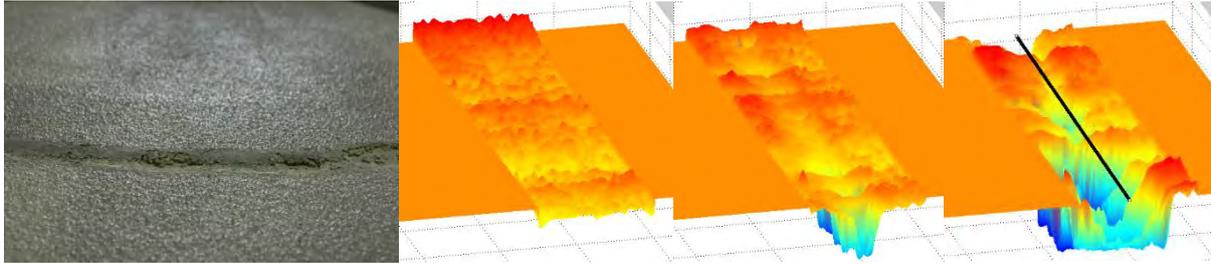


Abbildung 69: Links: Foto eines OS 11.A.1.3-Systems nach 20.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 10.000 und 20.000 Überfahrungen

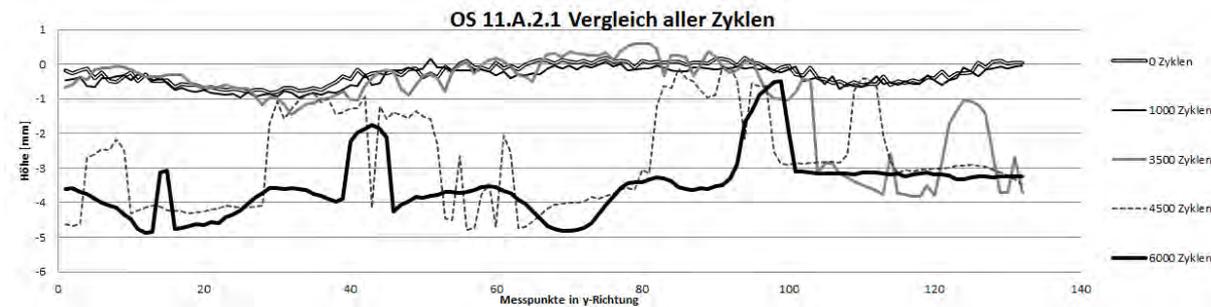


Abbildung 70: Vergleich der mittleren Profilinien eines OS 11.A.2.1-Systems von 0-6.000 Überfahrungen

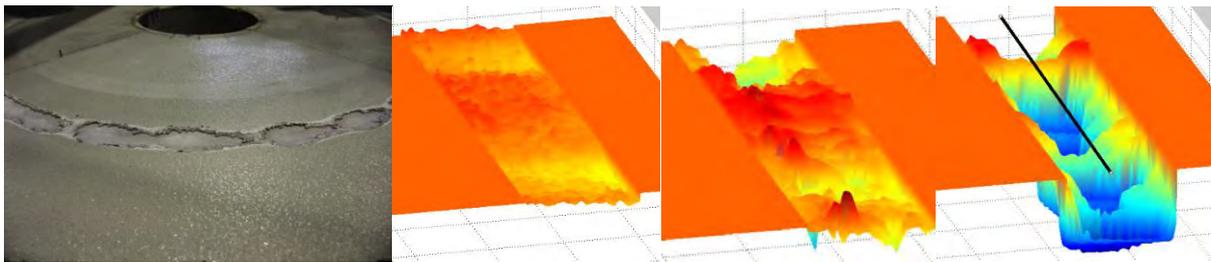


Abbildung 71: Links: Foto eines OS 11.A.2.1-Systems nach 6.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 3.500 und 6.000 Überfahrungen

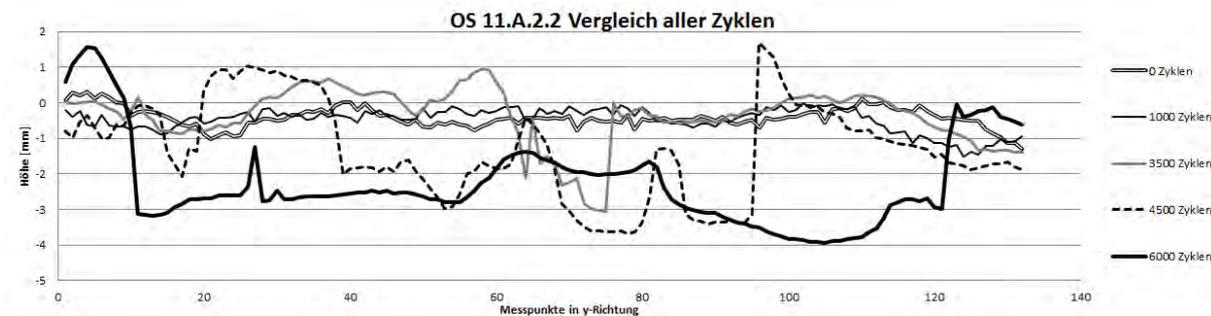


Abbildung 72: Vergleich der mittleren Profilinien eines OS 11.A.2.2-Systems von 0-6.000 Überfahrungen

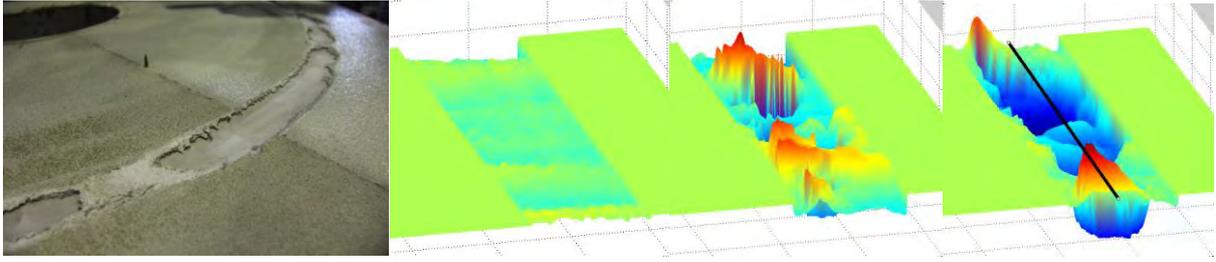


Abbildung 73: Links: Foto eines OS 11.A.2.2-Systems nach 6.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 4.500 und 6.000 Überfahrungen

OS 11.B-Systeme

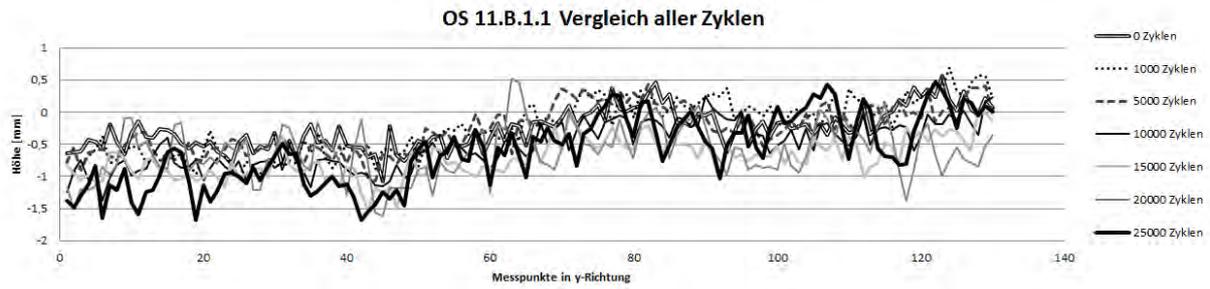


Abbildung 74: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.1.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

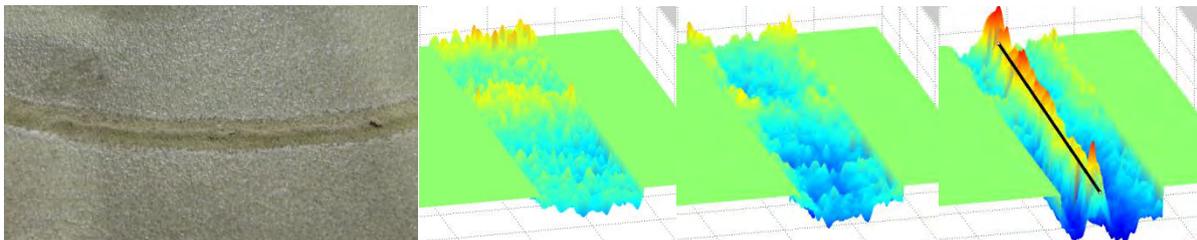


Abbildung 75: Links: Foto eines OS 11.B.1.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 15.000 und 25.000 Überfahrungen

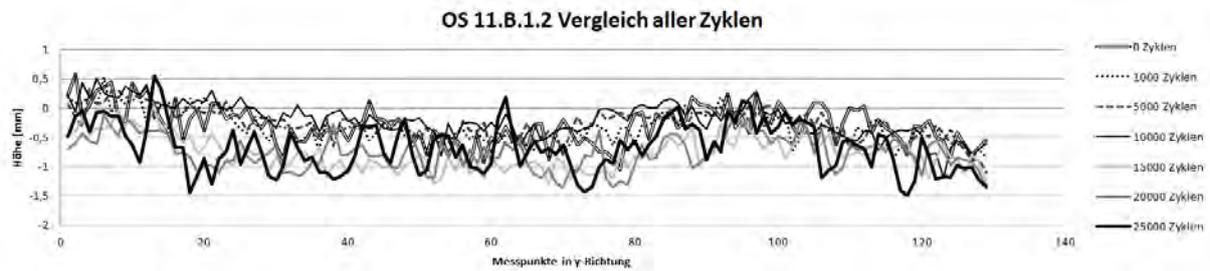


Abbildung 76: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.1.2-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

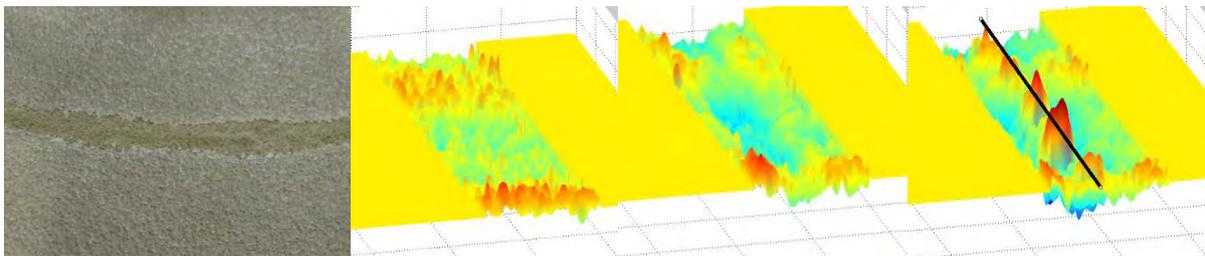


Abbildung 77: Links: Foto eines OS 11.B.1.2-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 15.000 und 25.000 Überfahrungen

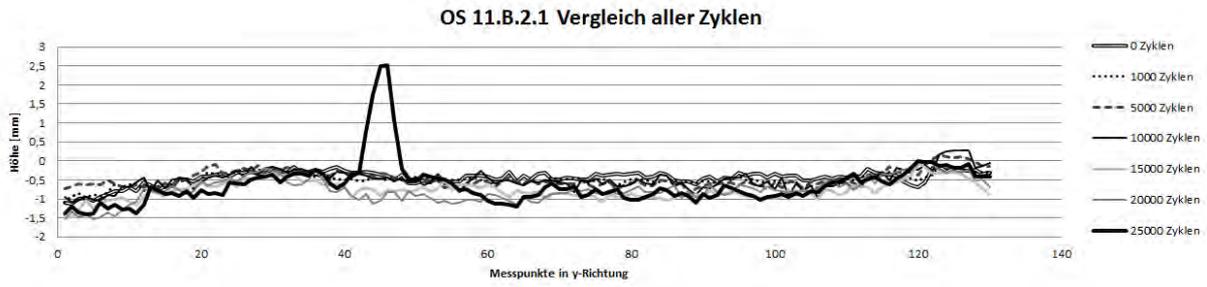


Abbildung 78: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.2.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

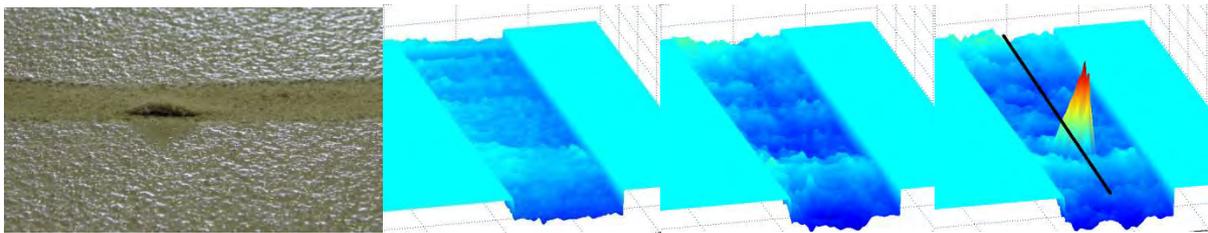


Abbildung 79: Links: Foto eines OS 11.B.2.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 20.000 und 25.000 Überfahrungen

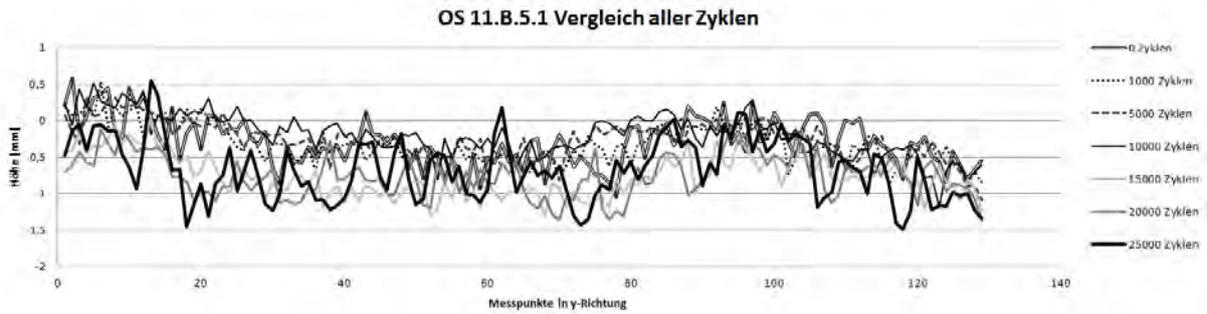


Abbildung 80: Vergleich der mittleren Profillinien eines OS 11.B.5.1-Systems von 0-25.000 Überfahrungen

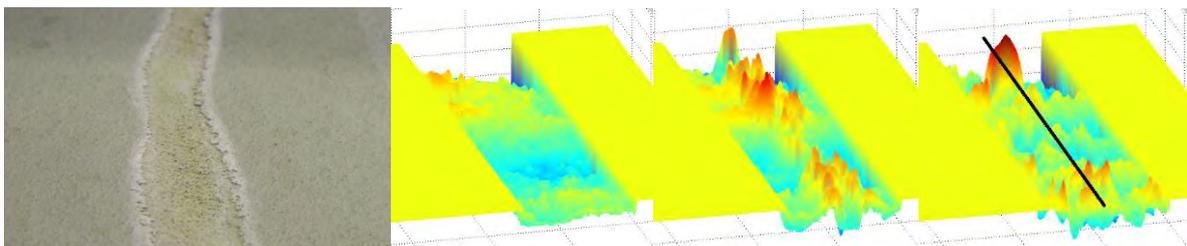


Abbildung 81: Links: Foto eines OS 11.B.5.1-Systems nach 25.000 Überfahrungen; Rechts: 3D-Bild nach 0, 10.000 und 25.000 Überfahrungen

Tabelle 19: Klassifizierung eines OS 8.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

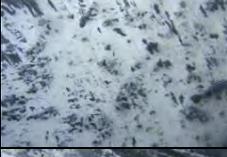
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 8.1.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen, leichter Abrieb der Versiegelung	
	3.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit, Abgefahrene Kornspitzen	
	4.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen	
	5.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen	
	7.500	VK I	Abgefahrene Kornspitzen	
	10.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	12.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	15.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	

Tabelle 20: Klassifizierung eines OS 8.1.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

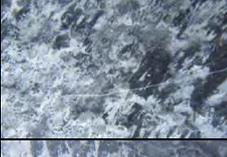
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 8.1.2	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen, leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit	
	3.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit	
	4.000	VK I	Abrieb oberflächennaher Körner, einzelne kleine Körner ausgebrochen	
	5.000	VK I	Abrieb oberflächennaher Körner, einzelne kleine Körner ausgebrochen	
	7.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	10.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	12.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	15.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	

Tabelle 21: Klassifizierung eines OS 8.2.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

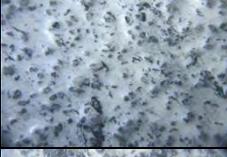
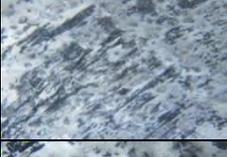
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 8.2.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	3.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	4.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit, Abgefahrene Kornspitzen	
	5.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit, Abgefahrene Kornspitzen	
	7.500	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit, Abgefahrene Kornspitzen	
	10.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	12.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	15.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner	

Tabelle 22: Klassifizierung eines OS 8.3.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

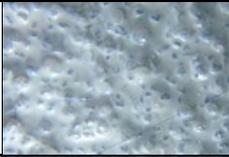
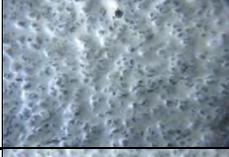
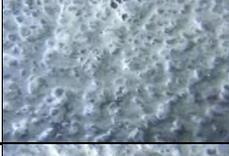
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 8.3.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	3.000	VK I	Leichter Abrieb der Versiegelung	
	4.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit, Abgefahrene Kornspitzen	
	5.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	7.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	10.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	12.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	15.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner	

Tabelle 23: Klassifizierung eines OS 10.4.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 10.4.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK II	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren und punktuell beschädigt, Ausbruch von Körnern	
	2.000	VK II	Ausbruch von Körnern und Korngruppen, starke Rissbildung im Ausbruchbereich	
	3.000	VK III	Druckversiegelung großflächig beschädigt, Quarzkörner zusammenhängend, kleinflächig ausgebrochen	
	4.000	VK IV	Starker punktueller Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 62 %	
	5.000	VK IV	Starker kleinflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 60 %	
	7.500	VK IV	Starker großflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 55 %	
	10.000	VK V	Starker großflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 47 %	

Tabelle 24 Klassifizierung eines bei 50 °C geprüften OS 10.4.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

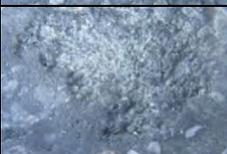
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 10.4.1-50°C	0	-	Intakt	
	1.000	VK II	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren und punktuell beschädigt, Ausbruch von Körnern	
	2.000	VK II	Ausbruch von Körnern und Korngruppen, Rissbildung in der Deckversiegelung	
	3.000	VK III	Druckversiegelung großflächig beschädigt, Quarzkörner zusammenhängend, kleinflächig ausgebrochen	
	4.000	VK IV	Starker punktueller Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 62 %	
	5.000	VK IV	Starker kleinflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 58 %	
	7.500	VK IV	Starker großflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 57 %	
	10.000	VK V	Starker großflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 48 %	

Tabelle 25: Klassifizierung eines OS 13.4.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

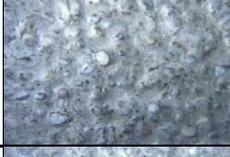
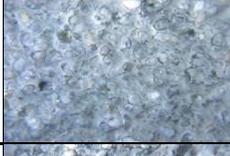
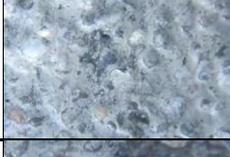
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 13.4.1	0	-	intakt	
	1.000	VK I	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren	
	2.000	VK I	Abgefahrte Kornspitzen, vereinzelter Ausbruch von Körner, leichter Abrieb der Versiegelung	
	3.000	VK I	Abgefahrte Kornspitzen, vereinzelter Ausbruch von Körner	
	4.000	VK I	Abgefahrte Kornspitzen, vereinzelter Ausbruch von Körner	
	5.000	VK I	Ausgebrochene Körner und kleine Korngruppen	
	7.500	VK II	Ausgebrochene Körner und kleine Korngruppen, punktuelle Beschädigung der Deckversiegelung	
	10.000	VK II	Ausbruch kleiner Korngruppen, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	12.500	VK II	Ausbruch kleiner Korngruppen, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	15.000	VK III	Ausbruch kleiner Korngruppen, Falten- und Rissbildung in der Deckversiegelung	

Tabelle 26: Klassifizierung eines OS 13.4.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

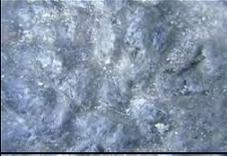
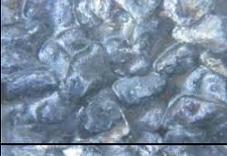
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 13.4.2	0	-	intakt	
	1.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen, leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen, leichter Abrieb der Versiegelung	
	3.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen, vereinzelter Ausbruch von Körner	
	4.000	VK II	Ausbruch einzelner Körner, Faltenbildung im Ausbruchbereich	
	5.000	VK II	Ausbruch einzelner Körner, Faltenbildung im Ausbruchbereich	
	7.500	VK III	Ausbruch einzelner Körner, Deckversiegelung großflächig beschädigt	
	10.000	VK III	Ausbruch einzelner Körner, Deckversiegelung großflächig beschädigt	
	12.500	VK III	Ausbruch einzelner Körner, Deckversiegelung großflächig beschädigt	
	15.000	VK IV	Starker flächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 66 %	

Tabelle 27: Klassifizierung eines OS 11.A.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

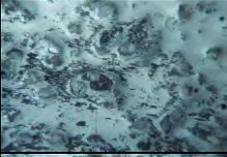
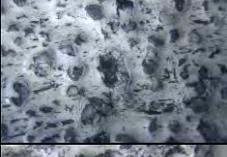
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.A.1.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen, leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit	
	3.000	VK I	Abrieb oberflächennaher Körner, einzelne kleine Körner ausgebrochen	
	4.000	VK II	Vereinzelter Ausbruch kleiner Korngruppen	
	5.000	VK II	Vereinzelter Ausbruch kleiner Korngruppen, Faltenbildung der Versiegelung im Ausbruchbereich	
	7.500	VK II	Teilweise ganze Korngruppen ausgebrochen, kleine Risse in Ausbruchbereichen	
	10.000	VK II	Teilweise ganze Korngruppen ausgebrochen, kleine Risse in Ausbruchbereichen	
	12.500	VK II	Teilweise ganze Korngruppen ausgebrochen (auch im Randbereich), kleine Risse in Ausbruchbereichen	
	15.000	VK II	Teilweise ganze Korngruppen ausgebrochen (auch im Randbereich), kleine Risse in Ausbruchbereichen	

Tabelle 28 Klassifizierung eines bei 50 °C geprüften OS 11.A.11-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.A.1.1-50°C	0	-	intakt	
	1.000	VK I	Abgefahrte Kornspitzen, leichter Abrieb der Versiegelung	
	2.000	VK I	Abrieb oberflächennaher Körner, einzelne Körner ausgebrochen	
	3.000	VK II	Vereinzelter Ausbruch kleiner Korngruppen	
	4.000	VK II	Vereinzelter Ausbruch kleiner Korngruppen, Faltenbildung im Ausbruchbereich	
	5.000	VK II	Ausbruch kleiner Korngruppen, vereinzelte Rissbildung im Ausbruchbereich	
	7.500	VK II	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	10.000	VK II	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	12.500	VK II	Ausbruch kleiner Korngruppen, Großflächiger Abrieb der Deckversiegelung	
	15.000	VK III	Deckversiegelung großflächig beschädigt, Ausbruch kleiner Korngruppen	

Tabelle 29: Klassifizierung eines OS 11.A.1.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

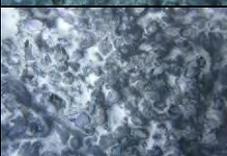
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.A.1.2	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen	
	2.000	VK I	Stellenweise Abrieb der Deckversiegelung, Ausbruch einzelner oberflächennaher Körner	
	3.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner	
	4.000	VK II	Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen	
	5.000	VK II	Vereinzelter Ausbruch kleiner Korngruppen	
	7.500	VK II	Gleichmäßiger Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen auch im Randbereich	
	10.000	VK II	Gleichmäßiger Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen auch im Randbereich	
	12.500	VK II	Gleichmäßiger Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	15.000	VK II	Gleichmäßiger Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen, Rissbildung im Ausbruchbereich	

Tabelle 30: Klassifizierung eines OS 11.A.2.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

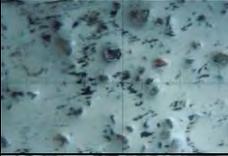
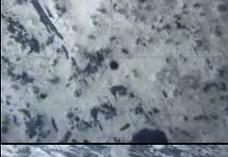
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.A.2.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen	
	2.000	VK I	Abgefahrene Kornspitzen	
	3.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	4.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	5.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	7.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	10.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	12.500	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	
	15.000	VK I	Ausbruch einzelner Körner, Rissbildung im Ausbruchbereich	

Tabelle 31: Klassifizierung eines OS 11.A.2.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

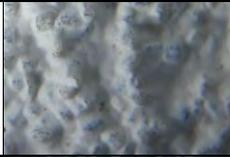
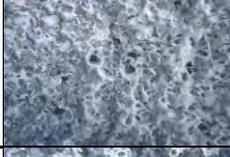
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.A.2.2	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Stellenweiser Abrieb der Deckversiegelung	
	2.000	VK II	Großflächiger Abrieb der Deckversiegelung, Ausbruch einzelner Körner	
	3.000	VK II	Deckversiegelung großflächig beschädigt, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	4.000	VK II	Deckversiegelung großflächig beschädigt, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	5.000	VK II	Deckversiegelung großflächig beschädigt, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	7.500	VK III	Nahezu vollständiger Abrieb der Deckversiegelung, Ausbruch von Korngruppen	
	10.000	VK III	Nahezu vollständiger Abrieb der Deckversiegelung, Ausbruch von Korngruppen	
	12.500	VK III	Nahezu vollständiger Abrieb der Deckversiegelung, Ausbruch von Korngruppen	
	15.000	VK III	Nahezu vollständiger Abrieb der Deckversiegelung, Ausbruch von Korngruppen	

Tabelle 32: Klassifizierung eines OS 11.B.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

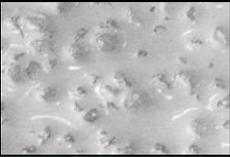
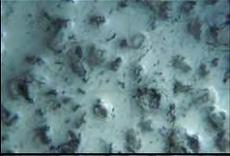
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.B.1.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren	
	2.000	VK I	Vereinzelt ausgelöste Körner	
	3.000	VK II	Punktuell beschädigte Deckversiegelung, Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen	
	4.000	VK II	Punktuell beschädigte Deckversiegelung, Ausbruch einzelner Körner und kleiner Korngruppen	
	5.000	VK II	Ausbruch kleiner Korngruppen, Faltenbildung der Deckversiegelung im Ausbruchsbereich der Körner	
	7.500	VK II	Ausbruch kleiner Korngruppen, Faltenbildung der Deckversiegelung im Ausbruchsbereich der Körner	
	10.000	VK III	Ausbruch kleinflächiger Korngruppen, Falten- und Rissbildung in der Deckversiegelung	
	12.500	VK III	Ausbruch kleinflächiger Korngruppen, Falten- und Rissbildung in der Deckversiegelung	
	15.000	VK III	Ausbruch kleinflächiger Korngruppen, Falten- und Rissbildung in der Deckversiegelung	

Tabelle 33 Klassifizierung eines bei 50 °C geprüften OS 11.B.1.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

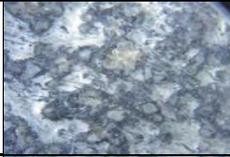
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.B.1.1-50°C	0	-	intakt	
	1.000	VK I	Oberflächennahe Körner von Versiegelung befreit	
	2.000	VK I	Abrieb oberflächennaher Körner, einzelne Körner ausgebrochen	
	3.000	VK II	Vereinzelter Ausbruch kleiner Korngruppen, Falten- und Rissbildung der Versiegelung im Ausbruchbereich	
	4.000	VK II	Ausbruch von Korngruppen, Falten und Rissbildung im Ausbruchbereich	
	5.000	VK III	Deckversiegelung großflächig beschädigt, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	7.500	VK III	Deckversiegelung großflächig beschädigt, Ausbruch kleiner Korngruppen	
	10.000	VK IV	Starke großflächige Beschädigung der Druckversiegelung	
	12.500	VK IV	Starker großflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 62%	
	15.000	VK V	Starker großflächiger Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 47 %	

Tabelle 34: Klassifizierung eines OS 11.B.1.2-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

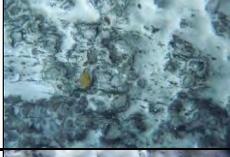
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.B.1.2	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahrene, vereinzelte ausgelöste Körner	
	2.000	VK I	Einzelne ausgelöste Körner, fühlbare Rillen in der Deckversiegelung	
	3.000	VK II	Ausgebrochene Körner und kleine Korngruppen, Punktuelle Beschädigung der Deckversiegelung	
	4.000	VK III	Quarzkörner kleinflächig und zusammenhängend ausgebrochen, großflächige Beschädigung der Deckversiegelung	
	5.000	VK III	Quarzkörner kleinflächig und zusammenhängend ausgebrochen, großflächige Beschädigung der Deckversiegelung	
	7.500	VK III	Quarzkörner kleinflächig und zusammenhängend ausgebrochen, großflächige Beschädigung der Deckversiegelung	
	10.000	VK III	Quarzkörner kleinflächig und zusammenhängend ausgebrochen, großflächige Beschädigung der Deckversiegelung	
	12.500	VK III	Quarzkörner kleinflächig und zusammenhängend ausgebrochen, großflächige Beschädigung der Deckversiegelung	
	15.000	VK III	Großflächiger Ausbruch der Quarzkörner	

Tabelle 35: Klassifizierung eines OS 11.B.2.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

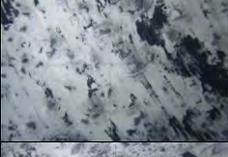
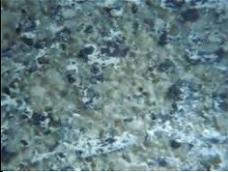
System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.B.2.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK I	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren	
	2.000	VK I	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren	
	3.000	VK I	Deckversiegelung über Kornspitzen abgefahren	
	4.000	VK I	Vereinzelte ausgebrochene Quarzkörner	
	5.000	VK I	Vereinzelte ausgebrochene Quarzkörner	
	7.500	VK I	Vereinzelte ausgebrochene Quarzkörner	
	10.000	VK I	Einzelne ausgebrochene Quarzkörner, Faltenbildung der Deckversiegelung im Ausbruchsbereich	
	12.500	VK I	Einzelne ausgebrochene Quarzkörner, mehrere kleine Risse in der Deckversiegelung	
	15.000	VK I	Einzelne ausgebrochene Quarzkörner, mehrere kleine Risse in der Deckversiegelung	

Tabelle 36: Klassifizierung eines OS 11.B.5.1-Systems nach der Verschleißbeanspruchung

System	Zyklen	Klassifizierung	Bemerkung	Bild
OS 11.B.5.1	0	-	Intakt	
	1.000	VK III	Großflächige Beschädigung der Deckversiegelung, Ausbruch großflächig zusammenhängender Korngruppen	
	2.000	VK III	Großflächige Beschädigung der Deckversiegelung, Ausbruch großflächig zusammenhängender Korngruppen	
	3.000	VK III	Großflächige Beschädigung der Deckversiegelung, Ausbruch großflächig zusammenhängender Korngruppen	
	4.000	VK III	Großflächige Beschädigung der Deckversiegelung, Ausbruch großflächig zusammenhängender Korngruppen	
	5.000	VK IV	Starker Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 78 %	
	7.500	VK IV	Starker Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 73 %	
	10.000	VK IV	Starker Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 69 %	
	12.500	VK IV	Starker Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 65 %	
	15.000	VK IV	Starker Abtrag der Verschleißschicht, Restschichtdicke: 62 %	

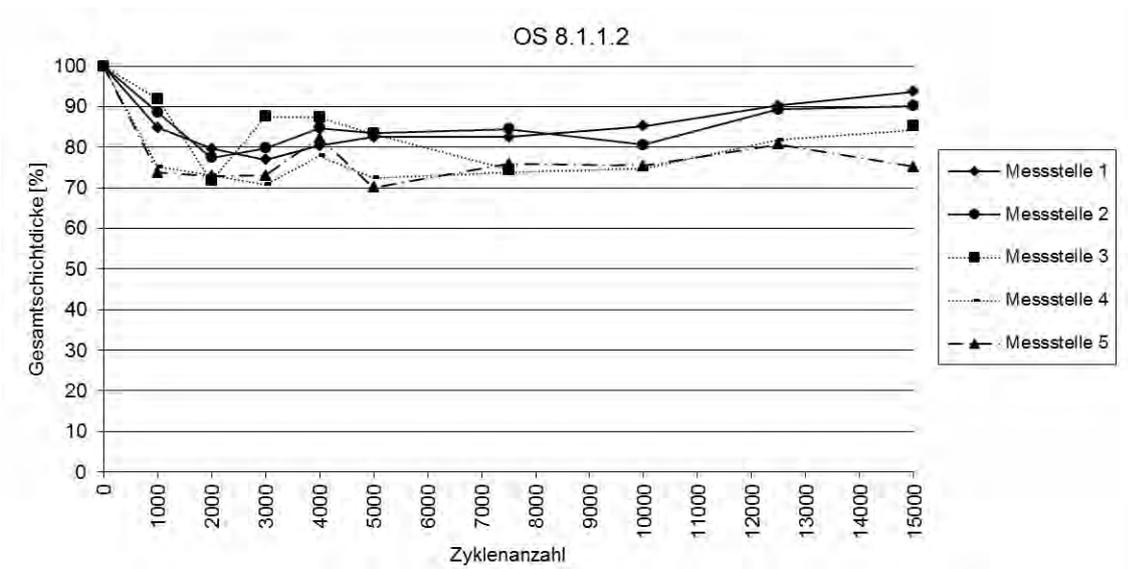


Abbildung 82: Schichtdickenmessung OS 8.1.1.2-Systems

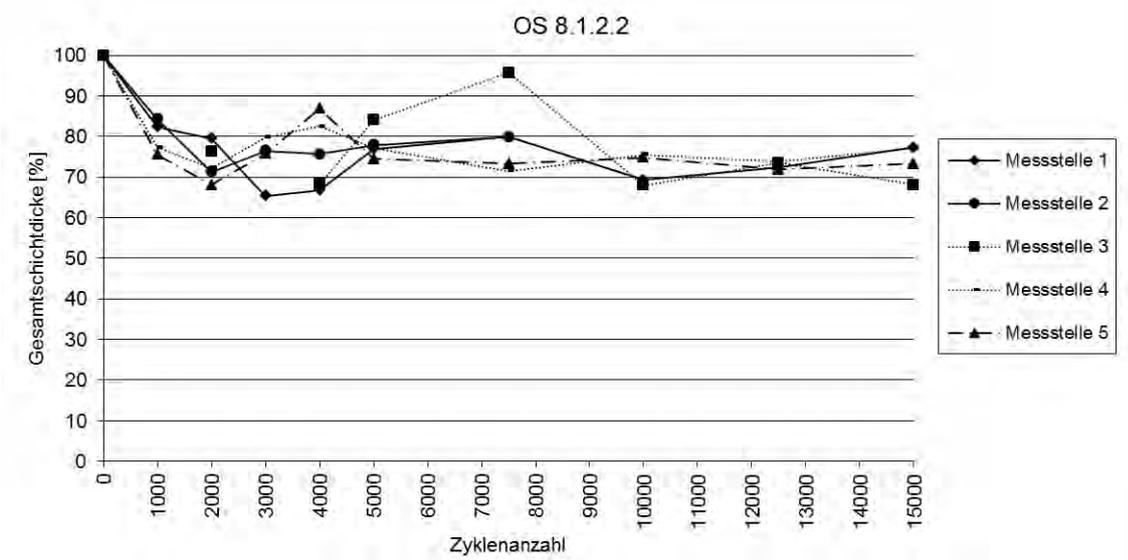


Abbildung 83: Schichtdickenmessung OS 8.1.2.2-Systems

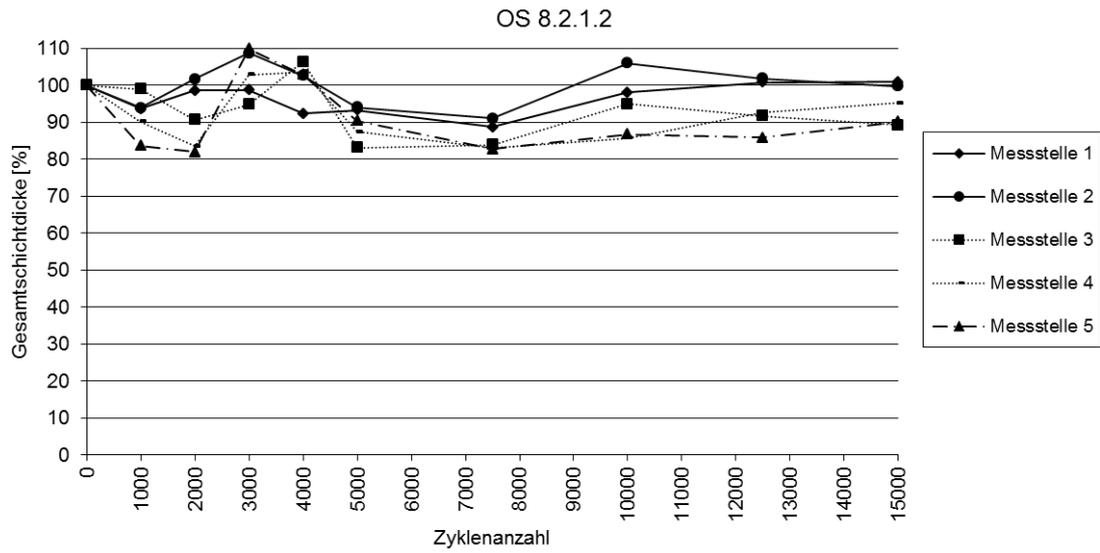


Abbildung 84: Schichtdickenmessung OS 8.2.1.2-Systems

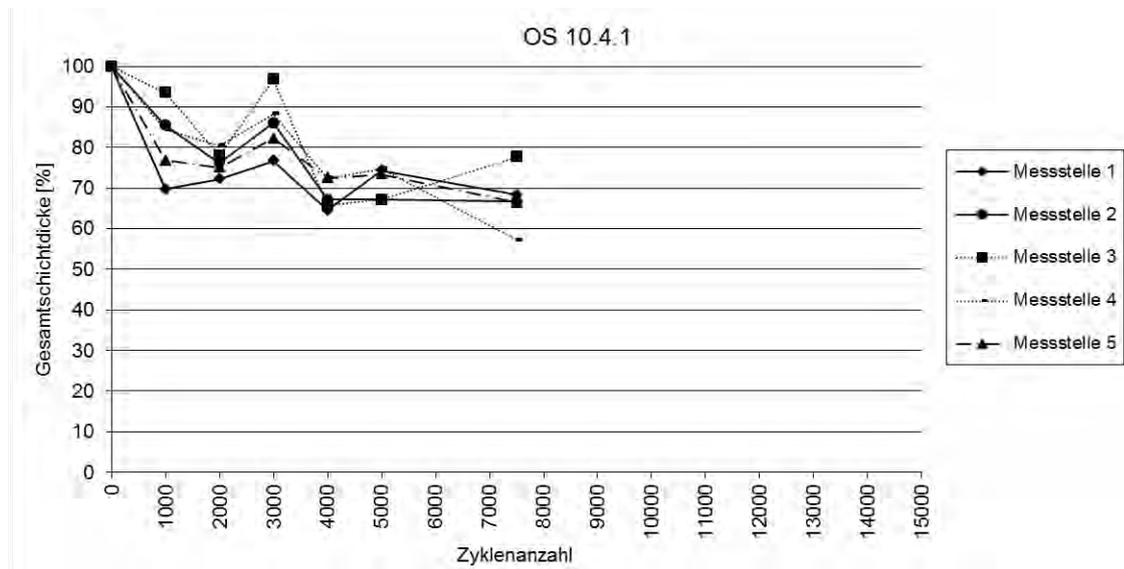


Abbildung 85: Schichtdickenmessung OS 10.4.1-Systems

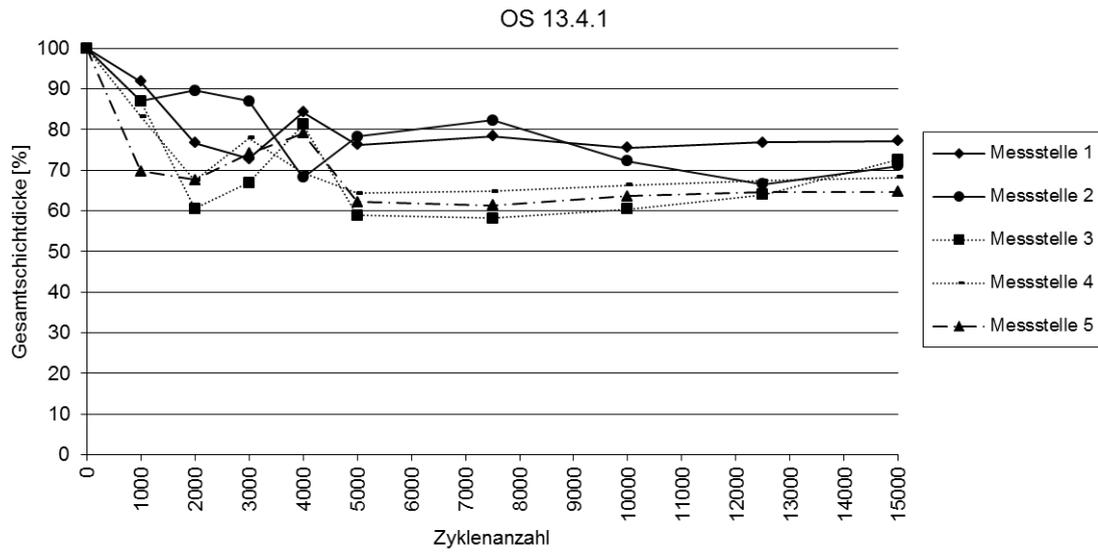


Abbildung 86: Schichtdickenmessung OS 13.4.1-Systems

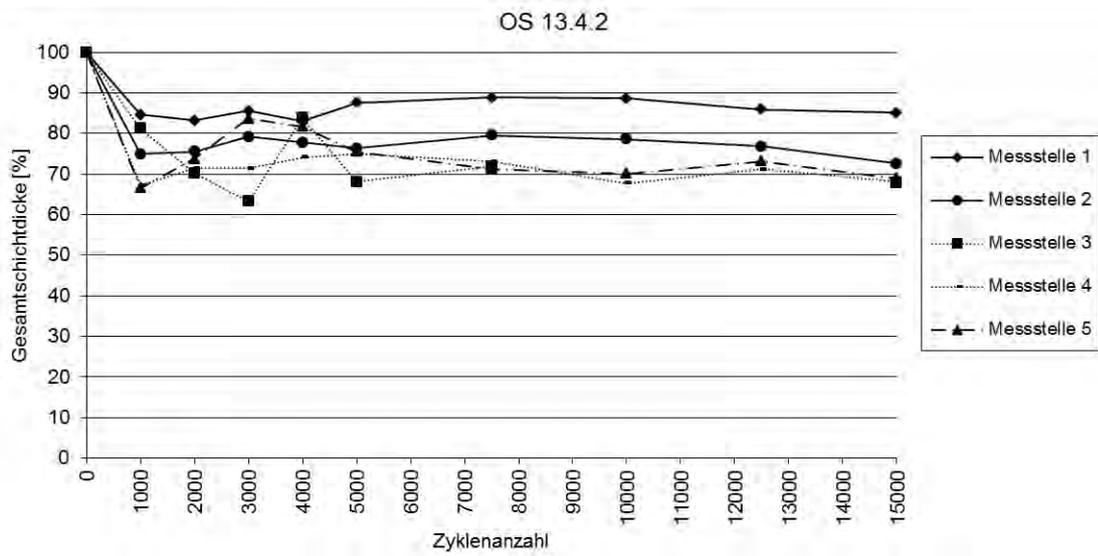


Abbildung 87: Schichtdickenmessung OS 13.4.2-Systems

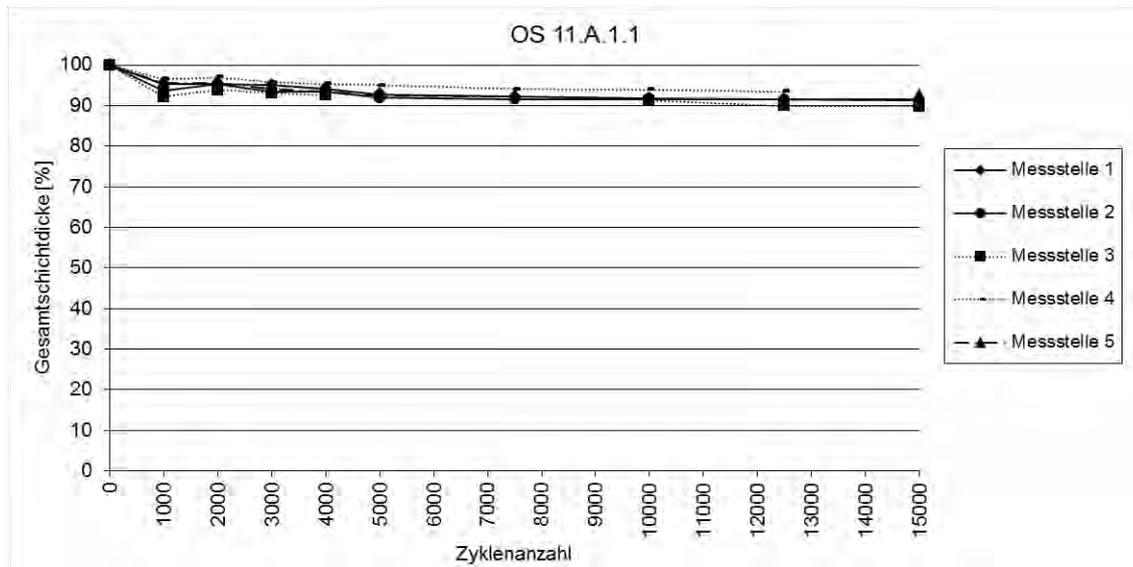


Abbildung 88: Schichtdickenmessung OS 11.A.1.1-Systems

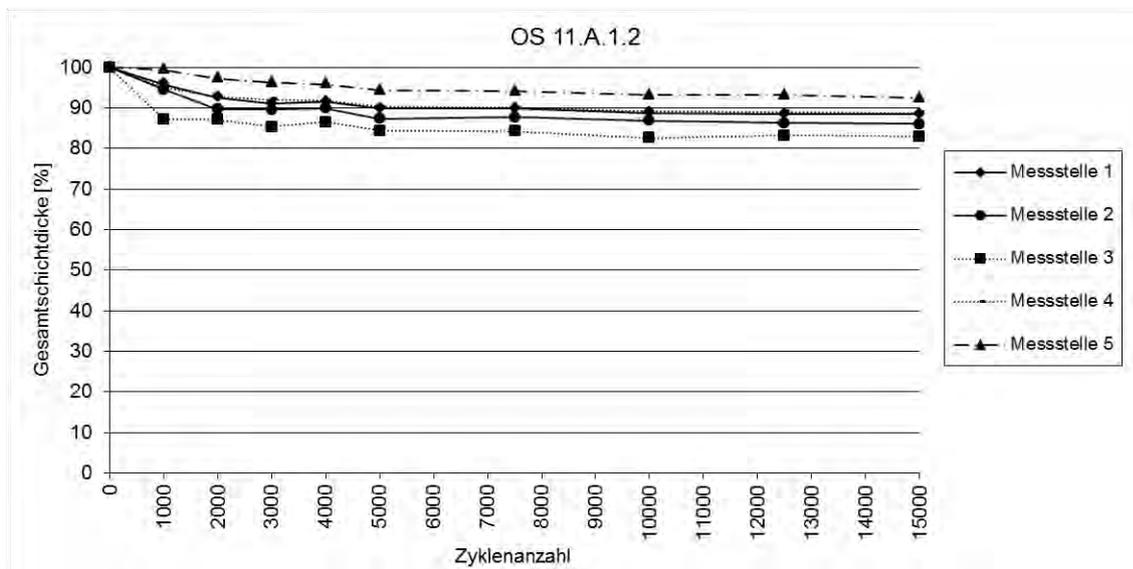


Abbildung 89: Schichtdickenmessung OS 11.A.1.2-Systems

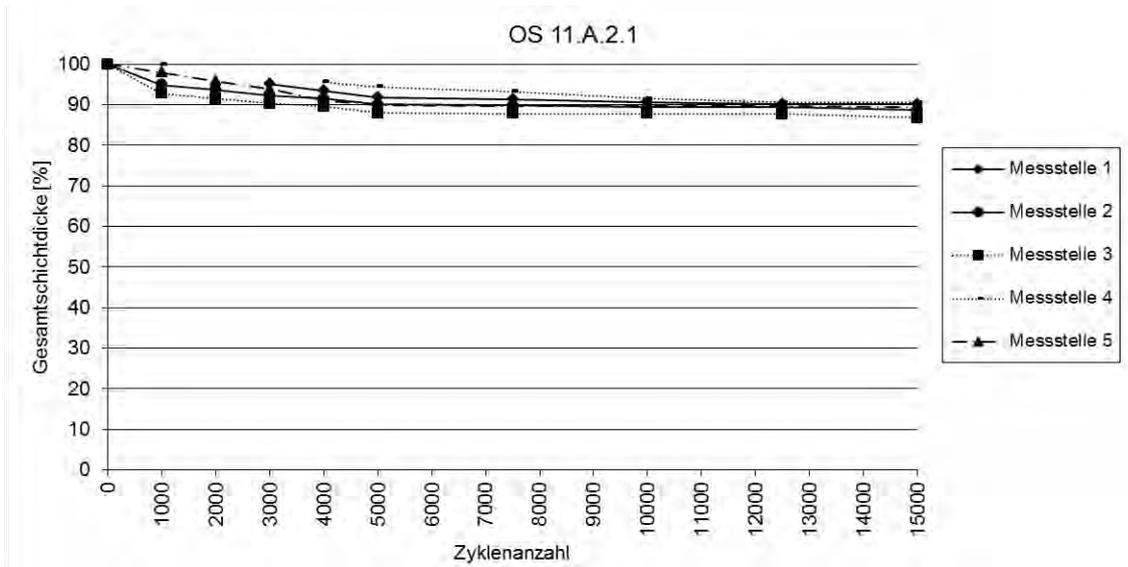


Abbildung 90: Schichtdickenmessung OS 11.A.2.1-Systems

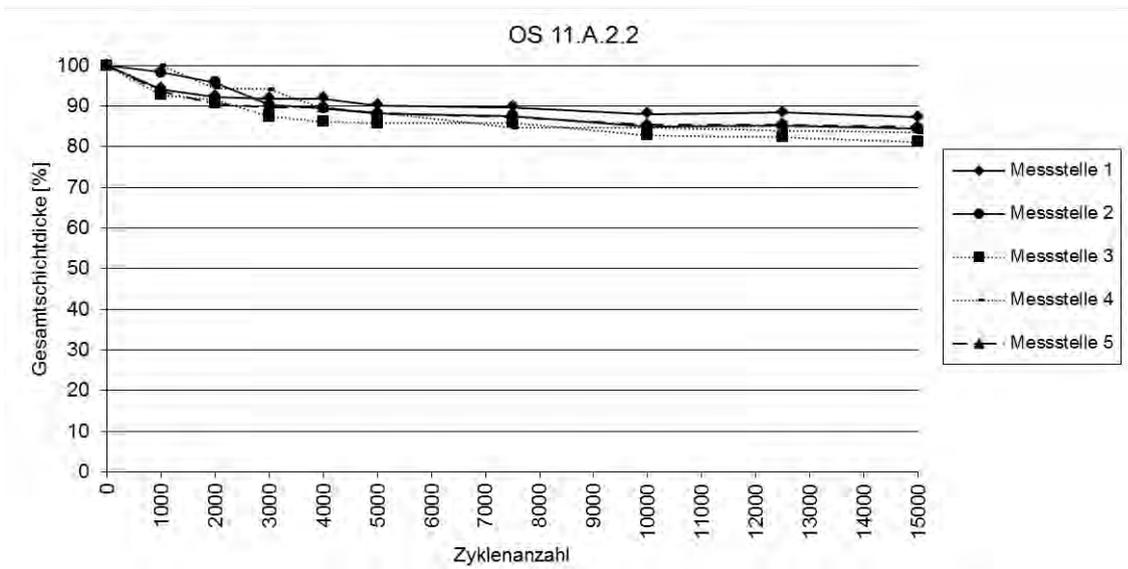


Abbildung 91: Schichtdickenmessung OS 11.A.2.2-Systems

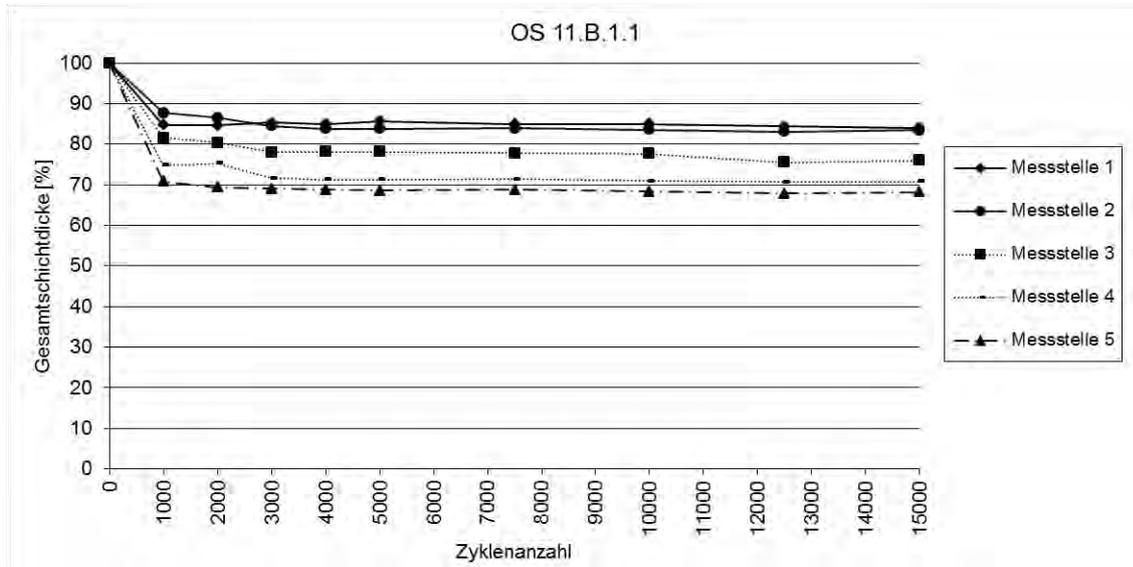


Abbildung 92: Schichtdickenmessung OS 11.B.1.1-Systems

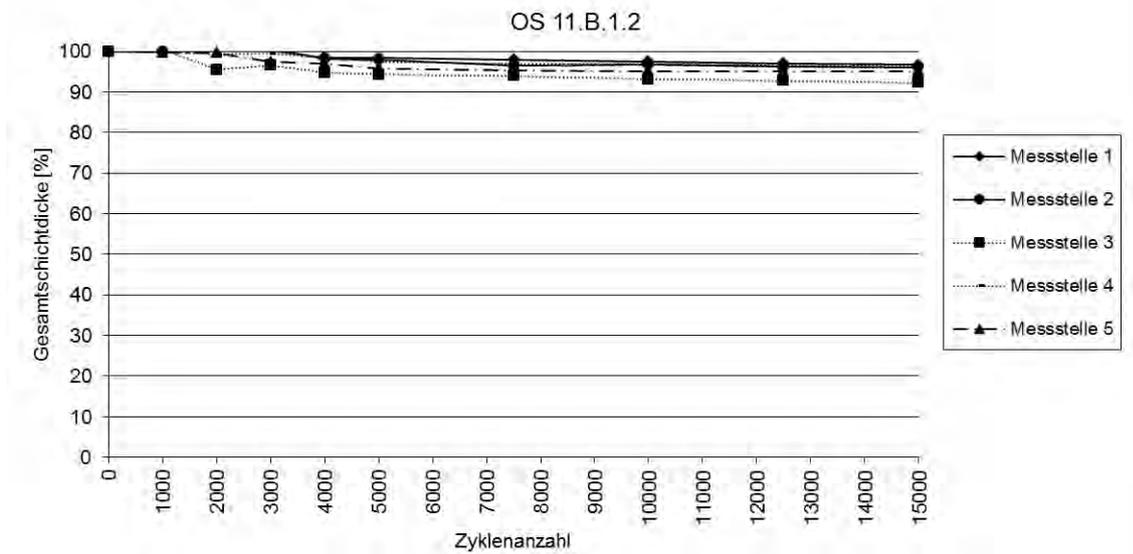


Abbildung 93: Schichtdickenmessung OS 11.B.1.2-Systems

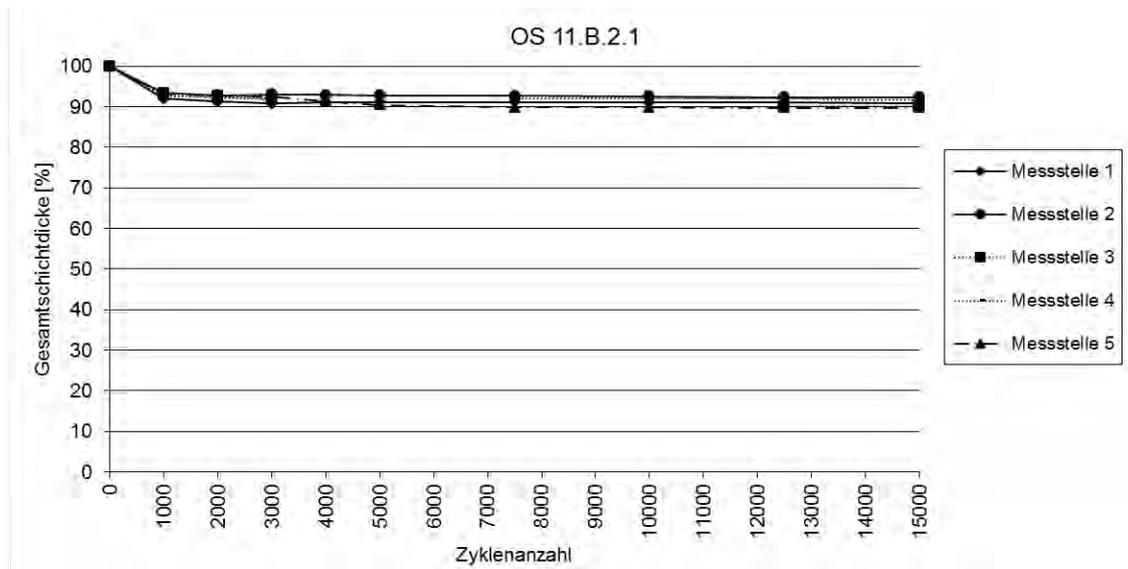


Abbildung 94: Schichtdickenmessung OS 11.B.2.1-Systems

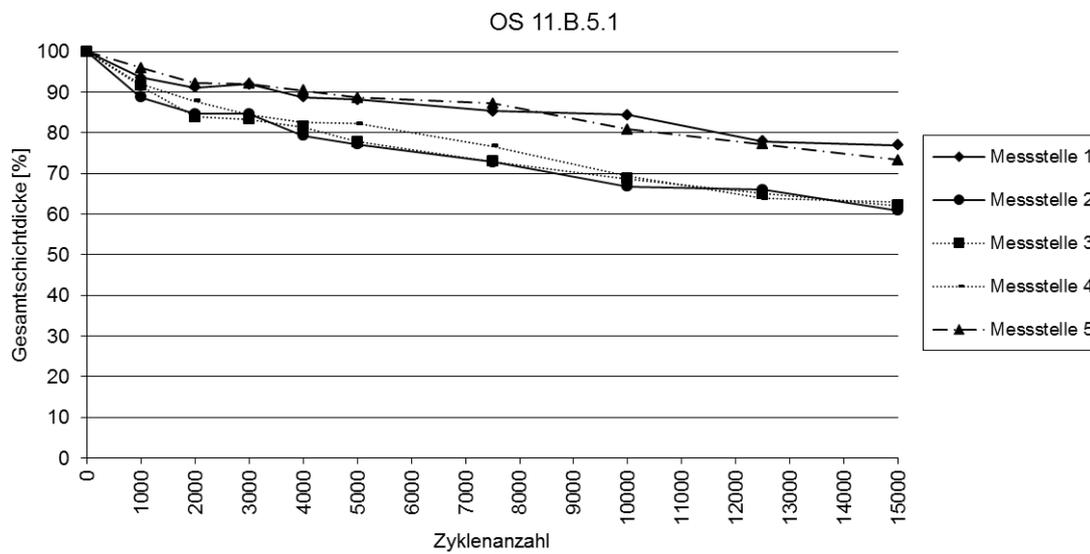


Abbildung 95: Schichtdickenmessung OS 11.B.5.1-Systems