

# Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur

## Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 03.0546/2016/LRB

Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur anforderungsgerechten Beseitigung  
von Ölspuren auf Verkehrsflächen - Teil: Laborversuche

Forschungsnehmer: HNL Ingenieur- und Prüfgesellschaft mbH  
Pinneberg

Projektleiter: Dr.-Ing. Manfred Hase

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Anke Hase  
B. Sc. Wladimir Sinelnikov

2. August 2018



INGENIEUR- UND PRÜFGESELLSCHAFT  
*Mehr Leistung. Mehr Wissen. Mehr Sicherheit.*

## Kurzfassung

Das Forschungsvorhaben FE 03.0546/2016/LRB ist Teil eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen initiierten Projektes zur „Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur anforderungsgerechten Beseitigung von Ölspuren auf Verkehrsflächen“ und beinhaltet Laboruntersuchungen.

Im Labormaßstab wurden Untersuchungen mit dem Trockenreinigungsverfahren durchgeführt und das Nassreinigungsverfahren mit Wasserhochdruck simuliert.

Beim Trockenreinigungsverfahren wurden mittel- sowie grobkörnige Ölbindemittel verwendet.

Beim Nassreinigungsverfahren wurden die Reinigungsgeschwindigkeit sowie die Temperatur der Reinigungsflüssigkeit variiert. Weiterhin wurde der Einfluss von Tensiden untersucht.

Eine systematische Variation der o. g. Parameter bei den beiden Reinigungsverfahren wurde an im Laboratorium hergestellten Asphalt-Probepplatten durchgeführt. Eine erste Validierung erfolgte an Altasphalten (Bohrkernen).

Die Untersuchungen wurden mit den Betriebsmitteln Motoröl und Diesel sowie einzelne Versuche mit Hydrauliköl durchgeführt.

Der Reinigungserfolg im Hinblick auf die Gewährleistung einer ausreichenden Verkehrssicherheit wurde anhand von Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel bestimmt.

Der Einsatz eines mittelkörnigen Ölbindemittels kann im Vergleich zu einem grobkörnigen Ölbindemittel als vorteilhafter für den Reinigungserfolg eingestuft werden.

Als „optimale“ Nassreinigung wurde eine Hochdruckreinigung mit folgenden Parameter definiert: Reinigungsgeschwindigkeit 0,75 km/h, Temperatur der Reinigungsflüssigkeit 21 °C, kein Einsatz von Tensiden.

Mit diesen Parametern wurde bei den Laborversuchen der höchste Reinigungserfolg ermittelt; auch mit anderen Parametern ist ggf. eine ausreichende Griffigkeit im Hinblick zur Wiederherstellung der Verkehrssicherheit zu erzielen.

Im Hinblick auf den Reinigungserfolg ist anhand der im Labormaßstab durchgeführten Versuche, das Trocken- und Nassreinigungsverfahren zur Ölspurenbeseitigung als gleichwertig einzustufen.

Neben der Ermittlung des Reinigungserfolges wurde weiterhin noch untersucht, welchen Einfluss die Einwirkzeit des Betriebsmittels auf ein mögliches Anlösen des Bitumens hat. Weiter wurden mittels der Gaschromatographie noch Rest-Betriebsmittelmengen bestimmt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	5	3.4.2	Untersuchungsergebnisse.....	30
1.1	Einleitung .....	5	3.5	Arbeitsschritt 6 „Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit und Vorbehandlung mit Tensid“ .....	32
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens .....	5	3.5.1	Ziel und Vorgehensweise .....	32
1.3	Literaturrecherche.....	5	3.5.2	Untersuchungsergebnisse.....	33
2	Untersuchungsmethodik.....	7	3.6	Arbeitsschritt 7 „Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit und - temperatur sowie Zugabe Tensid in Reinigungsflüssigkeit“ .....	36
2.1	Untersuchte Oberflächen .....	7	3.6.1	Ziel und Vorgehensweise .....	36
2.2	Kontamination.....	9	3.6.2	Untersuchungsergebnisse.....	37
2.3	Reinigungsverfahren.....	9	3.7	Arbeitsschritt 8 „Ermittlung von Rest- Betriebsmittelmengen“ .....	42
2.3.1	Trockenreinigung .....	9	3.7.1	Ziel und Vorgehensweise .....	42
2.3.2	Nassreinigung.....	9	3.7.2	Untersuchungsergebnisse.....	43
2.4	Vorgehensweise .....	10	3.8	Arbeitsschritt 8a „Untersuchungen am Offenporigem Asphalt“ .....	44
2.5	Untersuchungsmethoden.....	11	3.8.1	Ziel und Vorgehensweise .....	44
2.5.1	Einaxialer Zugversuch.....	11	3.8.2	Untersuchungsergebnisse.....	44
2.5.2	Ermittlung der Griffigkeit mit dem SRT-Pendel .....	12	3.9	Arbeitsschritt 9 „Untersuchungen an Alt-Asphalten“ .....	47
2.5.3	Gaschromatographie zu Ermittlung mobiler Kohlenwasserstoffe .....	13	3.9.1	Ziel und Vorgehensweise .....	47
2.6	Mathematisch-statistische Auswerteverfahren.....	14	3.9.2	Untersuchungsergebnisse.....	48
2.6.1	Einfache Varianzanalyse.....	14	3.10	Arbeitsschritt 10 „Untersuchungen mit Hydrauliköl“ .....	58
2.6.2	Modifizierter LSD-Test .....	14	3.10.1	Ziel und Vorgehensweise .....	58
2.6.3	Einfacher Mittelwertvergleich ....	15	3.10.2	Untersuchungsergebnisse.....	58
3	Untersuchungen.....	15	3.11	Arbeitsschritt 11 „Langzeitversuche“ .....	61
3.1	Arbeitsschritt 1 „Einwirkzeit“.....	15	3.11.1	Ziel und Vorgehensweise .....	61
3.1.1	Ziel und Vorgehensweise .....	15	3.11.2	Untersuchungsergebnisse.....	62
3.1.2	Untersuchungsergebnisse.....	16	4	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse .....	65
3.2	Arbeitsschritt 2 „Ermittlung Kontaminationsmenge („Eingriffsschwelle““ .....	20	5	Fazit.....	68
3.2.1	Ziel und Vorgehensweise .....	20	6	Regelwerke und Literatur .....	69
3.2.2	Untersuchungsergebnisse.....	21	6.1	Regelwerke .....	69
3.3	Arbeitsschritt 3 „Trockenreinigung“ 24		6.2	Literatur .....	69
3.3.1	Ziel und Vorgehensweise .....	24	Abbildungsverzeichnis .....		70
3.3.2	Untersuchungsergebnisse.....	25	Tabellenverzeichnis .....		72
3.4	Arbeitsschritt 4 und 5 „Aufprall- und Saugdruck“ .....	29	Anhang .....		73
3.4.1	Ziel und Vorgehensweise .....	29			



# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung

Durch eine Leckage oder im Falle eines Verkehrsunfalls kann es durch den Austritt von Betriebsstoffen, im Weiteren als Öl bezeichnet (wie Motoröl, Diesel, Hydrauliköl), zu einer Verunreinigung einer Verkehrsfläche kommen. Die Beseitigung/ Reinigung der kontaminierten Fläche hat einerseits zum Schutz der Umwelt zu erfolgen, weiterhin ist ggf. aufgrund einer eingeschränkten Griffigkeit eine Wiederherstellung der Verkehrssicherheit zu gewährleisten.

Zur Reinigung von mit Ölen kontaminierten Verkehrsflächen gibt es verschiedene Reinigungsverfahren. Insbesondere wird unterschieden zwischen der konventionellen Trockenreinigung mit Ölbindemitteln und maschinellen Nassreinigungsverfahren.

Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und technischer Aspekte ist zu entscheiden, welches Reinigungsverfahren anzuwenden ist bzw. für den konkreten Fall unter Berücksichtigung der genannten Aspekte angemessen ist. Eine Entscheidungshilfe gibt es hierzu bisher nicht.

## 1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Das vorliegende Forschungsvorhaben ist Teil eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen initiierten Projektes zur „Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur anforderungsgerechten Beseitigung von Öls Spuren auf Verkehrsflächen“. Der hier bearbeitete Teil umfasst die Laboruntersuchungen.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden im Labormaßstab unter möglichst praxisnahen Randbedingungen das konventionelle Trockenreinigungsverfahren mit Ölbindemittel sowie das Nassreinigungsverfahren mit Wasserhochdruck-Saug-Technik simuliert.

Mit dem Ziel unterschiedliche Einflussgrößen bei dem Nassreinigungsverfahren, insbesondere auf den Reinigungserfolg aber auch auf die Struktur der Oberfläche zu erfassen, um daraus die Reinigungstechnik für die Praxis zu optimieren, werden diese systematisch variiert.

Weiterhin werden die mit dem Nassreinigungsverfahren erzielten Ergebnisse vergleichend mit Ergebnissen der Untersuchungen bei Anwendung des Trockenreinigungsverfahrens gegenübergestellt.

## 1.3 Literaturrecherche

Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass es keine vergleichbaren Untersuchungen zur systematischen Ermittlung von Einflussgrößen bei der Ölspurbeseitigung im Hinblick auf insbesondere den Reinigungserfolg gibt. Eine Ausnahme ist das von *Roos, Zimmermann und Schweiger* bearbeitete BAST-Forschungsvorhaben „Anforderungen an die Reinigungsqualität sowie an die Abnahmeverfahren bei der Reinigung“ [3]. Ziel des genannten Forschungsvorhabens war es, praktische Handlungsempfehlungen zum Einsatz verschiedener Reinigungsverfahren und zur Beurteilung des Reinigungserfolges zu erarbeiten. Im Rahmen des Projektes wurden Laborversuche sowie schwerpunktmäßig Feldversuche durchgeführt. Es wurden Kontaminationen mit Diesel und Motoröl mit verschiedenen Verunreinigungsszenarien (unterbrochene und durchgehende Spur, Havarie) simuliert. Eine anschließende Reinigung erfolgte mit dem Trockenreinigungsverfahren (mit Ölbindemitteln) sowie den Nassreinigungsverfahren (Schrubb-Saug-Technik, Hochdruck-Saug-Technik). Die Reinigungsqualität wurde messtechnisch mit dem SRT-Pendel (Vorher-Nachher-Vergleich) bestimmt. Zunächst angewandte einfach handhabbare Versuche (z. B. mit Tüchern oder Vliesen, die zum Nachweis von Öl in Wasser verwendet werden) wurden als nicht belastbar bewertet. Weiterhin wurden Bremsversuche durchgeführt. Abschließend wurde noch durch das Aufbringen von Wasser untersucht, ob aus der abgereinigten Fläche Restöle „aufschwimmen“ können und mit der „Schuhsohlenprobe“ anschließend die Rutschfestigkeit überprüft.

*Roos et al.* [3] kommen zu der Erkenntnis, dass Motoröl eine höhere Abreinigungsresistenz gegenüber Diesel aufweist. Anhand der Untersuchungsergebnisse wird das Trockenreinigungsverfahren neben den Nassreinigungsverfahren als ebenso

grundsätzlich geeignet zur Reinigung von Öls-puren bewertet. Gleichzeitig wird die Trockenreinigung mit zunehmender zu reinigender Flächengröße als unwirtschaftlich bewertet. Eine erhöhte Reinigungswirkung beim Nassreinigungsverfahren durch den Einsatz von Tensiden konnte belastbar nicht nachgewiesen werden. In Bezug auf die untersuchten maschinellen Nassreinigungsverfahren wurden mit der Hochdruck-Saug-Technik bessere Ergebnisse erzielt als mit der Schrub-Saug-Technik.

Aus den Erkenntnissen dieses Forschungsprojekts ziehen die Autoren erste Handlungsempfehlungen im Hinblick auf die Durchführung der Trockenreinigung bzw. der Nassreinigungsverfahren, wobei einschränkend darauf hingewiesen wird, dass weitergehende Untersuchungen zu anderen Schlussfolgerungen führen können.

Nach Auswertung des o. g. BAST-Forschungsvorhabens weist *Wirtz* [4] u. a. auf wesentliche Parameter hin, die bei der Ölspurbeseitigung im Hinblick auf die Reinigungsqualität aber auch hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Asphaltdeckschicht zu berücksichtigen sind. Dazu zählen bei der Nassreinigung die Reinigungsgeschwindigkeit und der Arbeitsdruck, die Temperatur der Reinigungsflüssigkeit und der Tensideinsatz. In dem Zusammenhang verweist er auf weiteren Forschungsbedarf, um für die genannten Parameter Grenzwerte definieren bzw. eine Optimierung vornehmen zu können.

Aus den bislang vorliegenden Ergebnissen zieht *Wirtz* [4] weiter den Rückschluss, dass, entgegen häufig geäußerten Bedenken, die Reinigung mit Ölbindemittel nicht schlechter gegenüber der aufwendigeren Nassreinigung abschneidet.

Weithin gibt es Handlungshilfen, in denen Hinweise zur Durchführung und Handhabung bei der Ölspurbeseitigung genannt werden. Hier sei insbesondere das Merkblatt DWA-M 715 zu nennen. Weiterhin gibt es auch konkrete Handlungsempfehlungen/ -abläufe auf Länderebene oder von Feuerwehren.

Das Merkblatt DWA-M 715 „Ölbeseitigung auf Verkehrsflächen“ wurde von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser

und Abfall e. V. (kurz: DWA) herausgegeben und im Kooperation mit der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) und dem Deutschen Feuerwehrverband e.V. (DFV) erarbeitet. Das Merkblatt DWA-M 715 liegt aktuell in der Fassung Dezember 2017 vor.

Das DWA-M 715 gibt Hinweise zur manuellen Trockenreinigung mit Einsatz von Ölbindemittel sowie zur maschinellen Nassreinigung. Die Entscheidung, unter welchen Randbedingungen, welches Reinigungsverfahren anzuwenden ist bzw. empfohlen wird, ist hier nicht festgelegt, sondern jeweils anhand der Gegebenheiten vor Ort zu entscheiden.

Gemäß DWA-M 715 ist nach der Reinigung zu prüfen, ob diese vollständig und erfolgreich war, was auf Verkehrsflächen bedeutet, dass die gereinigte Fläche nutzungsbezogen verkehrssicher ist. Ein Anforderungswert sowie ein Messverfahren werden hier nicht genannt.

Weiterhin gibt es Interessensgemeinschaften, die bestrebt sind, Güte- und Prüfbedingungen für Reinigungsmittel und -maschinen zumindest zu vereinheitlichen. Beispielsweise veröffentlicht der Verband der Hersteller geprüfter Öl- und Chemikalienbindemittel GÖC e.V. die „Liste der geprüften Ölbindemittel Typ I, II, III und IV“, auf der Ölbindemittel gelistet werden, die die Anforderungen gemäß LTwS-Nr. 27 bzw. in Verbindung mit dem Arbeitsblatt DWA-716-1 bzw. in Verbindung mit dem Arbeitsblatt DWA-A 716-9 erfüllen. Im Merkblatt DWA-M-715 wird für „geeignete Bindemittel“ auch auf diese Anforderungen verwiesen.

Die Gütegemeinschaft für Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung e. V. (kurz: GGvU) formuliert vereinsinterne Güte- und Prüfbestimmungen für die Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung.

Die VDI-Richtlinie 4089 „Anforderungen an Nassreinigungsmaschinen zur Beseitigung von Ölverunreinigungen auf Verkehrsflächen“ beinhaltet Definitionen und Festlegungen wesentlicher Grundanforderungen sowie technische Angaben von Nassreinigungsmaschinen. Genannt sind u. a. Prüfziele, Prüfparameter sowie Prüfbedingungen und Prüfmethoden, die als Grundlage für die Prüfung der Reinigungsleistung sowie im Rahmen der Zertifizierung herangezogen werden sollten.

In Bezug auf die Anforderungen, die an Nassreinigungsmaschinen gestellt werden, gibt es gegenwärtig keine anderen Regelwerke. Sie sind jedoch für den Straßenbaulastträger, der für die Beseitigung von Ölverunreinigungen verantwortlich ist, weder rechtlich verbindlich, noch sind sie aus fachlicher Sicht völlig unumstritten. U. a. auch aus diesem Grunde wird dieses Forschungsvorhaben durchgeführt.

## 2 Untersuchungsmethodik

### 2.1 Untersuchte Oberflächen

Die Untersuchungen wurden überwiegend an im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät nach TP Asphalt-StB, Teil 33 hergestellten Asphalt-Probepplatten durchgeführt.

Es wurden Asphalt-Probepplatten aus drei im Laboratorium hergestellten Asphaltdeckschichtmischgütern der Sorten Offenporiger Asphalt PA 8 (Hohlraumgehalt: 22,0 - 28,0 V.-%), Splittmastixasphalt SMA 11 S (Hohlraumgehalt:  $\leq 5,0$  V.-%) und Asphaltbeton AC 11 D S (Hohlraumgehalt:  $\leq 5,5$  V.-%) gemäß TL Asphalt-StB 07/13 untersucht. Bei allen Asphaltarten wurde als Gesteinsart Gabbro sowie Kalksteinfüller verwendet. Als Bindemittel wurde für den SMA 11 S sowie für den AC 11 D S ein polymermodifiziertes Bindemittel der Sorte 25/55-55 A und für den PA 8 ein polymermodifiziertes Bindemittel der Sorte 40/100-65 A eingesetzt.

Um den an der Oberfläche der Platten vorhandenen Bindemittelfilm, der auch in situ bei einem Neubau vorhanden ist und zunächst „abgefahren“ werden muss, zu entfernen, wurden die Asphalt-Probepplatte im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit maschinell, in einer automatischen Durchlaufstrahlanlage ca. 30 Sekunden mit Korund-Kugeln ( $\varnothing 0,8 - 1,0$  mm), behandelt. Abbildung 1 bzw. Abbildung 2 zeigt eine Asphalt-Probepplatte vor bzw. nach der Behandlung.



Abbildung 1: Oberfläche einer Asphalt-Probepplatte vor Behandlung



Abbildung 2: Oberfläche einer Asphalt-Probeplatte nach Behandlung

Die so hergestellten und an der Oberfläche vorbehandelten Platten (26 cm x 32 cm) wurden für die Untersuchungen noch auf die entsprechend erforderliche Größe zugesägt.

Für alle Platten wurde an der trockenen Oberfläche als Referenzgröße der SRT-Wert bestimmt. Der SRT-Wert "trocken" der hier untersuchten Platten aus Splittmastixasphalt (SMA-Platten) beträgt im Mittel 89 SRT-Einheiten und der Platten aus Offenporigem Asphalt (PA-Platten) im Mittel 91 SRT-Einheiten.

An Platten, bei denen das Betriebsmittel auf eine feuchte Oberfläche aufzubringen war, wurde weiterhin der SRT-Wert "feucht" bestimmt, wobei hier von der Vorgehensweise gemäß TP Griff-StB (SRT) abgewichen wurde (vgl. Kapitel 2.5.2). Der mittlere SRT-Wert "feucht" der hier untersuchten SMA-Platten beträgt 55 SRT-Einheiten und der PA-Platten 57 SRT-Einheiten.

Die jeweils trocken und feucht ermittelten SRT-Werte dienen als Referenz für den Vergleich der verunreinigten mit den gereinigten Oberflächen. Dies ist auch der Grund für die Abweichung von der Vorgehensweise gemäß TP Griff-StB (SRT). Gemäß TP Griff-StB (SRT) werden SRT-Werte nur an feuchten bzw. angefeuchteten Oberflächen bestimmt.

Weiterhin wurden noch Bohrkern mit einem Durchmesser von 150 bzw. 300 mm aus Verkehrsflächen, die am Ende ihrer Nutzungsdauer waren und erneuert werden mussten, für Untersuchungen entnommen. Es wurden vier Flächen mit unterschiedlichen Asphaltdeckschichten (PA, SMA, AC, DSK) beprobt. Die Proben wurden im Weiteren als Altasphalte

bezeichnet. Auf den folgenden Fotos (Abbildung 3 bis Abbildung 6) sind exemplarisch die vier Altasphalte mit unterschiedlichen Asphaltdeckschichten dargestellt.



Abbildung 3: Asphaltbohrkern (PA-Altasphalt)



Abbildung 4: Asphaltbohrkern (SMA-Altasphalt)



Abbildung 5: Asphaltbohrkern (AC-Altasphalt)



Abbildung 6: Asphaltbohrkern (DSK-Altasphalt)

## 2.2 Kontamination

Für die Kontamination (Simulation der „Ölspur“) wurden drei unterschiedliche Betriebsmittel verwendet: Diesel, Motoröl sowie (Maschinen-)Hydrauliköl, wobei die beiden letztgenannten Öle jeweils Altöle sind, die mindestens aus dem zweiten Öl-Wechselintervall stammen. Für alle Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurde die jeweils gleiche Probencharge (Öle) bei Raumtemperatur verwendet. Die Kontaminationen mit Diesel und Motoröl decken erfahrungsgemäß den größten Teil der Schadensfälle ab.

## 2.3 Reinigungsverfahren

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden im Laboratorium Versuche zur Simulation des Trockenreinigungsverfahrens mit Ölbindemittel sowie das Nassreinigungsverfahren mit Wasserhochdruck, wofür eine spezielle Sonderprüfmaschine eingesetzt wurde, durchgeführt. In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Eigenschaften der beiden im Laboratorium simulierten Reinigungsverfahren beschrieben. Die bei den einzelnen Arbeitsschritten gewählten Parameter sind im Kontext der Untersuchungen (Kapitel 3) genannt.

### 2.3.1 Trockenreinigung

Die Trockenreinigung erfolgt mit dem Einsatz von Ölbindemitteln in Granulatform. Das Grundmaterial der eingesetzten Ölbindemittel ist Moler/ Diatomeenerde. Für die Untersuchungen wurden zwei handelsübliche, derzeit gängige Ölbindemittel bzw. Korngrößen ver-

wendet; es wurde ein mittelkörniges (0,5 bis 1,0 mm) und ein grobkörniges (1,0 bis 3,0 mm) Ölbindemittel (siehe Abbildung 7, Abbildung 8) eingesetzt.



Abbildung 7: Mittelkörniges Ölbindemittel



Abbildung 8: Grobkörniges Ölbindemittel

Bei den eingesetzten Ölbindemitteln handelt es sich um geprüfte Ölbindemittel des Typs III R.

### 2.3.2 Nassreinigung

Zur Simulation des Nassreinigungsverfahrens wurde eine Sonderprüfmaschine (Abbildung 9) eingesetzt.



Abbildung 9: Sonderprüfmaschine zur Simulation der Nassreinigung

Die Reinigung mit der Prüfmaschine erfolgt nach dem Prinzip der „Hochdruck-Saug-Technik“. Zur Simulation des maschinellen Nassreinigungsprozesses erfolgt die Reinigung mit einem beweglichen Reinigungsschlitten mittels Wasserhochdruck und anschließendem Absaugen der Reinigungsflüssigkeit, siehe Abbildung 10. Dabei wird mittels zwei an einem rotierenden Arm angebrachten Flachstrahldüsen (Düsenwinkel  $30^\circ$ ) das Wasser mittels Hochdruck aufgebracht (siehe grüne Markierung in Abbildung 11 und Abbildung 12). Das anschließende Absaugen erfolgt durch einen Industriestaubsauger über zwei Öffnungen am Ende des Reinigungsschlittens (siehe blaue Markierung in Abbildung 11).



Abbildung 10: Reinigungsschlitten

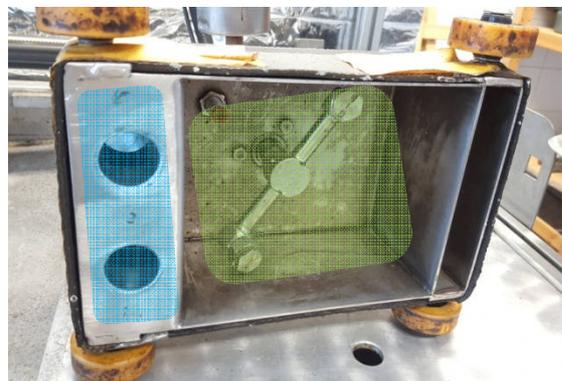


Abbildung 11: Unterseite Reinigungsschlitten

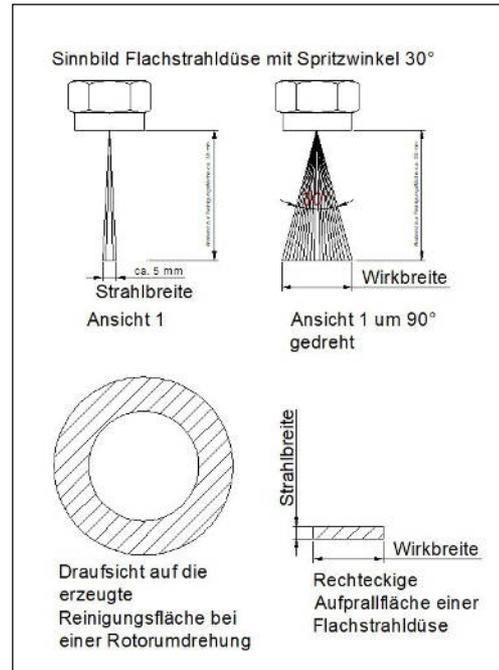


Abbildung 12: Prinzip Flachstrahldüsen und Sprühbild bei Rotation (Urheber der Zeichnung Franz-Wilhelm Richter, Menden)

Bei dem Prüfstand können u. a. der Betriebsdruck (einstellbar bis 200 bar bzw. 20 MPa) und die Saugleistung (max. 3.700 l/min mit einem Unterdruck von 240 mbar), die Geschwindigkeit des Reinigungsschlittens (bis ca. 2,5 km/h) sowie die Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (bis zu  $60^\circ\text{C}$ ) variiert werden.

In dem Prüfstand können Probe-Platten mit Abmessungen von  $12,5 \times 27,0$  cm oder Bohrkern mit einem Durchmesser von 15 cm eingebaut werden.

## 2.4 Vorgehensweise

Das Untersuchungsprogramm umfasst insgesamt elf Arbeitsschritte (siehe Abbildung 13), die teilweise aufeinander aufbauen. Im ersten und zweiten Arbeitsschritt wurden zunächst - ohne Anwendung eines Reinigungsverfahrens - der Einfluss der Einwirkzeit eines Betriebsmittels auf die Bitumenverbindungen im Asphalt untersucht bzw. die Kontaminationsmenge „Eingriffsschwelle“ ab der eine Reinigung im Labormaßstab erforderlich ist anhand der Verschmutzungsintensität ermittelt.

Unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Einwirkzeit und „Eingriffsschwelle“ wurden im dritten Arbeitsschritt Untersuchungen mit dem

Trockenreinigungsverfahren durchgeführt. Parallel dazu wurden in den Arbeitsschritten 4 bis 7 Untersuchungen im Hinblick auf eine Optimierung des Nassreinigungsverfahrens durchgeführt. Dabei wurden der Aufprall- und der Saugdruck sowie der Einfluss von Tensiden (Anwendung bei manueller Vorbehandlung sowie in der Reinigungsflüssigkeit), der Reinigungsgeschwindigkeit und der Reinigungstemperatur untersucht.

Im Anschluss wurde die Restölmenge nach Trockenreinigung sowie nach optimierter Nassreinigung im Arbeitsschritt 8 ermittelt.

Im Arbeitsschritt 9 erfolgte eine erste Validierung der Ergebnisse an Ausbauproben mittels optimierter Reinigungsverfahren.

Abschließend wurden im Arbeitsschritt 10 die optimierten Reinigungsverfahren noch an mit Hydrauliköl kontaminierten Proben angewendet.

Im abschließenden Arbeitsschritt 11 wurden ergänzend noch Untersuchungen zur Ermittlung der Langzeitwirkung durchgeführt.

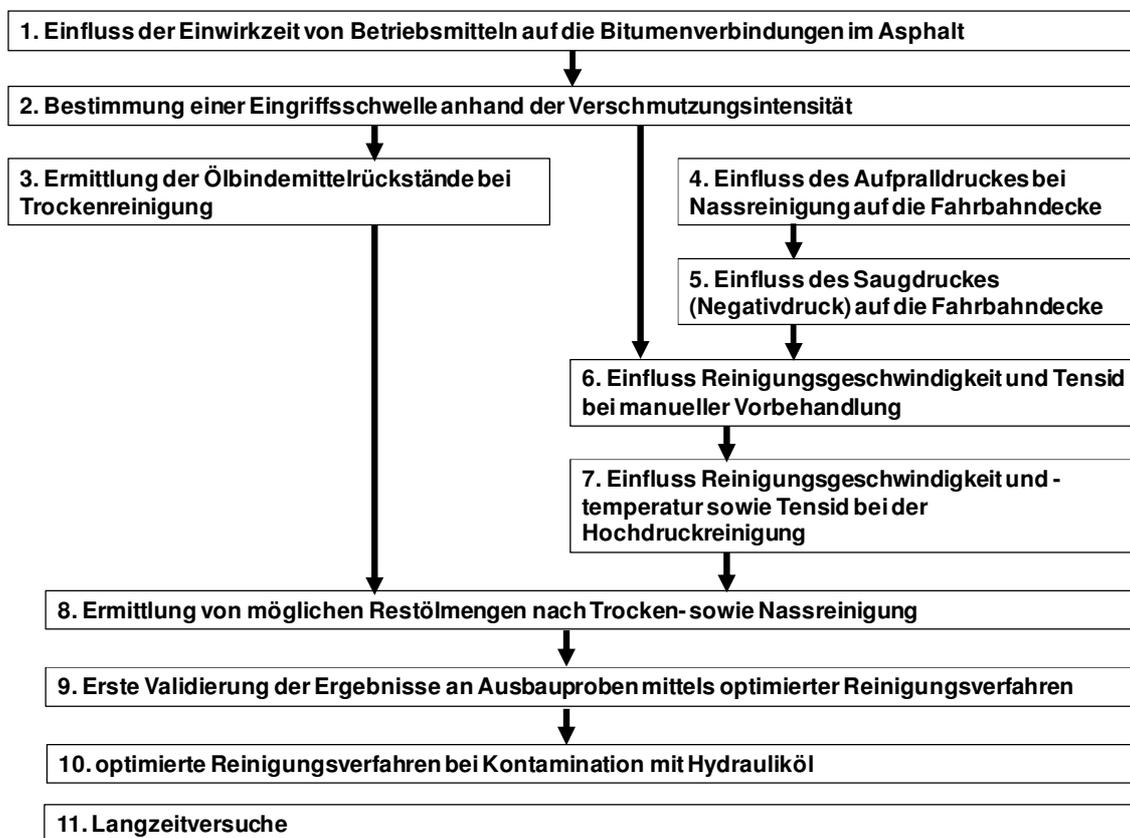


Abbildung 13: Ablaufschema Untersuchungen (Arbeitsschritte)

Im später folgenden Kapitel 3 wird die Vorgehensweise bei den einzelnen Arbeitsschritten im Detail erläutert und die Ergebnisse dargestellt. Alle Untersuchungen wurden bei Raumtemperatur durchgeführt; es erfolgte keine Vortemperierung der Asphalt-Probepplatten und Bohrkern.

## 2.5 Untersuchungsmethoden

In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Untersuchungsmethoden vorgestellt, die bei den einzelnen Arbeitsschritten angewandt wurden.

### 2.5.1 Einaxialer Zugversuch

Einaxiale Zugversuche werden gemäß den Technischen Prüfvorschriften TP Asphalt-StB, Teil 46 A durchgeführt.

Für die Untersuchungen werden prismatische Probekörper (mit Abmessungen von 40 mm x 40 mm x 160 mm), die aus Asphalt-Probepplatten oder Bohrkernen herausgesägt werden, benötigt.

Beim Zugversuch wird der Probekörper mit einer konstanten Verformungsgeschwindigkeit von 1 mm/min gezogen, bis dieser reißt (Prüfvorrichtung siehe Abbildung 14). Erfasst werden die Zugfestigkeit  $\beta_t$  und die Bruchdehnung  $\epsilon_{Br}$  am Ende des Versuchs, also zum Zeitpunkt des Probekörperversagens.



Abbildung 14: Prüfvorrichtung für Zugversuche mit eingebauten Probekörpern

Zugversuche werden gemäß TP Asphalt-StB, Teil 46 A bei Prüftemperaturen von 20, 5, -10 und -25 °C durchgeführt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde für tastweise durchgeführte Zugversuche eine Prüftemperatur von 5 °C gewählt, da bei einer Prüftemperatur von 5 °C i. d. R. Unterschiede von Material- bzw. Festigkeitsveränderungen des Asphalts gut zu erkennen sind.

### 2.5.2 Ermittlung der Griffigkeit mit dem SRT-Pendel

Nach den Technischen Prüfvorschriften TP Griff-StB (SRT) werden Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendelgerät (Skid Resistance Tester) durchgeführt. Bei dem SRT-Pendelgerät wird der Reibwiderstand mit einem Gleitkörper, der den Gummi eines Reifens simulieren soll, ermittelt. Der Gleitkörper ist dabei an einem Pendelschuh am Ende eines Pendelarms befestigt. Für die Messung wird der Pendelarm aus seiner definierten horizontalen Ausgangslage durch Ausklinken gelöst. In Abhängigkeit vom Reibwiderstand zwischen Gleitkörper und Oberfläche schwingt der Pen-

delarm unterschiedlich weit durch. Die Reiblänge ist auf  $12,6 \pm 0,1$  cm einzustellen.

Mit dem Pendelgerät wird die Reibung zwischen dem Gleitkörper und der Prüffläche gemessen. Dieser Wert wird als SRT-Wert bezeichnet, angegeben in SRT-Einheiten.

Für das Messergebnis sind jeweils fünf Messwerte (Einzelwerte) zu bestimmen und daraus der Mittelwert zu bilden.



Abbildung 15: SRT-Pendelgerät

Abweichend von den TP Griff-StB (SRT), wo vor jeder Messung die Oberfläche angenässt wird, werden im Rahmen dieses Forschungsprojektes die Messungen ohne vorheriges Aufbringen von Wasser durchgeführt.

Weiterhin wurde bei Untersuchungen, wo die Kontamination auf eine nasse Oberfläche aufzubringen war, vorab auch der SRT-Wert der nassen Oberfläche bestimmt. Wobei auch hierbei von der Vorgehensweise der TP Griff-StB (SRT) abgewichen wurde. Statt vor jeder Einzelmessung die Oberfläche anzunässen, so dass ein geschlossener Wasserfilm entsteht, wurde die Oberfläche einmalig „beregnet“ bis sich ein geschlossener Wasserfilm gebildet hatte und anschließend die Platte für ca. 2 Sekunden senkrecht auf die längere Kante

gestellt, so dass das Wasser ablaufen konnte. Anschließend wurde der SRT-Wert gemessen.

Für die Messungen mit dem SRT-Pendelgerät wurde jeweils ein Messfeld mit Abmessungen von 8,5 cm x 13,5 cm (114,75 cm<sup>2</sup>) bei den im Laboratorium hergestellten Platten untersucht. Bei den Ausbauproben (Bohrkernen, Durchmesser 150 mm) betrug die Messfeldgröße 8,5 cm x 12,5 cm (106,25 cm<sup>2</sup>).

### 2.5.3 Gaschromatographie zu Ermittlung mobiler Kohlenwasserstoffe

Die Gaschromatographie ist ein Verfahren mit dem chemische Verbindungen analysiert werden können. Bei der Gaschromatographie erfolgt eine Trennung von Substanzgemischen, die gasförmig vorliegen oder sich unzerlegt verdampfen lassen. Als mobile Phase dient dazu ein inertes Trägergas. Die zu analysierende Substanz wird mit dem Trägergas in eine Trennsäule transportiert. Da die einzelnen Komponenten unterschiedlich stark an der stationären Phase festgehalten werden, treten sie am Ende der Säule getrennt aus. Die getrennten Substanzen erscheinen im Chromatogramm als Peaks, wobei jede Spitze einer bestimmten Komponente der zu analysierenden Substanz entspricht. Das Prinzip ist in Abbildung 16 dargestellt.

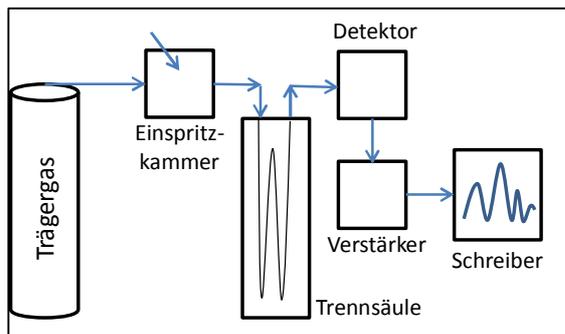


Abbildung 16: Prinzip der Gaschromatographie

Der Nachweis einzelner Bestandteile erfolgt mittels eines Detektors. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde ein Flammenionisationsdetektor (FID) verwendet. Dabei wird die zu analysierende Substanz mit dem Trägergas in eine Knallgasflamme (Wasserstoff) transportiert und ionisiert. Die bei der Ionisierung frei werdenden Elektroden werden aufgefangen. Gemessen wird die Ionisierungsspannung, die hier abhängig vom Kohlenstoffgehalt ist.

In Chromatogrammen lassen sich die Kohlenwasserstoff-Signale darstellen. Da sowohl das im Bitumen im Asphalt als auch die untersuchten Betriebsmittel Kohlenwasserstoffe enthalten, ist die Herkunft zu differenzieren. Abbildung 17 und Abbildung 18 zeigen Chromatogramme aus Vorversuchen, wobei hier jeweils in Grün das Kohlenwasserstoff-Signal des Betriebsmittels, in Blau das Signal einer Asphalt-Referenzprobe und in Rot das Signal einer kontaminierten und gereinigten Asphalt-Probe, die möglicherweise noch Rest-Betriebsmittel enthält, dargestellt ist. An dieser Stelle sei darauf hinzuweisen, dass die Kohlenwasserstoff-Signale von Diesel im Gegensatz zum Motoröl mit dem Bitumen des Asphaltes praktisch keine Überlappung der Kohlenwasserstoffsignale aufweisen, was eine eindeutige Signaltrennung und bessere Qualifizierung ermöglicht.

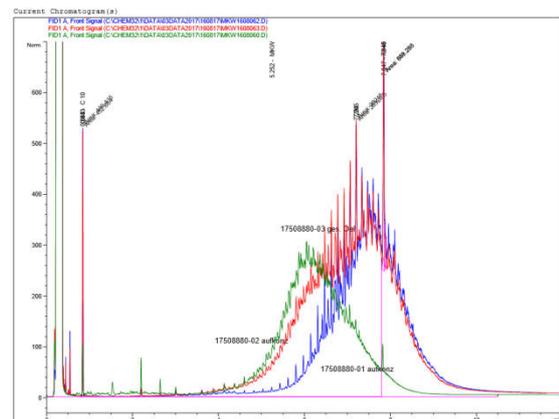


Abbildung 17: Chromatogramm - Motoröl (grün), SMA Referenzprobe (blau), SMA kontaminiert mit Motoröl und mit Ölbindemittel gereinigt (rot)

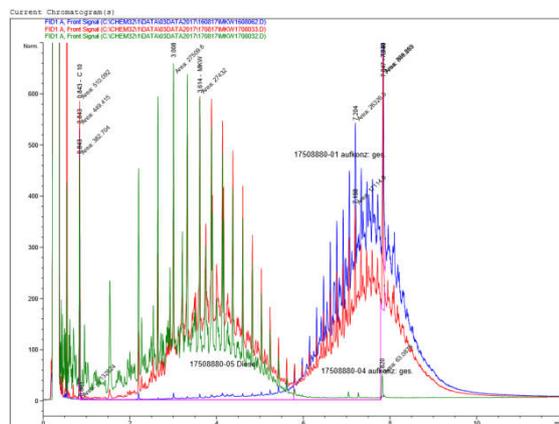


Abbildung 18: Chromatogramm - Diesel (grün), SMA Referenzprobe (blau), SMA kontaminiert mit Diesel und mit Ölbindemittel gereinigt (rot)

## 2.6 Mathematisch-statistische Auswerteverfahren

Zur Interpretation der Versuchsergebnisse wurden mathematisch-statistische Verfahren angewendet. Die Auswertung erfolgt nach den von *Sachs* [2] beschriebenen statistischen Methoden.

Um mögliche signifikante Unterschiede zwischen Prüfergebnissen verschiedener untersuchter Varianten erkennen zu können, wurden einfache Varianzanalysen mit nachgeschaltetem modifizierten LSD-Test (Least Significant Difference Test) sowie Mittelwertvergleiche durchgeführt.

### 2.6.1 Einfache Varianzanalyse

Mithilfe der einfachen Varianzanalyse wird die Gleichheit von Mittelwerten mehrerer Stichprobengruppen überprüft. Die  $k$  normalverteilten Gruppen mit je  $n_i$  Stichprobenelementen und insgesamt  $n$  Elementen haben gleiche, aber unbekannte Varianzen.

Für die einfache Varianzanalyse wird die Summe der Abweichungsquadrate der Stichprobenwerte um das Gesamtmittel ( $Q_{\text{gesamt}}$ ) in zwei Anteile zerlegt:

- die Summe der Abweichungsquadrate aller Einzelwerte  $x_{ij}$  um die Gruppenmittelwerte  $\bar{x}_i$  ( $Q_{\text{innerhalb}}$ ) und
- die Summe der Abweichungsquadrate der Gruppenmittelwerte  $\bar{x}_i$  um das Gesamtmittel  $\bar{x}$  ( $Q_{\text{zwischen}}$ ).

Die zugehörigen Varianzen oder mittleren Quadrate (MQ) werden als Quotienten aus der Summe der Abweichungsquadrate und dem zugehörigen Freiheitsgrad  $\nu$  berechnet:

$$MQ_{\text{zwischen}} = s_{\text{zwischen}}^2 = \frac{1}{\nu_1} \sum_i n_i \cdot (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (\text{GL 1})$$

$$\text{mit } \nu_1 = k - 1,$$

$$MQ_{\text{innerhalb}} = s_{\text{innerhalb}}^2 = \frac{1}{\nu_2} \sum_{ij} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (\text{GL 2})$$

$$\text{mit } \nu_2 = n - k.$$

$MQ_{\text{zwischen}}$  wird als Stichprobenfehler und  $MQ_{\text{innerhalb}}$  als Versuchsfehler bezeichnet. Entstanden alle Gruppen einer Grundgesamtheit,

dann sollten die Varianzen  $MQ_{\text{zwischen}}$  und  $MQ_{\text{innerhalb}}$  etwa gleich groß sein. Ist aber der Quotient aus  $MQ_{\text{zwischen}}$  und  $MQ_{\text{innerhalb}}$  größer als der maßgebende Wert der F-Verteilung, so befinden sich unter den Gruppen solche mit unterschiedlichen Mittelwerten  $\mu_i$ .

Die Null-Hypothese, alle Mittelwerte seien gleich, wird somit anhand der Prüfgröße

$$\hat{F} = \frac{MQ_{\text{zwischen}}}{MQ_{\text{innerhalb}}} \quad (\text{GL 3})$$

verworfen, wenn bei vorgegebener Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$

$$\hat{F} > F(\nu_1; \nu_2; \alpha) \text{ ist.}$$

In diesem Fall unterscheiden sich mindestens zwei Mittelwerte  $\mu_i$  voneinander und die Alternativhypothese  $\mu_i \neq \mu$  wird für bestimmte  $i$  akzeptiert. Die Ablehnung der Null-Hypothese lässt jedoch nicht den Schluss zu, dass alle Mittelwerte signifikant voneinander verschieden sind. Es ist also herauszufinden, welche Mittelwerte oder welche Gruppen von Mittelwerten sich unterscheiden.

### 2.6.2 Modifizierter LSD-Test

Ein multipler Mittelwertvergleich mit Hilfe des modifizierten LSD-Tests gibt darüber Auskunft, welche Mittelwerte zu homogenen Gruppen zusammengefasst werden können, d. h. der gleichen Grundgesamtheit entstammen. Dazu werden die  $k$  Mittelwerte der Größe nach absteigend geordnet und es wird überprüft, ob benachbarte Mittelwerte eine größere Differenz aufweisen als die kleinste signifikante Differenz (least significant difference = LSD).

Die kleinste signifikante Differenz berechnet sich:

- bei gleichen Stichprobenumfängen einer Messreihe zu:

$$\text{LSD} = t_{n-k, \alpha} \cdot \sqrt{\frac{2}{n_i} \cdot MQ_{\text{innerhalb}}} \quad (\text{GL 4})$$

mit

$t$  = Schwellenwert der t-Verteilung bei der Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,05$ ,

$n_i$  = Stichprobenumfang einer Messreihe,

$MQ_{\text{innerhalb}}$  = Varianz der Einzelwerte um die Gruppenmittelwerte.

- bei ungleichen Stichprobenumfängen einer Messreihe zu:

$$\text{LSD}_{(a,b)} = t_{n-k, \alpha} \cdot \sqrt{\left(\frac{n_a + n_b}{n_a \cdot n_b}\right) \cdot \text{MQ}_{\text{innerhalb}}} \quad (\text{GL 5})$$

mit

$n_a, n_b$  = Stichprobenumfang der benachbarten Mittelwerte.

Wenn die Differenz der Mittelwerte größer als der LSD-Wert ist, wird die Nullhypothese „alle Mittelwert sind gleich“ mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$  entsprechend einer statistischen Sicherheit von  $S = 0,95$  verworfen und es können homogene Gruppe gebildet werden.

### 2.6.3 Einfacher Mittelwertvergleich

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einfache Mittelwertvergleich angewendet, um zu überprüfen, ob sich die Mittelwerte einer Kenngröße bestimmt an zwei Varianten statistisch voneinander unterscheiden.

Hierfür wird die Null-Hypothese formuliert, dass die Mittelwerte gleich seien, das heißt, die Differenz der Mittelwerte im statistischen Sinne gleich null ist.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (\text{GL 6})$$

Die Testgröße  $\hat{t}$  zur Überprüfung der Null-Hypothese berechnet sich für die Fälle gleicher und ungleicher Stichprobenumfänge sowie gleicher und nichtgleicher Varianzen gemäß [2]. Überschreitet die Testgröße  $\hat{t}$  bei vorgegebener Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$  die für die Anzahl der Freiheitsgrade  $v$  in [1] angegebene Signifikanzschranke der t-Verteilung, so wird die Alternativhypothese

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (\text{GL 7})$$

akzeptiert; das heißt, die Null-Hypothese auf Homogenität der Stichprobenmittelwerte wird abgelehnt.

## 3 Untersuchungen

In den folgenden Abschnitten sind die Ziele und die Vorgehensweise der einzelnen Arbeitsschritte beschrieben und die Untersuchungsergebnisse dargestellt.

### 3.1 Arbeitsschritt 1 „Einwirkzeit“

#### 3.1.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Rahmen des Arbeitsschritts 1 wurde der Einfluss der Einwirkzeit eines Betriebsmittels auf das Anlösen der Bitumenverbindung im Asphalt untersucht.

Neben einer visuellen Begutachtung wurden tastweise Einaxiale Zugversuche gemäß den Technischen Prüfvorschriften TP Asphalt-StB, Teil 46 A bei einer Prüftemperatur von 5 °C (doppel-belegt) durchgeführt. Die Ergebnisse der Einaxialen Zugversuche sollen Rückschlüsse über mögliche (Zug-) Festigkeitsabnahmen bedingt durch ggf. angelöste Bitumenverbindungen geben. Für die Untersuchungen wurden prismatische Probekörper (mit Abmessungen von 40 mm x 40 mm x 160 mm) benötigt, die aus Asphalt-Probepplatten (oder Bohrkernen) herausgesägt wurden.

In diesem Arbeitsschritt wurden Untersuchungen an Probekörpern aus Asphalt-Probepplatten aus Asphaltbeton (AC), Splittmastixasphalt (SMA) und Offenporigem Asphalt (PA) durchgeführt. Im Arbeitsschritt 9 (vgl. Abschnitt 3.8) wurden noch ergänzend Zugversuche an Altasphalten (AC und SMA) durchgeführt.

Als Betriebsmittel wurden Diesel sowie Motoröl verwendet. Auf die Oberfläche der prismatischen Probekörper wurden in einem Bereich mit Abmessungen von 40 mm x 100 mm jeweils 3 ml Betriebsmittel aufgebracht (entspricht 750 ml/m<sup>2</sup>). Aus rechnerischen Nachweisen ist bekannt, dass bei dieser Menge die Rauhtiefe der Oberfläche (Textur) praktisch vollständig abgedeckt ist. Diese Menge ist vergleichbar mit einer extrem starken Verschmutzung, wenn sehr viel Betriebsmittel auf einer sehr kleinen Fläche ausläuft.

Als maximale Einwirkungsdauer (Szenario „unentdeckte Ölspur übers Wochenende“), entspricht einer ungünstigen Annahme für die Fahrbahn, wurden drei Tage (72 Stunden) angesetzt und mit dieser Einwirkzeit die Versuchsreihe gestartet. Ob eine weitere Reduzierung der Einwirkzeit zu untersuchen ist, war ergebnisabhängig zu entscheiden.

Parallel zu Einaxialen Zugversuchen an kontaminierten Probekörpern wurden Zugversuche an Probekörpern ohne Kontamination (Referenzproben) durchgeführt.

### 3.1.2 Untersuchungsergebnisse

In Abbildung 19 bis Abbildung 24 sind beispielhaft mit Diesel bzw. mit Motoröl kontaminierte Probekörper, die aus SMA-Platten, AC-Platten bzw. PA-Platten herausgesägt wurden, jeweils unmittelbar nach Aufbringen des Betriebsmittels und nach einer Einwirkzeit von drei Tagen abgebildet.

Beim Splittmastixasphalt sowie beim Asphaltbeton war zu beobachten, dass während der Einwirkzeit von drei Tagen überschüssiges Betriebsmittel von der Oberfläche an den Ränder der Probekörper abläuft (vgl. Abbildung 19 bis Abbildung 22), während beim Offenporigen Asphalt das Betriebsmittel vom Probekörper "aufgenommen" wurde (vgl. Abbildung 23 und Abbildung 24).



Abbildung 19: SMA mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)

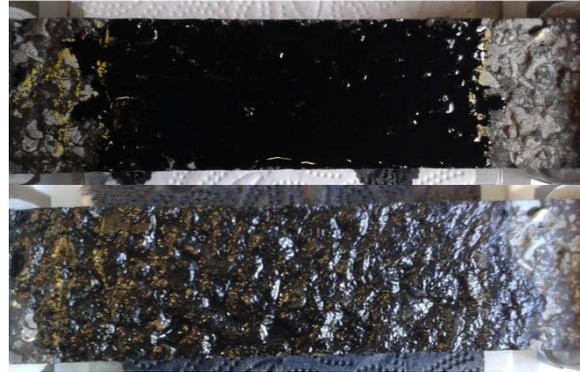


Abbildung 20: SMA mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)

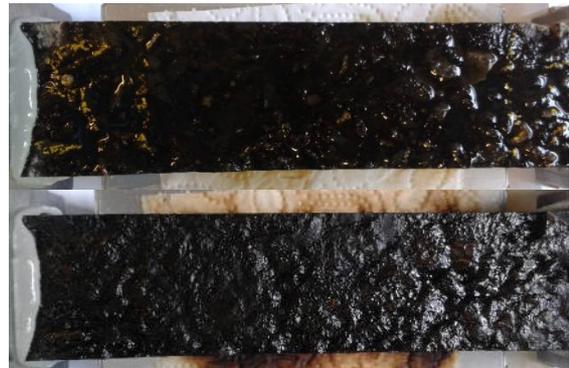


Abbildung 21: AC mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 22: AC mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 23: PA mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 24: PA mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)

Nach drei Tagen Einwirkzeit konnte nach visueller Begutachtung ein Anlösen des Bitumens (Verlaufen, Schlierenbildung) nicht offensichtlich erkannt werden. Weiterhin wurde auch eine Analyse unter Anwendung eines Bildbearbeitungsprogramms durchgeführt, wobei die Kontraste hervorgehoben wurden. Vor einer Kontamination sind die Gesteine als helle und das Bitumen als schwarze Flächen eindeutig zu erkennen. Aufgrund der dunklen Einfärbung, bedingt durch die Kontamination an der

Asphaltoberfläche, ist allerdings auch unter Anwendung von einem Bildbearbeitungsprogramm eine eindeutige Unterscheidung zwischen Bitumenfilm und Betriebsmittel nur schwer möglich, da auch kontaminierte Gesteinskörner als dunkle Oberfläche dargestellt werden, siehe Abbildung 25.

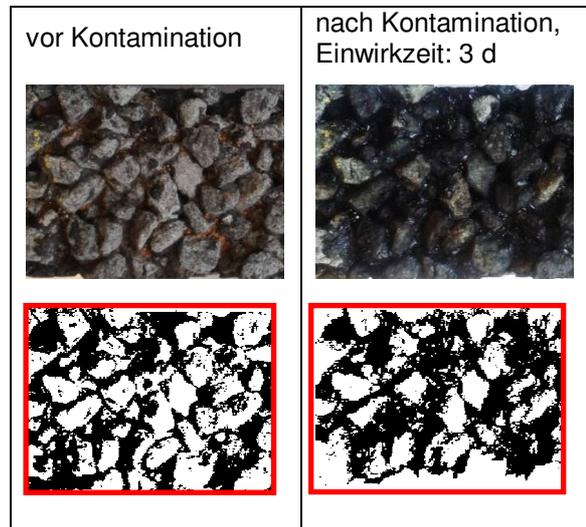


Abbildung 25: Auswertung mittels Bildbearbeitung

Der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Zugversuche als Zahlenwerte zu entnehmen. Als Kenngrößen sind die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung bei einer Prüftemperatur von 5 °C angegeben. Die mittleren Zugfestigkeitswerte und Bruchdehnungen sind weiterhin in Abbildung 26 bzw. Abbildung 27 grafisch dargestellt. Gegenübergestellt sind für die drei untersuchten Asphaltarten jeweils der Wert für die Variante ohne Kontamination (Referenzprobe) sowie die Werte nach einer 3-tägigen Kontamination mit Motoröl bzw. mit Diesel.

Tabelle 1: Ergebnisse der Zugversuche bei 5 °C für AC, SMA und PA

		Zugfestigkeit [MPa] bei 5 °C		Bruchdehnung [%] bei 5 °C	
		Einzelwerte	Mittelwert	Einzelwerte	Mittelwert
AC	ohne Kontamination	3,574 4,246	3,910	2,766 2,584	2,675
	Kontamination mit Motoröl, 3 d	3,489 3,967	3,728	2,719 2,627	2,673
	Kontamination mit Diesel, 3 d	3,225 3,804	3,515	2,768 2,510	2,639
SMA	ohne Kontamination	3,394 3,886	3,640	3,503 2,845	3,174
	Kontamination mit Motoröl, 3 d	3,579 3,846	3,713	3,150 3,171	3,160
	Kontamination mit Diesel, 3 d	3,304 3,709	3,507	3,082 3,017	3,049
PA	ohne Kontamination	0,366 0,786	0,576	4,996 2,114	3,555
	Kontamination mit Motoröl, 3 d	0,276 0,367	0,322	3,763 4,490	4,127
	Kontamination mit Diesel, 3 d	0,180 0,328	0,254	5,764 2,248	4,006

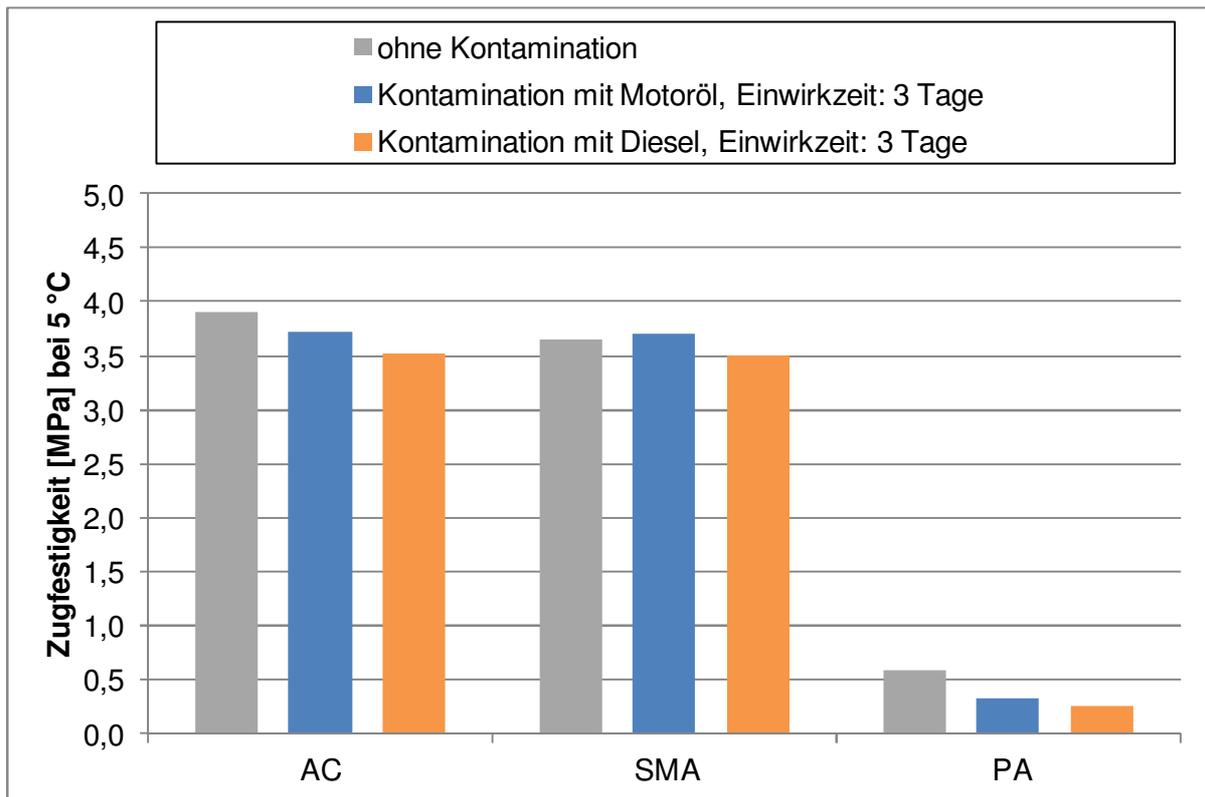


Abbildung 26: Zugfestigkeiten bei 5 °C für AC, SMA und PA

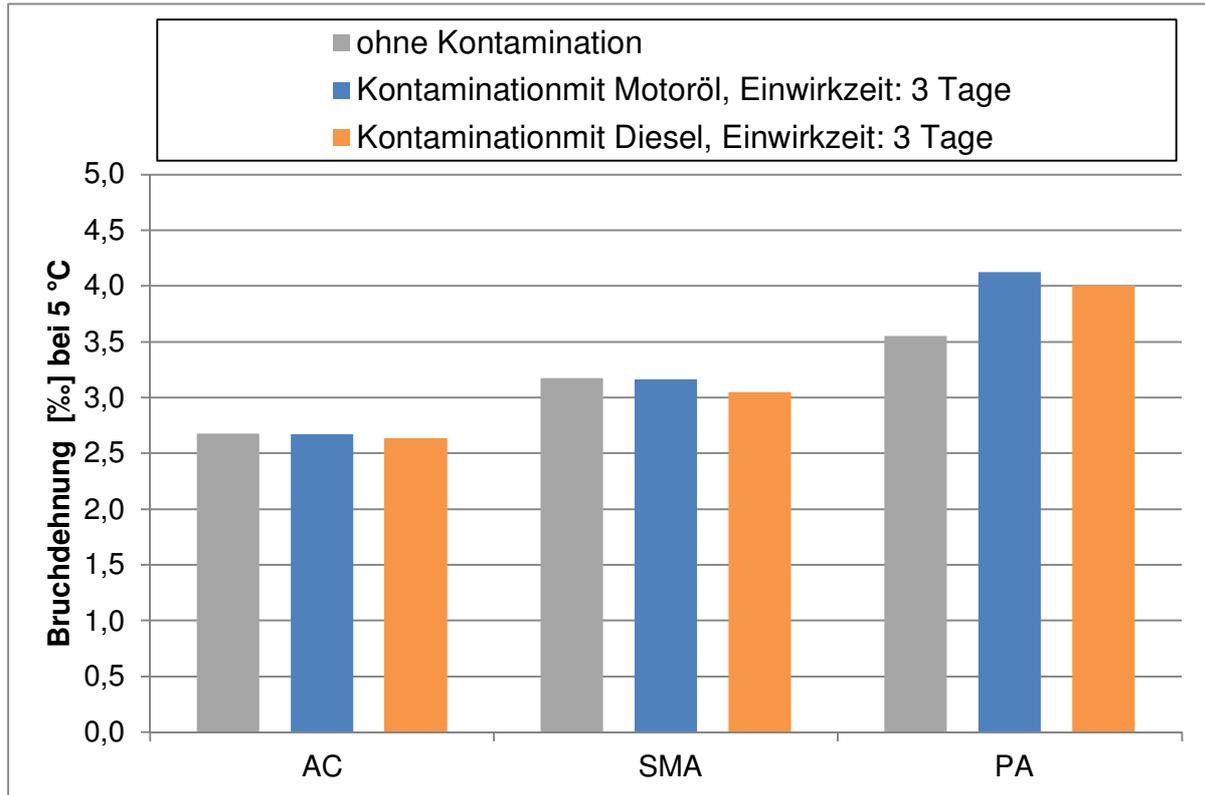


Abbildung 27: Bruchdehnungen bei 5 °C für AC, SMA und PA

Zur Bewertung der Ergebnisse der Zugversuche wurden die Kenngrößen Zugfestigkeit und Bruchdehnung mathematisch-statistisch ausgewertet (vgl. Kapitel 2.6). Mittels eines direkten Mittelwertvergleichs (t-Test) wurde geprüft, ob sich jeweils die Werte der kontaminierten Variante (mit Motoröl oder mit Diesel) signifikant von den zugehörigen Werten der Variante ohne Kontamination (Referenzprobe) unterscheiden oder ob die Werte einer Grundgesamtheit angehören.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der statistischen Mittelwertvergleiche kann die Aussage getroffen werden, dass bei keiner der drei hier untersuchten Asphaltarten (AC, SMA, PA) es durch die Kontamination mit Motoröl oder mit Diesel nach einer Einwirkzeit von drei Tagen zu einer signifikanten Reduzierung der Zugfestigkeit bei 5 °C kommt. Weiterhin ist bei keiner der drei Asphaltarten eine signifikante Veränderung der Bruchdehnung nach Kontamination mit Motoröl sowie Diesel und 3-tägiger Einwirkzeit zu konstatieren.

Ergänzend ist dennoch zu den Ergebnissen am Offenporigen Asphalt PA anzumerken,

dass hier nach Kontamination bei tendenziell geringeren Zugfestigkeiten die Zugdehnungen tendenziell zugenommen haben, was ein Indiz dafür sein kann, dass das Bitumen weicher geworden ist.

Aus dem Arbeitsschritt 1 kann abschließend entnommen werden, dass es nach einer Einwirkungszeit von 3 Tagen (Annahme: maximale Zeit bis eine Reinigung erfolgt; Szenario „unentdeckte Ölspur übers Wochenende“) nach visueller Begutachtung kein Anlösen des Bitumenfilms an der Oberfläche zu konstatieren ist. Auch anhand der Ergebnisse der Zugversuche ist keine signifikante Abnahme der Zugfestigkeit festzustellen, woraus geschlossen werden kann, dass es praktisch zu keiner strukturellen Veränderungen unter den genannten Randbedingungen kommt.

Aus diesen Erkenntnissen wurde für die folgenden Arbeitsschritte abgeleitet, dass die Länge der Einwirkzeit für die nachfolgenden Untersuchungen als vernachlässigbar anzusehen ist. Für die weiteren Arbeitsschritte wurde eine angenommene Mindesteinwirkzeit von 20

Minuten (Szenario „Einsatzzeit Feuerwehr“) angenommen.

### 3.2 Arbeitsschritt 2 „Ermittlung Kontaminationsmenge („Eingriffsschwelle““

#### 3.2.1 Ziel und Vorgehensweise

Der Arbeitsschritt 2 diente der Ermittlung der Kontaminationsmenge „Eingriffsschwelle“, ab der eine Reinigung im Labormaßstab erforderlich ist. Dieser Wert ist nicht zwangsläufig identisch mit der Mengenangabe bei der in der Praxis eingegriffen werden muss, um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten.

Zur Bewertung der Verkehrssicherheit im Labormaßstab wurde als Messgröße der SRT-Wert herangezogen. Als Anforderungswert wurde ein SRT-Wert von mindestens 55 festgelegt. Ein SRT-Wert von 55 entspricht gemäß dem Merkblatt M BGriff dem Zustandswert „Warnwert“. Im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) werden Zustandsmerkmale (z. B. die Griffigkeit) anhand einer Zustandsgrößen (z. B. der SRT-Wert für die Griffigkeit) erfasst und mithilfe einer Normierungsfunktion in dimensionslose Werte von 1,0 (sehr gut) bis 5,0 (sehr schlecht) überführt. Der „Warnwert“ (Note 3,5) charakterisiert dabei einen Zustand, dessen Erreichen Anlass zur Analyse der Ursachen für die Zustandsverschlechterung und zur Planung von geeigneten Maßnahmen gibt.

Untersuchungen im Arbeitsschritt 2 wurden an im Laboratorium hergestellten Platten aus Offenporigem Asphalt (PA) und aus Splittmastixasphalt (SMA) durchgeführt. Als Betriebsmittel wurde jeweils Diesel und Motoröl verwendet. Das Betriebsmittel wurde mittels einer Sprühflasche auf die Oberfläche aufgebracht, wobei die Menge eines Sprühstoßes im 1/100 g Bereich liegt.

Anhand von Abbildung 28 und Abbildung 29 (Fotos aus Vorversuchen) soll verdeutlicht werden, dass Diesel und Motoröl sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Viskosität beim Aufbringen unterschiedlich verteilen. Diesel, mit einer vergleichsweise geringen Viskosität, verteilt/ verstreut sich beim Aufbringen gleich-

mäßiger im Vergleich zum Motoröl, bei dem eher eine Tröpfchenbildung zu konstatieren ist, was auch dem Verteilungsbild bei einem echten Schadensfall weitgehend entsprechen dürfte.

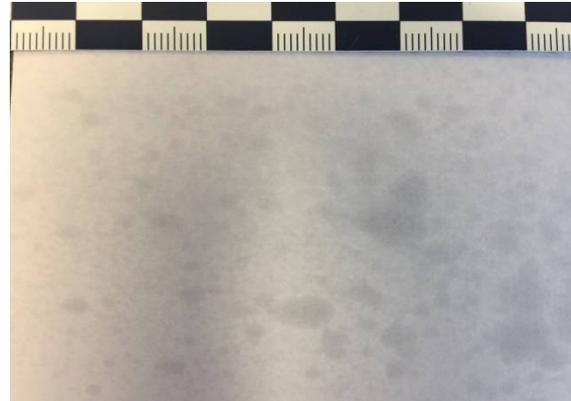


Abbildung 28: Aufbringen von Diesel (Vorversuch)

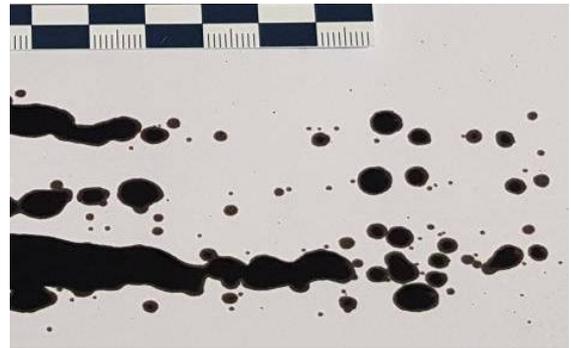


Abbildung 29: Aufbringen von Motoröl (Vorversuch)

Für die Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ wurden jeweils vier unterschiedliche Betriebsmittelmengen (etwa 15 ml/m<sup>2</sup>, 30 ml/m<sup>2</sup>, 45 ml/m<sup>2</sup>, 60 ml/m<sup>2</sup>), wobei die Mengen eher im oberen Bereich in der Praxis bekannter Kontaminationsmengen liegen, auf eine Fläche von 114,75 cm<sup>2</sup> (Messfeld) aufgebracht. Zur Umrechnung in Massen wurden dafür zunächst die Dichten für den verwendeten Diesel mit 0,828 g/cm<sup>3</sup> und für das Motoröl mit 0,856 g/cm<sup>3</sup> messtechnisch bestimmt. Bei den Untersuchungen wurden dann noch die tatsächlich aufgetragenen Mengen erfasst.

Zur Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ wurde zunächst der SRT-Wert der kontaminierten Oberfläche (nach 20 Minuten Einwirkzeit) ermittelt. Im Anschluss wurde die Platte zur Simulation eines Starkregenereignisses mit 30 l/m<sup>2</sup> geflutet, wobei dafür das Wasser mit einer Gießkanne zügig über der Platte ausgegossen wurde. Anschließend wurde der SRT-Wert unmittelbar erneut gemessen. Den ermit-

telten SRT-Werten liegen je mindestens fünf Einzelwerte zu Grunde.

An dieser Stelle sei darauf hinzuweisen, dass bei den Versuchen im Labormaßstab nicht ausgeschlossen werden kann, dass ggf. durch das Fluten der Platte an der Oberfläche vorhandenes bzw. ggf. durch den Effekt des Nachblutens aufgestiegenes Betriebsmittel auch abgespült wird, was jedoch auch in der Praxis bedingt durch das Längs- und Quergefälle bei einem Regenereignis beobachtet werden kann.

Die Untersuchungen wurden doppel-belegt (an je zwei unterschiedlichen Platten) durchgeführt.

### 3.2.2 Untersuchungsergebnisse

In Abbildung 30 bis Abbildung 33 sind für die vier o. g. Kombinationen (PA bzw. SMA, kontaminiert mit Diesel bzw. mit Motoröl) die Ergebnisse zur Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ grafisch dargestellt. Als Zahlenwerte sind die Ergebnisse weiterhin dem Anhang (Tabelle A 1 bis Tabelle A 4) zu entnehmen.

In den grafischen Darstellungen sind in roter Farbe jeweils die Ergebnisse der Messungen an den kontaminierten Platten dargestellt und in Blau die Ergebnisse, ermittelt an den kontaminierten Platten und nach Flutung. Die schwarze, unterbrochene Linie ist der für die „Eingriffsschwelle“ angenommene SRT-Wert von 55 SRT-Einheiten.

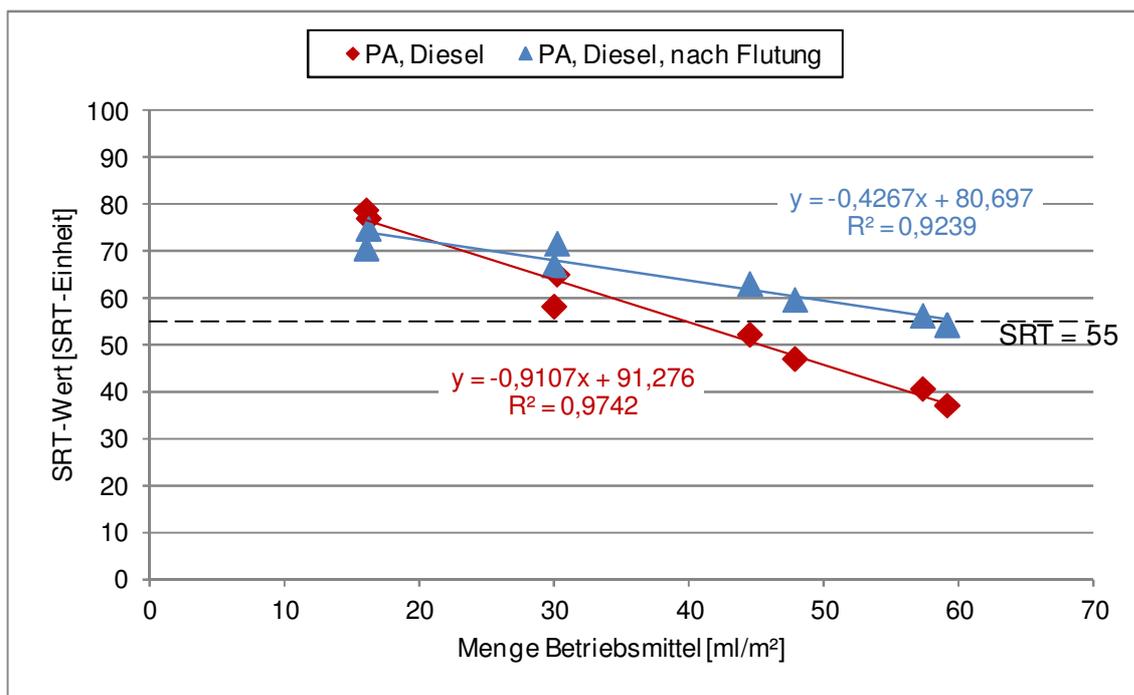


Abbildung 30: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für PA, kontaminiert mit Diesel

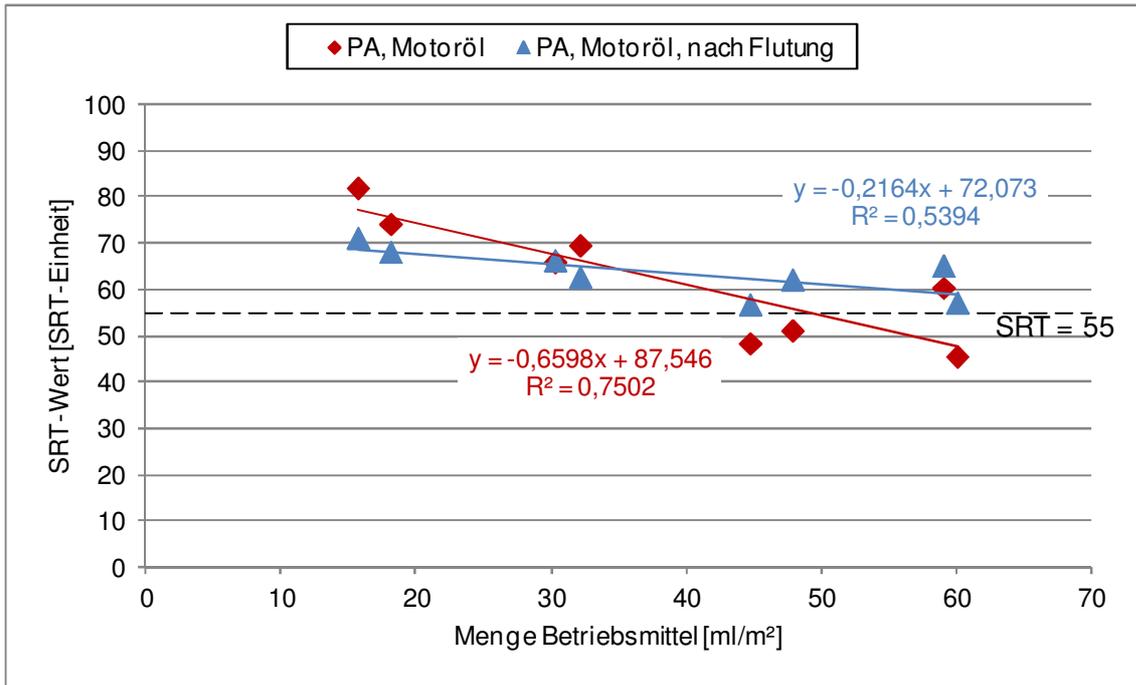


Abbildung 31: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für PA, kontaminiert mit Motoröl

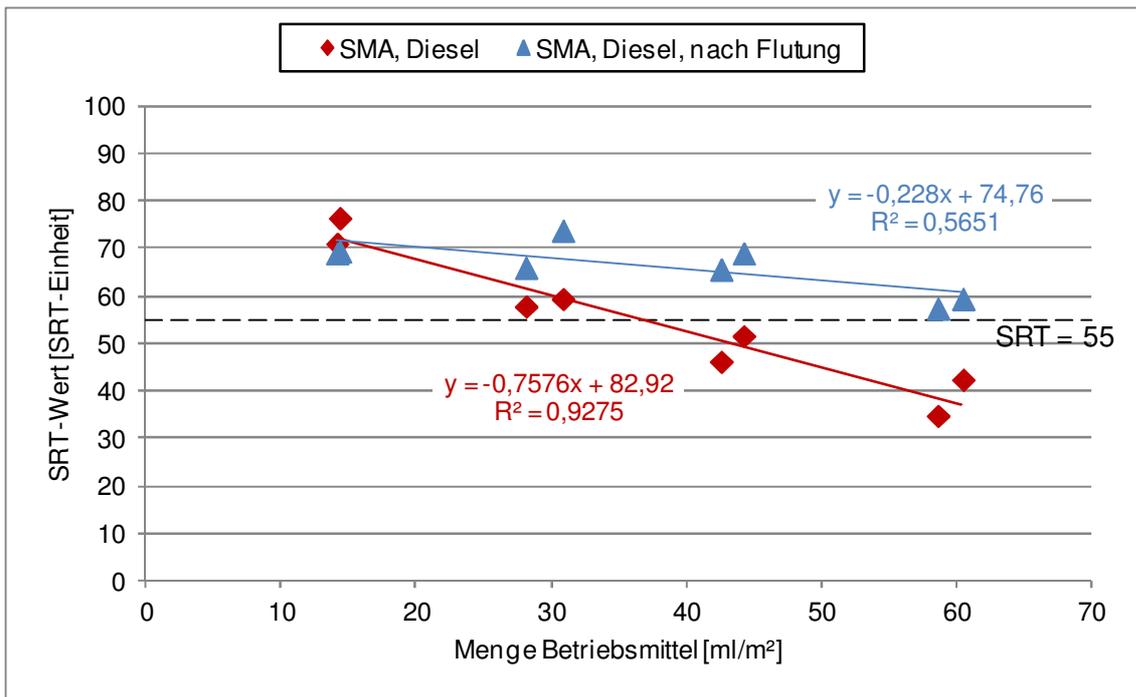


Abbildung 32: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für SMA, kontaminiert mit Diesel

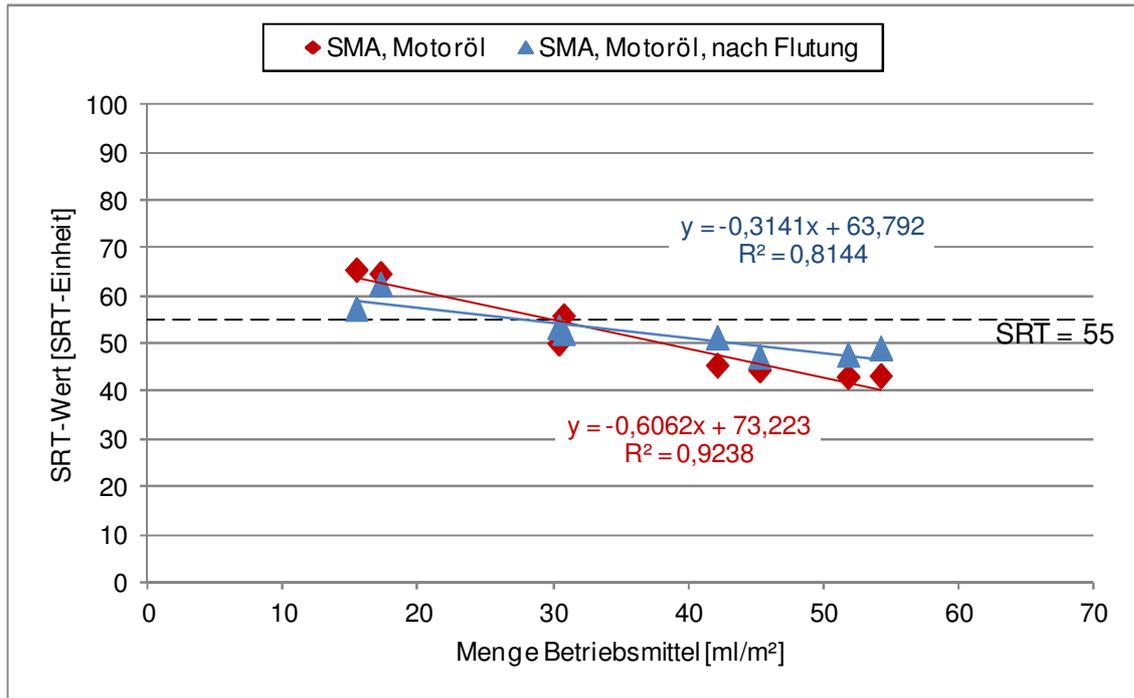


Abbildung 33: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für SMA, kontaminiert mit Motoröl

Aus den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass bei allen Messreihen mit zunehmender Menge des aufgetragenen Betriebsmittels der SRT-Wert abnimmt, d. h. die Griffigkeit reduziert ist. Dieser Zusammenhang ist auch nach Flutung der kontaminierten Platten zu erkennen. Mathematisch kann dieser Zusammenhang näherungsweise über eine Gerade beschrieben werden (siehe Abbildung 30 bis Abbildung 33). Den Abbildungen können auch die mathematischen Funktionen sowie das zugehörige Bestimmtheitsmaß entnommen werden.

Die Geraden, die den Zusammenhang (zwischen Betriebsmittelmenge und SRT-Wert) der Messungen an den kontaminierten Platten nach Flutung beschreiben, weisen ein geringeres Steigungsmaß im Vergleich zu den zugehörigen Messreihen an den kontaminierten Platten auf. Das hat hier zur Folge, dass sich die Regressionsgeraden (kontaminiert und nach Flutung) bei einer bestimmten Betriebsmittelmenge schneiden. Bei erhöhter Betriebsmittelmenge liegt jedoch der SRT-Wert, ermittelt an der kontaminierten Platte immer unter dem Wert, der anschließend an der gefluteten Platte gemessen wurde, somit ist also ab einer bestimmten Betriebsmittelmenge die Griffigkeit nach Flutung immer höher als vor der Flutung.

Zur Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ wurde jeweils das Szenario (kontaminiert oder kontaminiert und nach Flutung) als maßgebend angenommen, bei dem ein SRT-Wert von 55 bei der zugehörigen geringeren Betriebsmittelmenge erreicht wird („worst case“). Der Tabelle 2 können die so ermittelten „Eingriffsschwellen“ entnommen werden. Weiterhin ist das zugehörige, maßgebende Szenario in der Tabelle 2 genannt.

Tabelle 2: „Eingriffsschwellen“

	Betriebsmittelmenge [ml/m²] bei SRT 55	Szenario
PA, Diesel	39,83	kontaminiert
PA, Motoröl	49,33	kontaminiert
SMA, Diesel	36,85	kontaminiert
SMA, Motoröl	27,99	nach Flutung

Die „Eingriffsschwelle“ bei einer Kontamination mit Diesel liegt beim Offenporigen Asphalt (PA) und beim Splittmastixasphalt (SMA) in ähnlicher Größenordnung. Für Motoröl ist die „Eingriffsschwelle“ beim Offenporigen Asphalt deutlich höher gegenüber einem Splittmastixasphalt.

Beim Offenporigen Asphalt liegt die „Eingriffsschwelle“ bei einer Kontamination mit Diesel unter dem Wert für Motoröl, was u. a. damit erklärt werden kann, dass durch die geringere Viskosität vom Diesel gegenüber Motoröl die Oberfläche beim Aufbringen von Diesel schneller, also bereits bei einer geringeren Menge, praktisch vollständig benetzt ist. Dagegen gibt es beim Aufbringen von Motoröl, vermutlich durch die eher tröpfchenförmige, ungleichmäßigere Verteilung, noch länger einzelne Gesteinskörner an der Oberfläche, die noch nicht kontaminiert sind, was zu einer höheren Griffigkeit führt und somit erst bei einer größeren aufgetragenen Menge die „Eingriffsschwelle“ erreicht wird.

Für die weiteren Arbeitsschritte wurde vorsorglich die doppelte Menge, der hier ermittelten Mengen, für die „Eingriffsschwelle“ aufgebracht.

An dieser Stelle sei anzumerken, dass erfahrungsgemäß in der Praxis durchschnittliche Kontaminationsmengen von 5 bis 10 ml/m<sup>2</sup> beobachtet werden können. Bei den hier ermittelten und nochmals verdoppelten Mengen (Risikozuschlag) handelt es sich somit bereits um eher unüblich hohe Mengen („worst case“). Der Havariefall als „worst case“ ist somit bei den weiteren Untersuchungen bereits mit erfasst.

### 3.3 Arbeitsschritt 3 „Trockenreinigung“

#### 3.3.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Rahmen des Arbeitsschritts 3 wurden Untersuchungen mit dem Trockenreinigungsverfahren mit Ölbindemitteln zur Ermittlung des Reinigungserfolgs durchgeführt.

Es wurden Asphalt-Probepplatten aus Splittmastixasphalt verwendet. Am Offenporigen Asphalt wurde aufgrund der mangelnden Eignung der Trockenreinigung dieses Verfahren nicht angewendet.

Die Kontamination erfolgte mit Diesel sowie mit Motoröl. Auf das Messfeld wurde jeweils die doppelte Menge (Sicherheitszuschlag) der im Arbeitsschritt 2 ermittelten „Eingriffsschwelle“ aufgebracht, siehe beispielhaft Abbildung 34.



Abbildung 34: Kontaminierte Oberfläche (SMA), Betriebsmittel Diesel

Der SRT-Wert wurde an der kontaminierten Platte (nach 20 Minuten Einwirkzeit) vor der Reinigung ermittelt.

Neben der Kontamination auf einer trockenen Oberfläche, wurden ergänzend Versuche mit Betriebsmittel auf feuchter Oberfläche durchgeführt, um so mögliche Unterschiede ggf. bei der Ausbreitung des Betriebsmittels („Spreiten“) bzw. bei der Reinigung zu erfassen. Bei der Variante mit feuchter Oberfläche wurde die Platte „beregnet“, bis sich ein geschlossener Wasserfilm bildet und anschließend wurde die Platte für ca. 2 Sekunden senkrecht auf die längere Kante gestellt, so dass das Wasser ablaufen konnte. An der feuchten Oberfläche wurde der SRT-Wert ein weiteres Mal gemessen bevor das Betriebsmittel aufgebracht wurde.

Nach 20-minütiger Einwirkzeit des Betriebsmittels erfolgte die Reinigung mit einem mittel- bzw. mit einem grobkörnigen Ölbindemittel (siehe Kapitel 2.3.1). Dafür wurde die kontaminierte Platte mit Ölbindemittel (etwa 3 kg/m<sup>2</sup>) abgestreut und das Ölbindemittel 15 Minuten auf der Platte belassen (siehe Abbildung 35, Abbildung 36). Das Ölbindemittel wurde nicht aktiv eingearbeitet, um den Einfluss ggf. unterschiedlicher Intensitäten des Einarbeitens zu eliminieren. Anschließend wurde das Ölbindemittel sorgfältig mit einem Pinsel entfernt.



Abbildung 35: Kontamination mit Diesel auf trockener Oberfläche, Trockenreinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel



Abbildung 36: Kontamination mit Motoröl auf feuchter Oberfläche, Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel

Der Reinigungserfolg wurde mittels SRT-Pendelmessungen bestimmt.

Anschließend wurde die kontaminierte und trockengereinigte Platte mit  $30 \text{ ml/m}^2$  Wasser geflutet und unmittelbar nach Flutung eine weitere Messung mit dem SRT-Pendel durchgeführt.

Die Untersuchungen wurden doppel-belegt (an je zwei unterschiedlichen Platten) durchgeführt.

Im Rahmen des Arbeitsschrittes 3 wurde weiterhin die Rest-Ölbindemittelmenge bestimmt. Hierfür wurden unabhängig zu den o. g. Untersuchungen mit dem SRT-Pendel Plattenstücke (ca.  $72,5 \text{ cm}^2$ ) kontaminiert, wobei hier abweichend das Betriebsmittel mit einem Pinsel aufgebracht wurde. Anschließend (nach 20-minütiger Einwirkzeit des Betriebsmittels) wurden die Plattenstücke unter Verwendung von Ölbindemittel analog zu o. g. Vorgehensweise trockengereinigt.

Mittels einer Differenzbildung kann die Restmenge des Ölbindemittels rechnerisch abgeschätzt werden. Dafür wurden die Massen der zu kontaminierenden Platte, der aufgetragenen Menge Betriebsmittel sowie die aufgetragene Menge an Ölbindemittel bestimmt. Nachdem der Reinigungsvorgang abgeschlossen war, also das Ölbindemittel durch abbürsten von der Platte wieder entfernt wurde, wurde erneut die Masse der gereinigten Platte ermittelt. Für die Differenzbildung wurde weiter auf die im Arbeitsschritt 8 zu ermittelnde Restmenge an Betriebsmittel (nach Trockenreinigung), die mittels chemischer Analyse (Gaschromatographie) messtechnisch bestimmt wurde, zurückgegriffen.

Durch Differenzbildung (Masse der Platte nach Reinigung abzüglich der Masse der Platte vor

Reinigung und der im Arbeitsschritt 8 ermittelten Restmenge des Betriebsmittels) kann die Rest-Ölbindemittelmenge bestimmt werden.

### 3.3.2 Untersuchungsergebnisse

Der Abbildung 37 sowie der Abbildung 38 sind die Ergebnisse der SRT-Messungen der Untersuchungen zur Trockenreinigung mit Ölbindemitteln (mittel- bzw. grobkörnig) am Splittmastixasphalt zu entnehmen. Die Kontamination wurde dabei in der ersten Messreihe auf eine trockene Oberfläche aufgebracht (vgl. Abbildung 37) und in einer weiteren Messreihe auf eine feuchte Oberfläche (vgl. Abbildung 38).

Als Säulen sind in den Abbildungen die SRT-Werte nach Reinigung sowie die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Platten dargestellt.

Weiterhin ist der mittlere SRT-Wert "trocken" der SMA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als graue Linie und der als Anforderung angenommene SRT-Wert von 55 als rote Linie eingetragen. Die mittleren SRT-Werte der mit Motoröl bzw. mit Diesel kontaminierten SMA-Platten auf trockener bzw. auf feuchter Oberfläche (Mittelwert aus allen Arbeitsschritten) sind als gelbe Linien dargestellt.

Bei der zweiten Messreihe, bei der die Kontamination auf feuchte Oberfläche aufgebracht wurde (siehe Abbildung 38), ist weiterhin der Mittelwert der SRT-Werte der feuchten Oberflächen der SMA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als blaue Linie eingetragen.

Die ermittelten Zahlenwerte (Einzelwerte) können dem Anhang (Tabelle A 5 und Tabelle A 6) entnommen werden.

Anhand eines Vergleichs des mittleren SRT-Werts der trockenen Platte (vor Kontamination) und der SRT-Werte nach Reinigung geht hervor, dass bei Anwendung eines mittelkörnigen Ölbindemittels, sowohl bei einer Kontamination durch Diesel sowie durch Motoröl als auch bei Kontamination auf trockener sowie auf nasser Oberfläche, der Reinigungserfolg tendenziell größer gegenüber dem Einsatz des grobkörnigen Ölbindemittels ist.

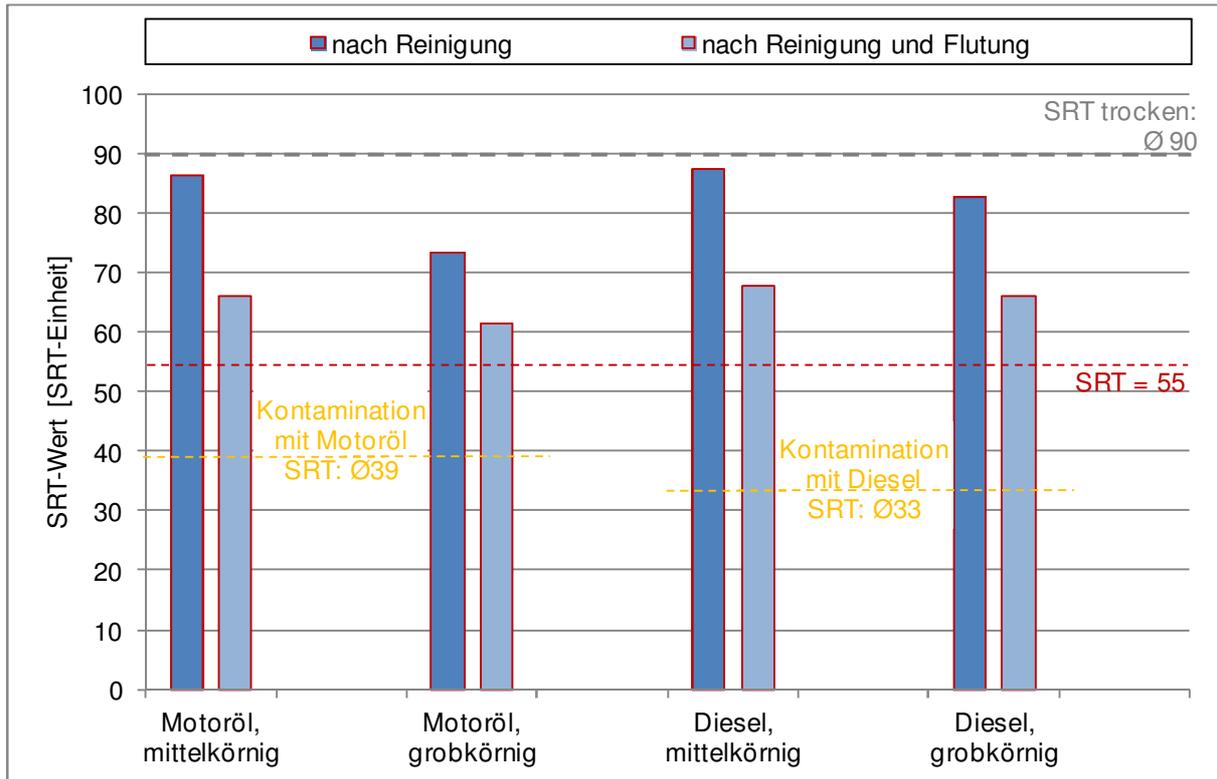


Abbildung 37: Trockenreinigung mit Ölbindemittel - SMA, Kontamination auf trockener Oberfläche

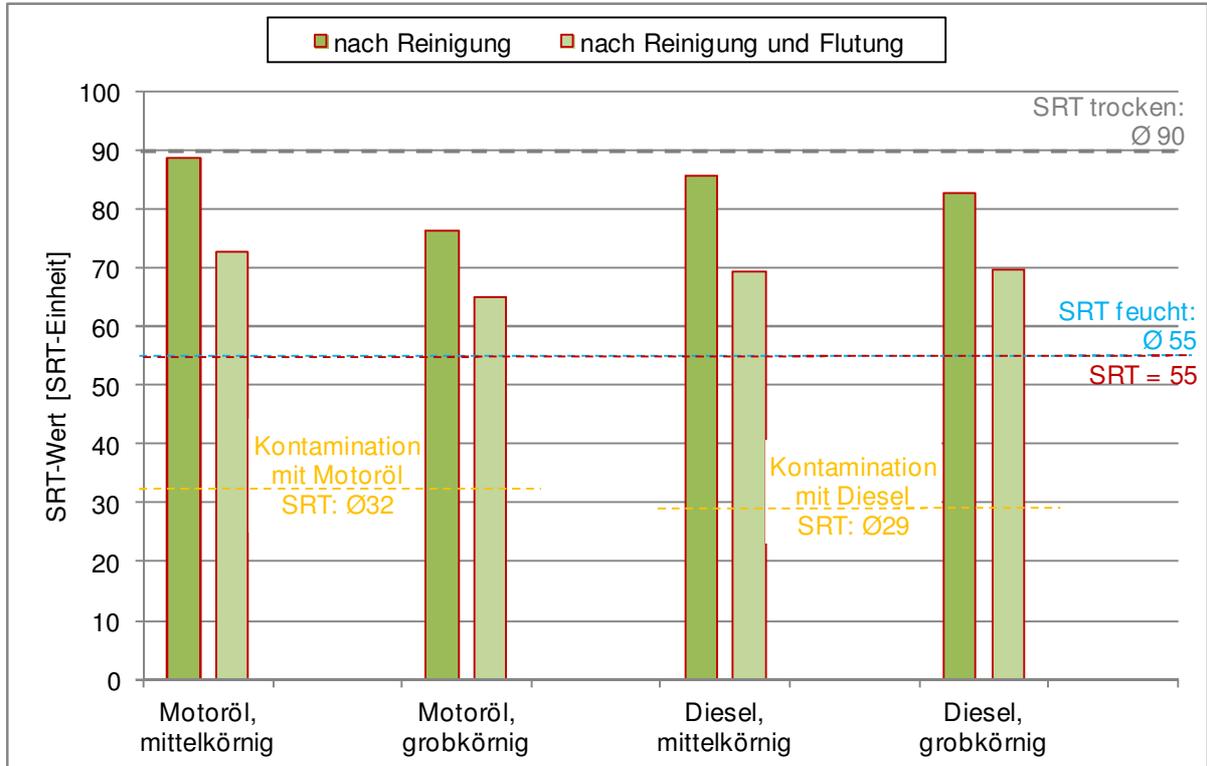


Abbildung 38: Trockenreinigung mit Ölbindemittel - SMA, Kontamination auf feuchter Oberfläche

Zur Beurteilung des Reinigungserfolgs wurden die ermittelten SRT-Werte an der trockenen

Platte vor Reinigung, nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel sowie nach Reini-

gung mit grobkörnigem Ölbindemittel statistisch mittels einfachen Varianzanalysen und nachgeschaltetem LSD-Test (Least Significant Difference) ausgewertet. Es wurde der Reinigungserfolg für

- Motoröl auf trockener Oberfläche
- Diesel auf trockener Oberfläche
- Motoröl auf feuchter Oberfläche und
- Diesel auf feuchter Oberfläche untersucht.

In der Tabelle 3 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammenfassend dargestellt.

Bei allen vier Kombinationen werden zwischen den Mittelwerten der SRT-Werte (trockene Platte vor Kontamination, nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel, nach Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel) signifikante Unterschiede bestimmt.

Anhand des nachgeschaltetem LSD-Tests kann weiter die Aussage getroffen werden,

dass für die Szenarien Motoröl auf trockener sowie auf feuchter Oberfläche und Diesel auf trockener Oberfläche jeweils der SRT-Wert nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel derselben homogenen Gruppe (Grundgesamtheit) zugeordnet werden kann, wie der SRT-Wert ermittelt an der trockenen Platte vor Kontamination und Reinigung. Mit einem signifikant geringeren SRT-Wert gehört jeweils der SRT-Wert nach Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel einer anderen homogenen Gruppe an.

Bei dem Szenario Diesel auf feuchter Oberfläche werden die SRT-Werte nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel und nach Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel einer gemeinsamen Gruppe zugeordnet. Der vergleichsweise höhere SRT-Wert, ermittelt an trockenen Platten, bildet eine eigene homogene Gruppe.

Tabelle 3: Statistische Auswertung - Trockenreinigung

		einfache Varianzanalyse	LSD-Test		
			1. Gruppe	2. Gruppe	3. Gruppe
			trockene Oberfläche	nach Reinigung, mittelkörniges Ölbindemittel	nach Reinigung, grobkörniges Ölbindemittel
SRT-Wert	Motoröl, trockene Oberfläche	signifikant	■	■	■
	Diesel, trockene Oberfläche	signifikant	■	■	■
	Motoröl, feuchte Oberfläche	signifikant	■	■	■
	Diesel, feuchte Oberfläche	signifikant	■	■	■

An den Ergebnissen der Messreihen, bei denen die Kontamination auf die feuchte Oberfläche aufgetragen wurde (siehe Abbildung 38) ist zu erkennen, dass die SRT-Werte der kontaminierten und gereinigten Platte nach Flutung über dem mittleren Wert der feuchten Platten (vor Kontamination) liegen, was damit erklärt werden kann, dass noch Rückstände des Ölbindemittels auf der Platte vorhanden sind, die zu einer Erhöhung des Reibwiderstands (SRT-Werts) beitragen.

Aus der visuellen Begutachtung geht hervor, dass nach der Reinigung bei einer Kontamination mit Diesel, insbesondere beim Einsatz des mittelkörnigen Ölbindemittels, noch Rückstän-

de des Ölbindemittels nach sorgfältigem Entfernen mit dem Pinsel auf der Platte verbleiben und auch nach der Flutung der Platte noch zu erkennen sind (Abbildung 39). Beim grobkörnigen Ölbindemittel werden nach Reinigung nur einzelne Körner erkannt (gelbe Markierung in Abbildung 40).



Abbildung 39: Kontamination mit Diesel - Oberfläche nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel



Abbildung 40: Kontamination mit Diesel - Oberfläche nach Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel

Nach der Reinigung einer Kontamination mit Motoröl verbleiben beim Einsatz des mittelkörnigen Ölbindemittels nur vereinzelt Rückstände

im Bereich von Hohlräumen (Abbildung 41, gelbe Markierung).



Abbildung 41: Kontamination mit Motoröl - Oberfläche nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel

Neben einer visuellen Begutachtung der Oberflächen der Platten wurden noch hilfsweise, über die im Arbeitsschritt 8 ermittelten Rest-Betriebsmittelmengen, rechnerisch über eine Differenzbildung die Menge des auf der Platte verbliebenen Ölbindemittels abgeschätzt. Die Ergebnisse können der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Rechnerische Rest-Ölbindemittelmengen in Gramm

Betriebsmittel Ölbindemittel	Masse [g]					
	Platte	Betriebs- mittel	Ölbinde- mittel	Platte nach Reinigung	Rest-Betriebs- mittel (vgl. AS 8)	Rest-Öl- bindemittel (rechn.)
Motoröl mittelkörnig	689,901	0,347	9,624	689,958	0,079	-0,022
Motoröl grobkörnig	723,553	0,356	10,507	723,675	0,069	0,053
Diesel mittelkörnig	748,858	0,446	7,107	749,089	0,121	0,110
Diesel grobkörnig	718,471	0,445	10,905	718,655	0,131	0,053

Bezogen auf die aufgebrachte Menge des Ölbindemittels liegt die festgestellte Restmenge bei maximal 1,5 % (bei einer Kontamination mit Diesel und Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel), siehe Tabelle 5. Der für die Variante „Motoröl, mittelkörniges Ölbindemittel“ rechnerisch ermittelte negative Wert von absolut -0,022 g lässt sich mit Messunsicherheiten begründen und auf ein praktisch vollständiges Entfernen des Ölbindemittels (~0 % Rückstand) schließen.

Tabelle 5: Prozentuale, rechnerische Rest-Ölbindemittelmenge

Betriebsmittel Ölbindemittel	Rest-Ölbindemittel (rechn.) bezogen auf die aufgebrachte Menge
Motoröl mittelkörnig	~ 0 %
Motoröl grobkörnig	0,5 %
Diesel mittelkörnig	1,5 %
Diesel grobkörnig	0,5 %

An den Platte mit feuchter Oberfläche kann analog die Rest-Ölbindemittel mit dieser Methode nicht ermittelt werden, da die in der Platte nach Reinigung verbliebene Wassermenge nicht quantitativ erfasst werden kann (zwei unbekannte Größen).

### 3.4 Arbeitsschritt 4 und 5 „Aufprall- und Saugdruck“

#### 3.4.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 4 bzw. 5 wurden Versuche mit der Sonderprüfmaschine (vgl. auch Kapitel 2.3.2) zur Simulation der Nassreinigung durchgeführt, um zu prüfen, bei welchem maximal möglichen Aufpralldruck bzw. bei welcher maximal möglichen Saugleistung eine Schädigung der Asphaltoberfläche noch ausgeschlossen werden kann.

Die im Rahmen der Laborversuche maximal mögliche Belastung (mechanische Beanspruchung) war durch die technische Leistung der einzelnen Bauteile der Sonderprüfmaschine vorgegeben. Die Versuchsreihe wurde zunächst mit der ungünstigsten Kombination, mit dem maximalen Betriebsdruck und der höchsten Saugleistung, gestartet. Es wurde vorab festgelegt, dass, wenn bei den hier gewählten Bedingungen, die den in der Praxis für die Ölspurbeseitigung eingesetzten Geräten entsprechen, keine Schädigungen der Asphaltstruktur zu erkennen sind, eine separate Untersuchung des Einflusses von Aufpralldruck (Arbeitsschritt 4) und Saugleistung (Arbeitsschritt 5) entfallen kann und die oben genannten Größen nicht weiter zu reduzieren sind.

Gestartet wurde die Untersuchung mit dem maximalen Betriebsdruck des Prüfstands von 200 bar. Die maximale Saugleistung des angeschlossenen Industriesaugers beträgt 3.700 l/min, wobei ein Unterdruck von maximal 240 mbar erzeugt werden kann. Der durch die Sonderprüfmaschine aufgebrachte Maximaldruck und die erzielte Saugleistung sind mit den in der Praxis erzielbaren Kennwerten von Nassreinigungssystemen praktisch vergleichbar.

Die Wassertemperatur bei der Hochdruckreinigung wurde für die Untersuchung mit 21 °C festgelegt, was etwa der Raumtemperatur im Laboratorium entspricht.

Unter Berücksichtigung der „schärfsten“ Beanspruchung der Asphaltoberfläche wurde der Versuch mit der geringsten, am Prüfstand einstellbaren Geschwindigkeit von etwa 0,04 km/h durchgeführt.

Es wurden Untersuchungen am Offenporigen Asphalt und am Splittmastixasphalt durchgeführt, wobei jeweils zwei Platten untersucht wurden.

Vor der Beanspruchung wurde die Oberfläche der Platte fotografiert und visuell begutachtet. Nach der Beanspruchung wurde dieses Prozedere wiederholt.

Weiterhin wurde im Rahmen des Arbeitsschritts 4 noch der Aufpralldruck bei einem Betriebsdruck von 200 bar ermittelt.

Um Fehlmessungen beim Einsatz einer einzigen, mittig angeordneten Kraftmessdose, bedingt durch den durch die rotierenden Düsen erzeugten Wasserstrahl und die dadurch exzentrisch wirkende Kräfte (Moment) auszuschließen, wurde für die Ermittlung des Aufpralldruckes eine Waage, mit an vier Ecken angeordneten Kraftsensoren gewählt.

Die Waage wurde unter dem Messschlitten positioniert, siehe Abbildung 42. Es wurden drei Messungen durchgeführt, wobei zunächst die Masse in Gramm ermittelt wurde, die anschließend in die Maßeinheit Newton umgerechnet und auf die Fläche der Düsen bezogen wurde.



Abbildung 42: Ermittlung des Aufpralldruckes

Oberflächen der untersuchten Platten jeweils vor und nach Beanspruchung mit Wasserhockdruck (Betriebsdruck 200 bar bzw. 20 MPa) und anschließendem Absaugen dargestellt. In Abbildung 45 ist noch ergänzend eine Detailaufnahme eines Bereichs des Offenporigen Asphaltes fotografisch dargestellt.

Aus der visuellen Begutachtung geht hervor, dass sich weder beim Offenporigen Asphalt noch beim Splittmastixasphalt Gesteinskörner aus dem Bitumenbett gelöst haben. Auch der an der Oberfläche vorhandene Bitumenfilm hat sich praktisch nicht verändert/ abgelöst.

### 3.4.2 Untersuchungsergebnisse

In Abbildung 43 (Offenporiger Asphalt) und in Abbildung 44 (Splittmastixasphalt) sind die

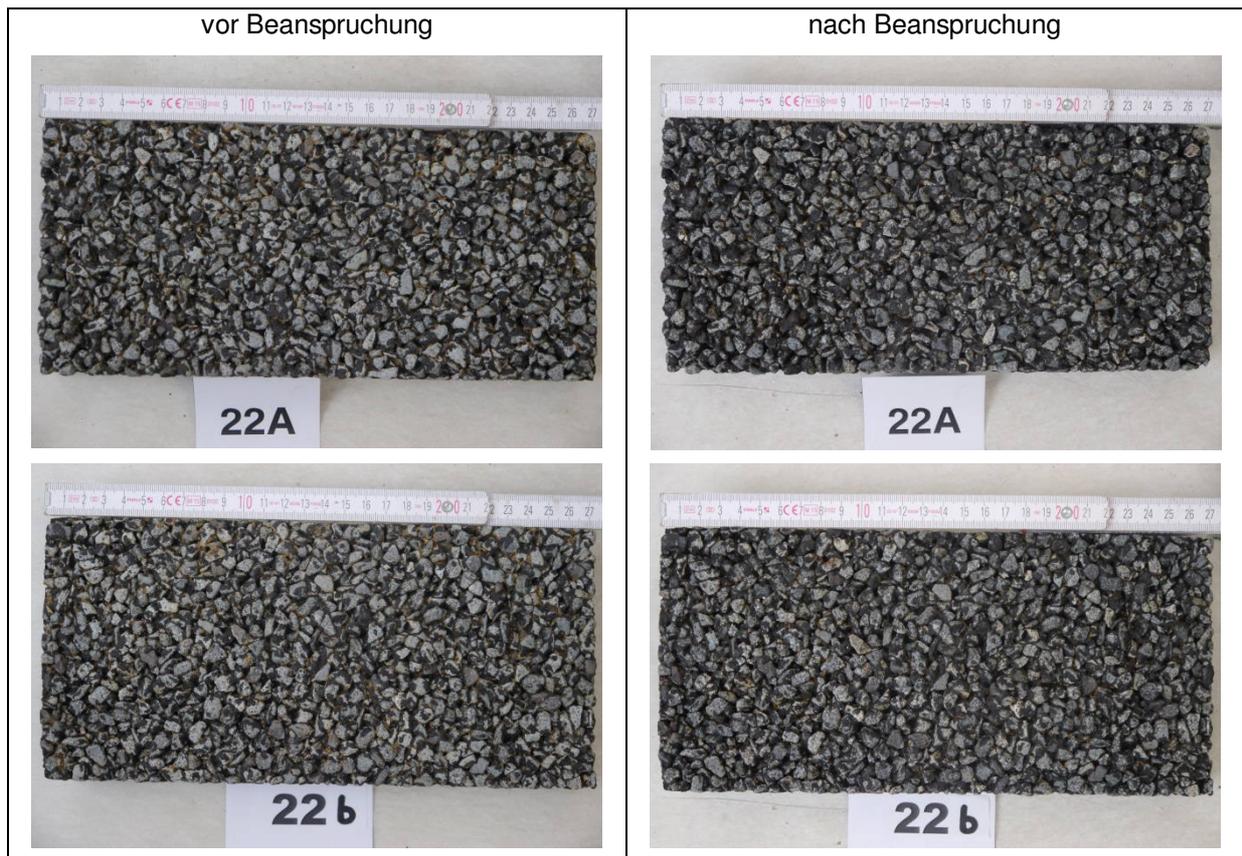


Abbildung 43: Oberfläche Offenporiger Asphalt vor und nach Beanspruchung

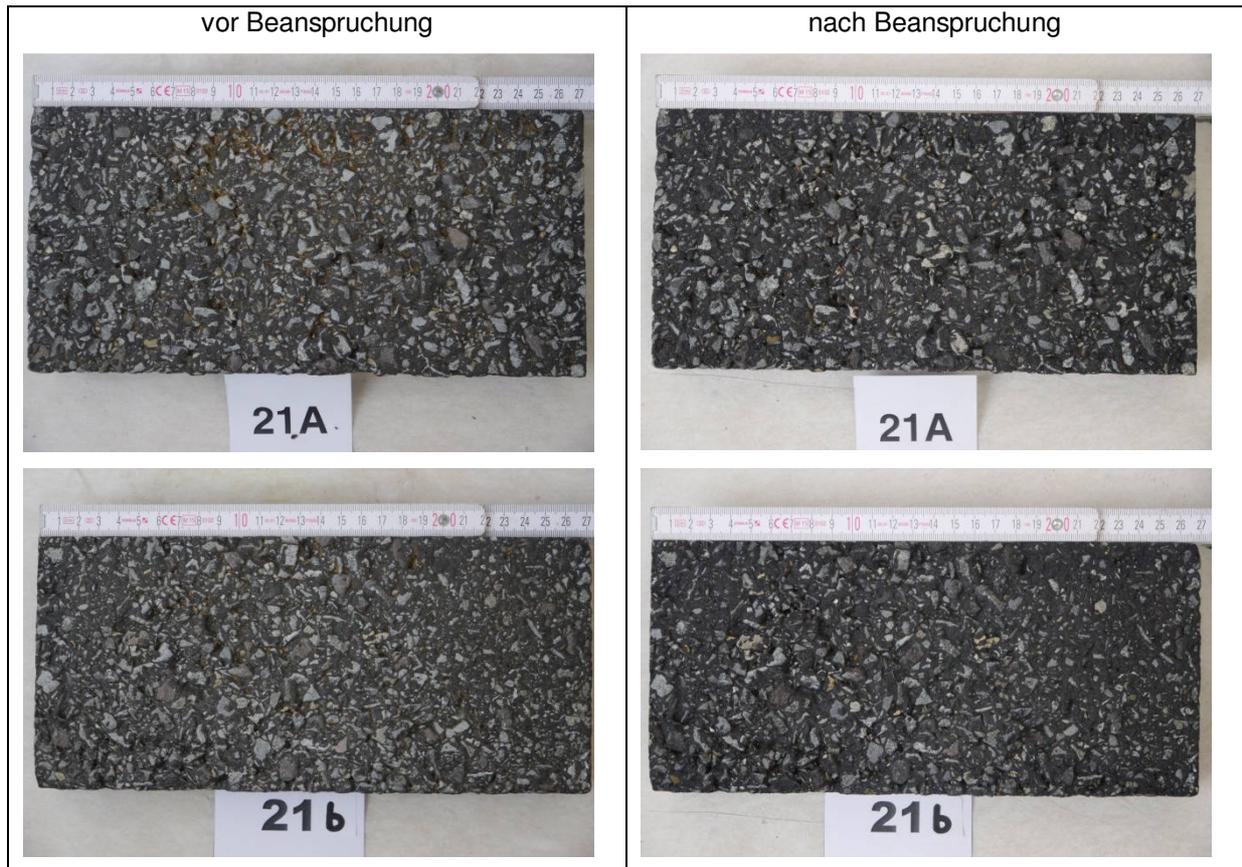


Abbildung 44: Oberfläche Splittmastixasphalt vor und nach Beanspruchung

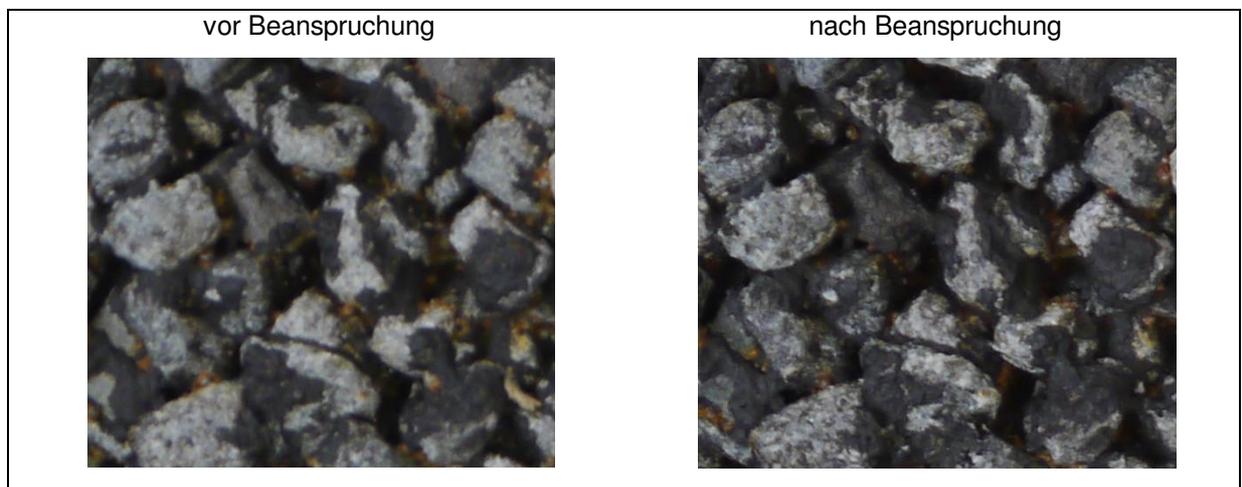


Abbildung 45: Oberfläche Offenporiger Asphalt vor und nach Beanspruchung (Detail Platte 22 A)

Basierend auf den vorliegenden Untersuchungsergebnissen wurden in den nachfolgenden Arbeitsschritten die Untersuchungen mit einem Betriebsdruck von 200 bar und der maximalen Absaugleistung fortgesetzt.

In der Tabelle 6 sind die Ergebnisse der bei einem Betriebsdruck von 200 bar gemessenen Kräfte in Newton dargestellt.

Tabelle 6: Ermittlung des Aufpralldruckes

Messung Nr.	Kraft [N]
1	26,167
2	27,169
3	26,846
Mittelwert	26,727

Wird der Wert von 26,727 N auf die Fläche der Austrittsöffnungen der beiden Flachstrahldüsen von  $0,636 \text{ mm}^2 \times 2 = 1,272 \text{ mm}^2$  bezogen, resultiert daraus ein rechnerisch maximal ermittelter Aufpralldruck von 210,1 bar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass messtechnisch die Ausbreitung des Wasserstrahls, bedingt durch den Sprühwinkel, die Rotationsbewegung sowie den Abstand zwischen Düsen und Oberfläche nicht erfasst und damit bei der Berechnung vernachlässigt wird und somit vermutlich der tatsächliche Aufpralldruck eher geringer ist.

### 3.5 Arbeitsschritt 6 „Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit und Vorbehandlung mit Tensid“

#### 3.5.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 6 wurden Versuche mit der Sonderprüfmaschine zur Simulation der Nassreinigung durchgeführt, vgl. Abbildung 46 und Abbildung 48. Ziel dieses Arbeitsschrittes war es zu ermitteln, welchen Einfluss die Reinigungsgeschwindigkeit sowie welchen Einfluss die Vorbehandlung mit einem Tensid auf den Reinigungserfolg hat.

Es wurden Asphalt-Probepplatten aus Splittmastixasphalt verwendet. Die Kontamination erfolgte mit Diesel sowie mit Motoröl. Auf das Messfeld wurde jeweils die doppelte Menge (Sicherheitszuschlag) der im Arbeitsschritt 2 ermittelten „Eingriffsschwelle“ aufgebracht.



Abbildung 46: Kontaminierte Oberfläche vor Nassreinigung (eingebaut in Sonderprüfmaschine)

In diesem Arbeitsschritt wurden vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung des Reinigungserfolgs bei Anwendung einer Vorbehandlung mit einem Tensid bzw. ohne Vorbehandlung und anschließender Reinigung mit Wasserhochdruck durchgeführt.

Das bei der Vorbehandlung eingesetzte Tensid wurde in einer Konzentration von 1 : 10 gemäß Herstellerangaben angemischt. Das Wasser-Tensid-Gemisch zur Vorbehandlung wurde dabei mit dem Ziel einer vollflächigen Benetzung in einer Menge von etwa  $230 \text{ ml/m}^2$  mit einer Sprühflasche aufgebracht (siehe Abbildung 47). Nach einer Einwirkzeit von 10 Minuten erfolgte die Nassreinigung.



Abbildung 47: Kontamination mit Diesel und Vorbehandlung mit Tensid



Abbildung 48: Oberfläche nach Nassreinigung (eingebaut in Sonderprüfmaschine)

Weiterhin wurde bei der Versuchsreihe die Reinigungsgeschwindigkeit in drei Stufen (0,75, 1,5 und 2,5 km/h) variiert.

Die Wassertemperatur (Systemtemperatur) bei der Hochdruckreinigung betrug 21 °C.

In Analogie zum Arbeitsschritt 3 wurde noch vergleichend der Einfluss auf den Reinigungserfolg beim Aufbringen der Kontamination auf eine trockene bzw. auf eine feuchte Oberfläche untersucht. Bei der Versuchsreihe, bei der die Kontamination auf die nasse Oberfläche aufzubringen war, erfolgten keine Untersuchungen mit einer Vorbehandlung mit Tensid, da Tenside auch in der Praxis nicht auf einer nassen Oberfläche eingesetzt werden sollen, vgl. z. B. auch Hinweis im Merkblatt DWA-M 715.

Zur Ermittlung des Reinigungserfolges wurden Messungen mit dem SRT-Pendel durchgeführt.

Der SRT-Wert wurde dafür zunächst an der trockenen Platte und ggf. an der feuchten Oberfläche bestimmt (Werte berücksichtigt beim mittlere Wert vgl. Kapitel 2.1) sowie nach Aufbringen der Kontamination (Menge: 2 x „Eingriffsschwelle“ aus Arbeitsschritt 2, Einwirkzeit: 20 Minuten) und unmittelbar nach der Reinigung, an der noch feuchte Oberfläche, ermittelt. Ergänzend wurde der SRT-Wert noch nach Flutung (30 ml/m<sup>2</sup>; Vorgehensweise siehe auch Arbeitsschritt 2 (Kapitel 3.2.1)) gemessen.

Alle Untersuchungen wurden doppel-belegt (an je zwei unterschiedlichen Platten) durchgeführt.

### 3.5.2 Untersuchungsergebnisse

In den Abbildung 49 und Abbildung 50 (Kontamination auf trockener Oberfläche) und Abbildung 51 (Kontamination auf feuchter Oberfläche) sind die Ergebnisse des Arbeitsschrittes 6 grafisch dargestellt. Die zugehörigen Zahlenwerte können Tabelle A 7 und Tabelle A 8 im Anhang entnommen werden.

Als Säulen sind in den Abbildungen die SRT-Werte nach Reinigung bzw. die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Platten dargestellt.

Weiterhin ist der mittlere SRT-Wert "trocken" der SMA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als graue Linie und der als Anforderung angenommene SRT-Wert von 55 als rote Linie eingetragen. Die mittleren SRT-Werte der mit Motoröl bzw. mit Diesel kontaminierten SMA-Platten auf trockener bzw. auf feuchter Oberfläche (Mit-

telwert der in allen Arbeitsschritten untersuchten Platten) sind als gelbe Linien dargestellt.

Bei der zweiten Messreihe, bei der die Kontamination auf feuchte Oberfläche aufgebracht wurde (siehe Abbildung 51), ist weiterhin der Mittelwert der SRT-Werte der feuchten Oberflächen der SMA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als blaue Linie eingetragen.

In der Abbildung 49 ist der Reinigungserfolg ohne Vorbehandlung (blaue Säulen) und mit Vorbehandlung mit Tensid (rote Säulen) zu entnehmen. Weiterhin sind die Ergebnisse, erzielt mit unterschiedlichen Reinigungsgeschwindigkeiten, gegenübergestellt. Dabei ist tendenziell mit zunehmender Geschwindigkeit der Reinigungserfolg (SRT-Wert) geringer. Unter den gewählten Randbedingungen im Labormaßstab wird dabei nach Reinigung mit Geschwindigkeiten von 0,75 und 1,5 km/h ein SRT-Wert größer 55 ermittelt. Bei einer Reinigungsgeschwindigkeit von 0,75 km/h sind die SRT-Werte der Messungen ohne Vorbehandlung tendenziell höher gegenüber den SRT-Werten der Messungen mit Vorbehandlung mit Tensid, bei den Geschwindigkeiten 1,5 und 2,5 km/h ist die Tendenz umgekehrt.

In der Abbildung 50 sind ergänzend noch die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Platten dargestellt. Nach Flutung steigt der SRT-Wert gegenüber dem Wert nach Reinigung noch an, was ggf. damit erklärt werden kann, dass im Labormaßstab aufgrund der geringen Plattengrößen der zu simulierende Nachblutungseffekt hier durch ein Abspülen von auf der Platte verbliebenem Betriebsmittel überlagert wird, was jedoch auch in der Praxis bedingt durch das Längs- und Quergefälle bei einem Regenereignis beobachtet werden kann.

Ergänzend können der Abbildung 51 noch die Ergebnisse der Untersuchungen mit einer Kontamination auf feuchter Oberfläche entnommen werden. Anhand der Ergebnisse für die SRT-Werte kann erkannt werden, dass Reinigungserfolge in ähnlicher Größenordnung wie bei den Versuchen mit einer Kontamination auf trockener Oberfläche erzielt werden können.

Bei der Messreihe mit einer Kontamination auf feuchter Oberfläche (Abbildung 51) fällt weiter auf, dass hier nach Reinigung höhere SRT-

Werte als der SRT-Wert "feucht" erzielt werden. Eine mögliche Ursache hierfür kann sein, dass es durch die Wasserhochdruckreinigung zu einem Nachschärfen im Bereich der Mikrostruktur der Gesteine kommt, die dann zu einer Erhöhung des Reibwertes (SRT-Wertes) führt. Es ist davon auszugehen, dass die Oberfläche

der "frischen" Gesteinskörnung gebrochen ist und somit genügend Angriffsflächen bietet weiter zu brechen bzw. geschärft zu werden. Das Nachschärfen der Mikrostruktur der Gesteine übt praktisch keinen Einfluss auf die Performanceeigenschaften des Asphalts aus.

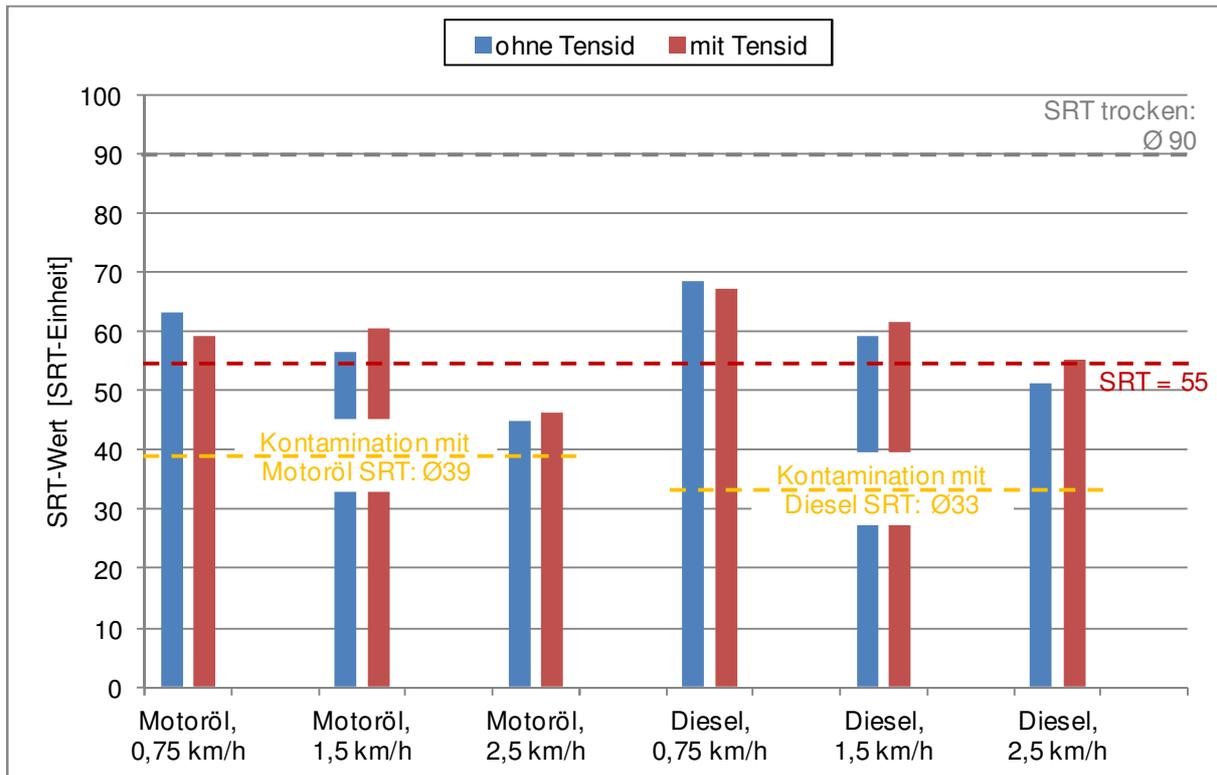


Abbildung 49: Nassreinigung ohne/ mit Vorbehandlung mit Tensid - SMA (trockene Oberfläche)

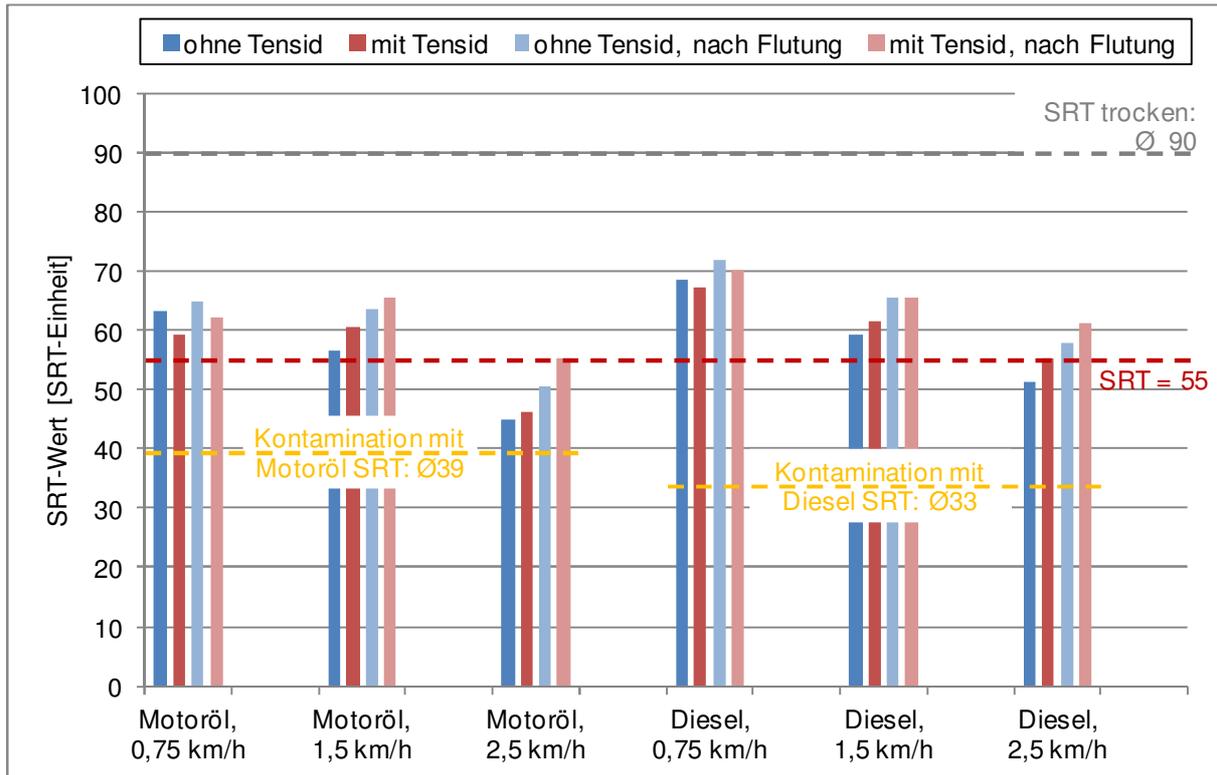


Abbildung 50: Nassreinigung ohne/ mit Vorbehandlung mit Tensid - SMA (trockene Oberfläche) (2)

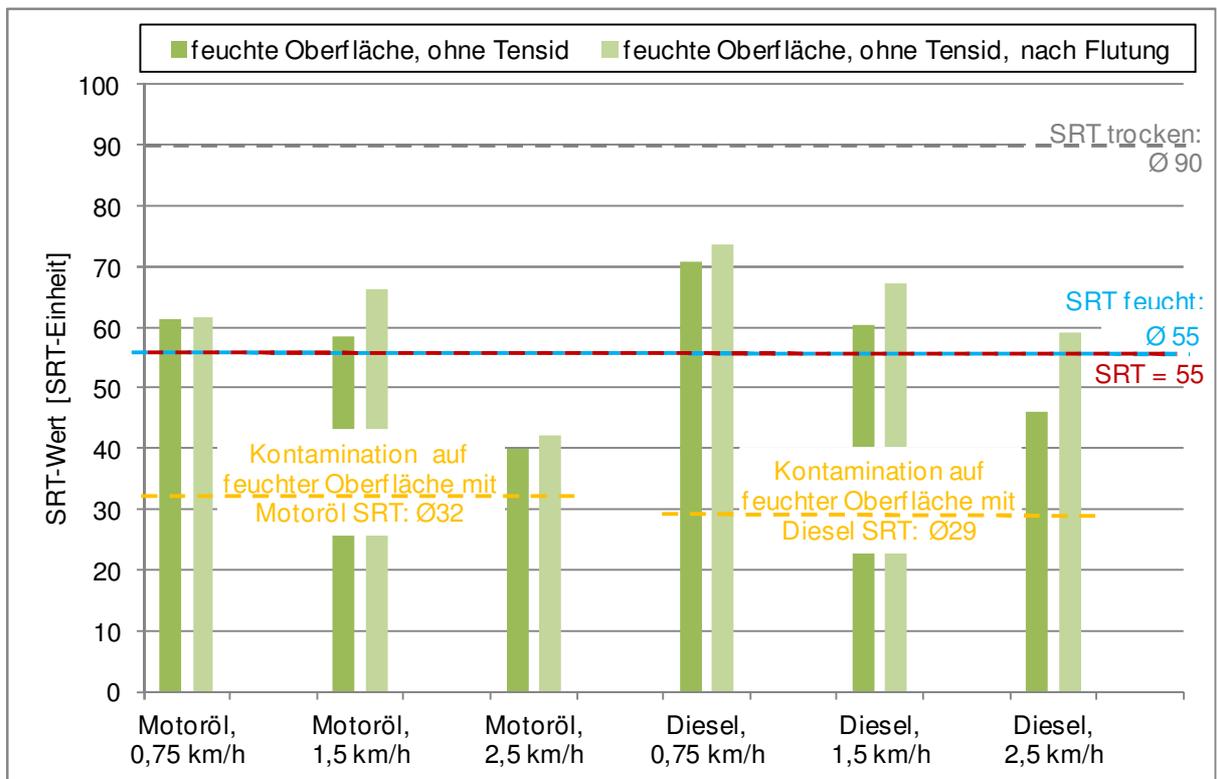


Abbildung 51: Nassreinigung ohne Vorbehandlung - SMA (feuchte Oberfläche)

Um abschließend beurteilen zu können, ob es zwischen den untersuchten Reinigungsge-

schwindigkeiten und/ oder zwischen den Ergebnissen ohne Vorbehandlung und mit Vor-

behandlung mit einem Tensid im statistischen Sinne Unterschiede bei den ermittelten SRT-Werten (nach Reinigung) gibt, wurden einfache Varianzanalysen mit nachgeschaltetem LSD-Test (Least Significant Difference) durchgeführt.

Die Auswertung wurde getrennt für folgende Messreihen durchgeführt:

- Motoröl auf trockener Oberfläche
- Diesel auf trockener Oberfläche
- Motoröl auf feuchter Oberfläche
- Diesel auf feuchter Oberfläche

In der Tabelle 7 sind die Ergebnisse der statistischen Auswertung zusammenfassend dargestellt.

Bei der Messreihe "Motoröl auf trockener Oberfläche" werden signifikante Unterschiede erkannt. Die Ergebnisse lassen sich in zwei homogene Gruppen unterteilen. Dabei gehören die SRT-Werte nach Reinigung bei einer Reinigungsgeschwindigkeit von 0,75 und 1,5 km/h sowie mit und ohne Vorbehandlung mit einem Tensid der selben Grundgesamtheit an. Mit signifikant geringeren SRT-Werten werden die Ergebnisse für eine Reinigungsgeschwindigkeit von 2,5 km/h mit und ohne Vorbehandlung mit Tensid einer anderen Grundgesamtheit zugeordnet.

Für die Messreihe "Diesel auf trockener Oberfläche" werden mithilfe der einfachen Varianzanalyse zwar signifikante Unterschiede von mindestens einem Mittelwert erkannt, jedoch kann anhand des LSD-Tests keine Einteilung in homogene Gruppen vorgenommen werden.

Bei der Messreihe "Motoröl auf feuchter Oberfläche" werden zwar mit der einfachen Varianzanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den SRT-Werten nach Reinigung mit den drei unterschiedlichen Reinigungsgeschwindigkeit erkannt. Anhand des "schärferen" LSD-Tests kann jedoch eine Unterscheidung in zwei homogene Gruppen vorgenommen werden, wobei die SRT-Werte nach Reinigung mit einer Reinigungsgeschwindigkeit von 0,75 und 1,5 km/h einer gemeinsamen homogenen Gruppe angehören. Die Variante "Reinigung mit 2,5 km/h" wird mit einem geringeren SRT-Wert einer anderen homogenen Gruppe zugeordnet.

Bei der Messreihe "Diesel auf feuchter Oberfläche" bilden die bei den drei Reinigungsgeschwindigkeiten erzielten Ergebnisse jeweils eigene homogene Gruppen, gehören also drei unterschiedlichen Grundgesamtheiten an.

Tabelle 7: Statistische Auswertung - Nassreinigung (Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit und Vorbehandlung mit Tensid)

		einfache Varianzanalyse	LSD-Test														
			0,75 km/h ohne Vorbehandlung	1,5 km/h ohne Vorbehandlung	2,5 km/h ohne Vorbehandlung	0,75 km/h Vorbehandlung mit Tensid	1,5 km/h Vorbehandlung mit Tensid	2,5 km/h Vorbehandlung mit Tensid									
			1. Gruppe	2. Gruppe	3. Gruppe	4. Gruppe	5. Gruppe	6. Gruppe									
SRT-Wert	Motoröl, trockene Oberfläche	signifikant	■	■	■	■											
	Diesel, trockene Oberfläche	signifikant	■	■	■	■	■	■									
	Motoröl, feuchte Oberfläche	n.signifikant		■													
	Diesel, feuchte Oberfläche	signifikant					■			■							

### 3.6 Arbeitsschritt 7 „Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit und -temperatur sowie Zugabe Tensid in Reinigungsflüssigkeit“

#### 3.6.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 7 wurden weitere Versuche mit der Sonderprüfmaschine zur Simulation der Nassreinigung durchgeführt.

Ziel dieses Arbeitsschrittes war es zu ermitteln, welchen Einfluss die Reinigungsgeschwindigkeit sowie die Temperatur der Reinigungsflüssigkeit auf den Reinigungserfolg haben. Weiterhin wurde der Einfluss der Zugabe von Tensid in die Reinigungsflüssigkeit untersucht.

Es wurden Asphalt-Probeplatten aus Splittmastixasphalt verwendet. Die Kontamination erfolgte mit Diesel sowie mit Motoröl. Auf das Messfeld wurde jeweils die doppelte Men-

ge (Sicherheitszuschlag) der im Arbeitsschritt 2 ermittelten „Eingriffsschwelle“ aufgebracht.

In diesem Arbeitsschritt wurden vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung des Reinigungserfolgs bei Anwendung eines Tensides in der Reinigungsflüssigkeit durchgeführt, die den Ergebnissen ohne Zusatz eines Tensides in der Reinigungsflüssigkeit gegenübergestellt wurden.

An dieser Stelle sei darauf hinzuweisen, dass im Arbeitsschritt 6 (zur Vorbehandlung) und in diesem Arbeitsschritt 7 (Zugabe in Reinigungsflüssigkeit) für den entsprechenden Anwendungsfall zwei unterschiedliche Tenside verwendet wurden. Die Konzentration des Tensids in der Reinigungsflüssigkeit lag für das hier verwendete Produkt gemäß Herstellerangabe bei 1 : 10.

Weiterhin wurde im Arbeitsschritt 7 die Reinigungsgeschwindigkeit in drei Stufen (0,75, 1,5 und 2,5 km/h) und die Wassertemperatur (Systemtemperatur) bei der Hochdruckreinigung mit 21 und 60 °C variiert.

In Analogie zu den vorangegangenen Arbeitsschritten 3 und 6 wurde noch vergleichend der Einfluss auf den Reinigungserfolg beim Aufbringen der Kontamination auf eine trockene und auf eine feuchte Oberfläche untersucht. Bei der Versuchsreihe, bei der die Kontamination auf die feuchte Oberfläche aufzubringen war, erfolgte jedoch keine Zugabe von Tensid in die Reinigungsflüssigkeit, da Tenside auch in der Praxis nicht auf einer nassen Oberfläche eingesetzt werden sollen, vgl. z. B. auch Hinweis im Merkblatt DWA-M 715.

Zur Ermittlung des Reinigungserfolgs wurden Messungen mit dem SRT-Pendel durchgeführt.

Der SRT-Wert wurde dafür zunächst an der trockenen Platte und ggf. an der feuchten Oberfläche bestimmt (Werte berücksichtigt beim mittleren Wert vgl. Kapitel 2.1) sowie nach Aufbringen der Kontamination (Menge: 2 x „Eingriffsschwelle“ aus Arbeitsschritt 2, Einwirkzeit: 20 Minuten) sowie unmittelbar nach der Reinigung ermittelt. Ergänzend wurde der SRT-Wert noch nach Flutung (30 ml/m<sup>2</sup>; Vorgehensweise siehe auch Arbeitsschritt 2 (Kapitel 3.2.1)) ermittelt.

Alle Untersuchungen wurden doppel-belegt (an je zwei unterschiedlichen Platten) durchgeführt.

### 3.6.2 Untersuchungsergebnisse

In Abbildung 52 und Abbildung 53 sowie Abbildung 55 und Abbildung 56 sind die Ergebnisse des Arbeitsschrittes 7 zusammengestellt. Die zugehörigen Zahlenwerte können dem Anhang (Tabelle A 9 und Tabelle A 10) entnommen werden.

Die Darstellung der Abbildungen wurde in analoger Weise zu Arbeitsschritt 6 gewählt: Als Säulen sind in den Abbildungen die SRT-Werte nach Reinigung bzw. die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Platten dargestellt. Weiterhin ist der mittlere SRT-Wert "trocken" der SMA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als graue Linie und der als Anforderung angenommene SRT-Wert von 55 als rote Linie eingetragen. Die mittleren SRT-Werte der mit Motoröl bzw. mit Diesel kontaminierten SMA-Platten auf trockener bzw. auf feuchter Oberfläche (Mittelwert der in den Arbeitsschritten 3, 6 und 7 untersuchten Platten) sind als gelbe Linien dargestellt. Bei der zweiten Messreihe, bei der die Kontamination auf feuchte Oberfläche aufgebracht wurde, ist weiterhin der Mittelwert der SRT-Werte der feuchten Oberflächen der SMA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als blaue Linie eingetragen.

In der Abbildung 52 sind die Ergebnisse, ermittelt bei einer Temperatur der Reinigungsflüssigkeit von 21 und 60 °C (ohne Tensid-Zugabe), gegenübergestellt. Es ist zu konstatieren, dass eine Erhöhung der Reinigungstemperatur, über alle Geschwindigkeiten betrachten, zu praktisch keiner Steigerung des Reinigungserfolgs (SRT-Wertes) führt, weder bei einer Kontamination mit Diesel noch mit Motoröl. Mit zunehmender Reinigungsgeschwindigkeit werden bei Kontamination beider Betriebsmittel sogar nach einer Reinigung mit 60 °C geringere SRT-Werte gegenüber einer Reinigung mit 21 °C ermittelt.

In der Abbildung 53 sind ergänzend noch die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Platten dargestellt. Wie bereits bei den Ergebnissen des Arbeitsschrittes 6 (Reinigung mit 21 °C) festgehalten, steigt nach Flutung auch bei einer Temperatur der Reinigungsflüssigkeit

von 60 °C der SRT-Wert i. d. R. gegenüber dem Wert nach Reinigung noch an. Auch an dieser Stellen sei nochmals darauf hinzuweisen, dass dies ggf. damit erklärt werden kann, dass im Labormaßstab, aufgrund der geringen

Plattengrößen, der zu simulierende Nachblutungseffekt hier durch ein Abspülen von auf der Platte verbliebenem Betriebsmittel überlagert wird.

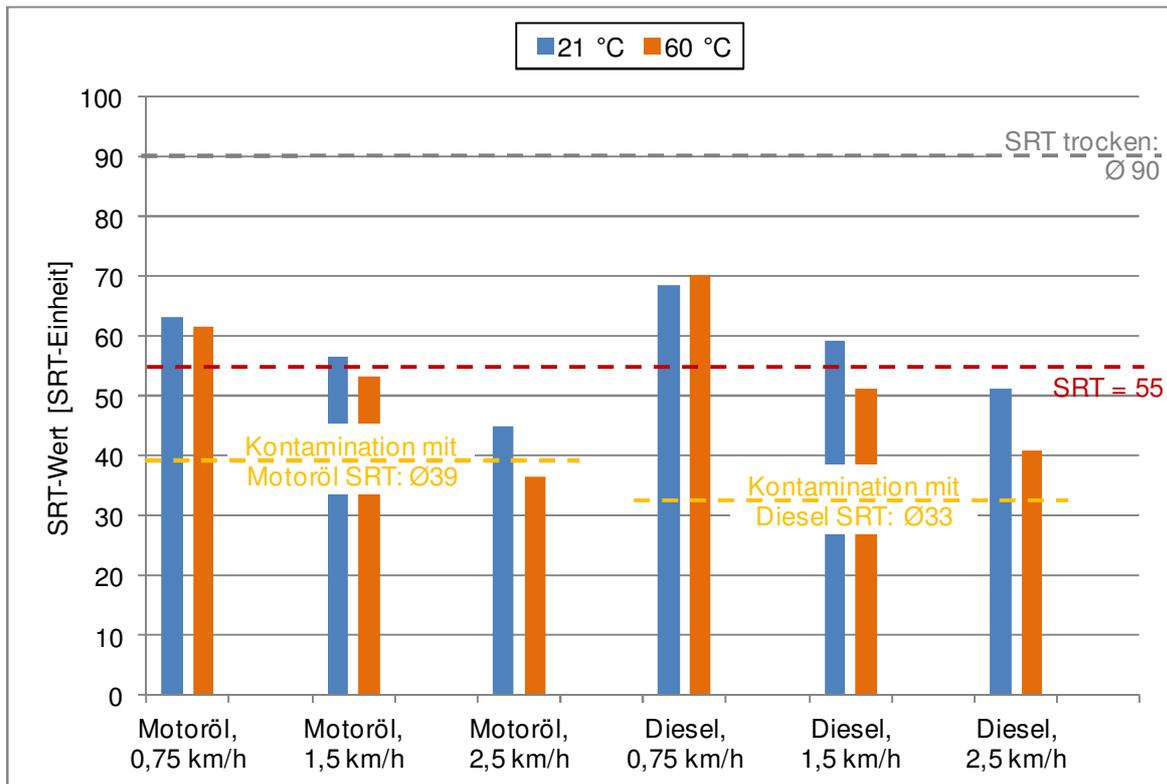


Abbildung 52: Nassreinigung Vergleich der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21 bzw. 60 °C) - SMA

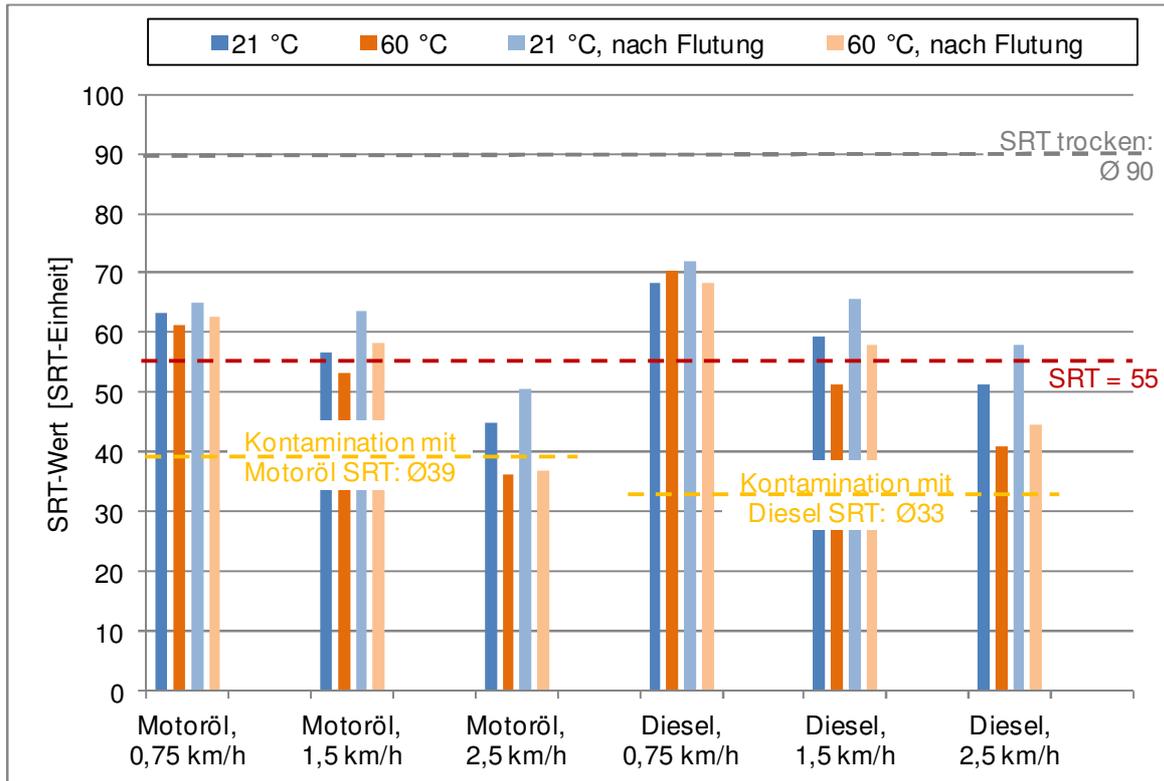


Abbildung 53: Nassreinigung Vergleich der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21 bzw. 60 °C) - SMA (2)

In der Abbildung 55 sind noch ergänzend die Ergebnisse der Untersuchungen mit Tensid in der Reinigungsflüssigkeit dargestellt. Nach Reinigung (rote bzw. violette Säulen) werden insbesondere bei den Geschwindigkeiten 0,75 und 1,5 km/h deutlich geringere SRT-Werte gegenüber den Versuchen ohne Tensid erkannt.

Unter Zugabe eines Tensides in die Reinigungsflüssigkeit ist weiterhin die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Reinigungserfolgs nicht mehr so ausgeprägt.

Es ist weiter anzumerken, dass nach Reinigung mit Tensid in der Reinigungsflüssigkeit auf den Oberflächen eine Schaumbildung (siehe Abbildung 54) zu beobachten ist. Der Schaum, der auf Rückstände des Tensids

zurückzuführen ist, wirkt sich negativ auf den SRT-Wert aus. Nach Flutung der gereinigten Platten nehmen die SRT-Werte zu und erreichen teilweise ein ähnliches Niveau wie die Ergebnisse ohne Tensid-Zugabe.



Abbildung 54: Oberfläche nach Reinigung mit Tensid in Reinigungsflüssigkeit

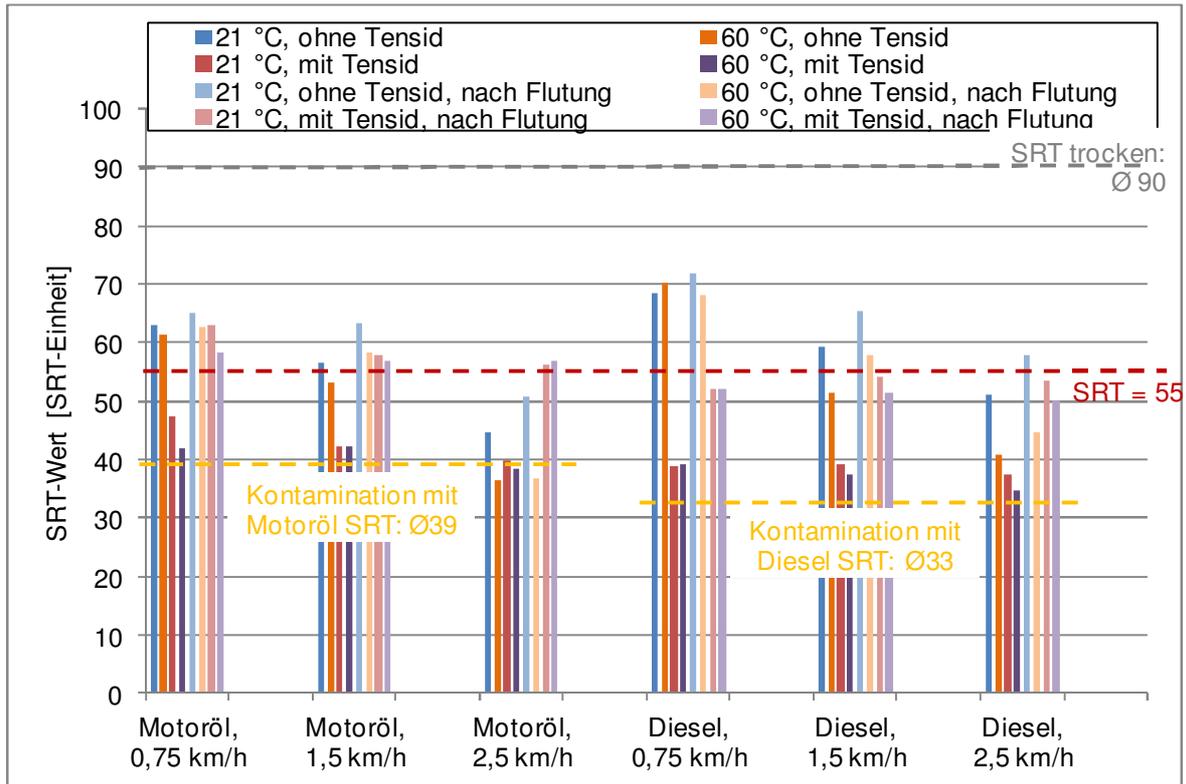


Abbildung 55: Nassreinigung - ohne/ mit Tensid in Reinigungsflüssigkeit - SMA (trockene Oberfläche)

Abbildung 56 zeigt noch ergänzend die Ergebnisse der Untersuchungen mit einer Kontamination auf feuchter Oberfläche bei den Reinigungstemperaturen 21 und 60 °C (ohne Tensid). Auch bei 60 °C liegen die SRT-Werte wie bei 21 °C (vgl. auch Arbeitsschritt 6) insgesamt auf ähnlichem Niveau wie bei den Untersu-

chungen mit einer Kontamination auf trockener Oberfläche. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse fällt jedoch auf, dass hier, insbesondere beim Motoröl, bei einer Temperatur von 60 °C tendenziell höhere Reinigungserfolge (SRT-Werte) zu verzeichnen sind.

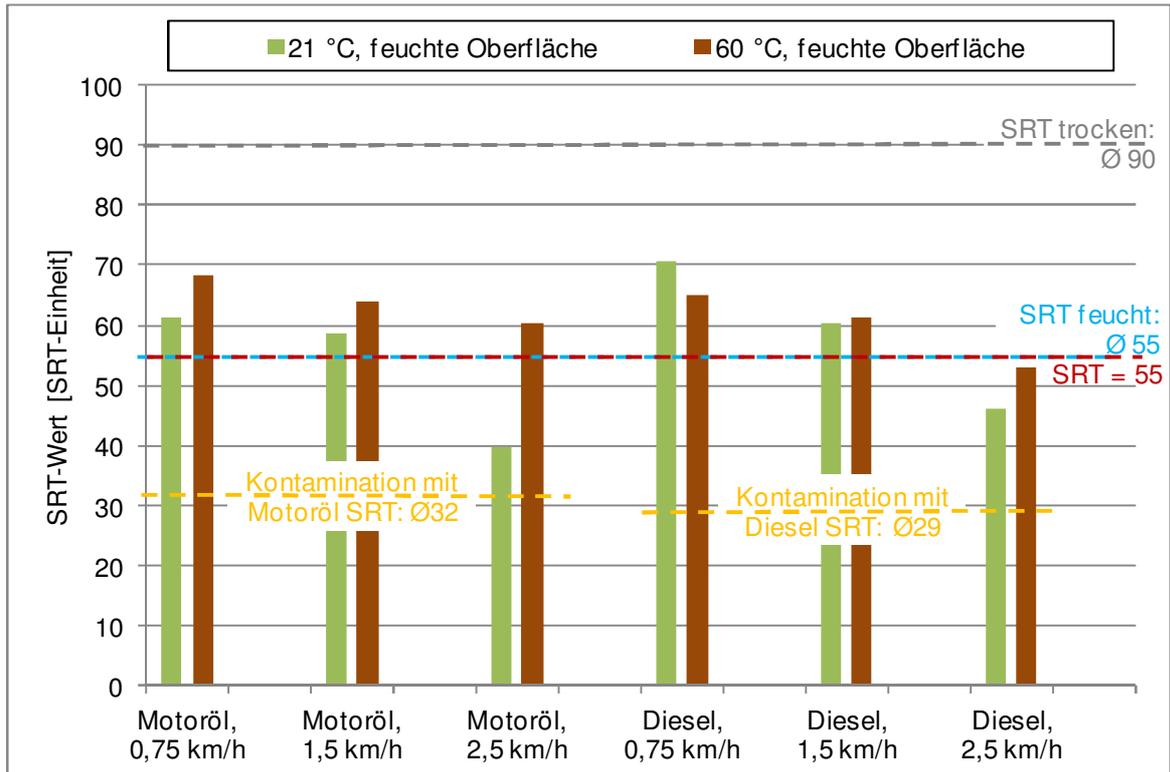


Abbildung 56: Nassreinigung Vergleich der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21 bzw. 60 °C) - SMA (feuchte Oberfläche)

Zur Beurteilung, ob aus den untersuchten Reinigungsgeschwindigkeiten, Temperaturen der Reinigungsflüssigkeit sowie durch die Zugabe eines Tensids in der Reinigungsflüssigkeit im statistischen Sinne Unterschiede zwischen den ermittelten SRT-Werten nach Reinigung resultieren, wurden einfache Varianzanalysen und LSD-Tests (Least Significant Difference) durchgeführt.

Die Auswertung wurde getrennt für folgende Messreihen durchgeführt:

- Motoröl auf trockener Oberfläche
- Diesel auf trockener Oberfläche
- Motoröl auf feuchter Oberfläche
- Diesel auf feuchter Oberfläche

In der Tabelle 8 sind die Ergebnisse der statischen Auswertung zusammenfassend dargestellt.

Bei allen Messreihen können signifikante Unterschiede erkannt und eine Zuordnung aufgrund der ermittelten SRT-Werte in unterschiedliche homogene Gruppen (Grundgesamtheiten) nach dem LSD-Test vorgenommen werden.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass bei allen vier Messreihen immer die SRT-Werte, ermittelt bei der Reinigungsgeschwindigkeit von 0,75 km/h und Temperaturen der Reinigungsflüssigkeit von 21 und 60 °C sowie bei der Reinigungsgeschwindigkeit von 1,5 km/h und einer Temperatur der Reinigungsflüssigkeit von 21 °C, der jeweiligen ersten homogenen Gruppe mit den höchsten SRT-Werten angehören.

Tabelle 8: Statistische Auswertung - Nassreinigung (Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit, Temperatur der Reinigungsflüssigkeit, Zugabe von Tensid in Reinigungsflüssigkeit)

		LSD-Test																							
		0,75 km/h, 21 °C				0,75 km/h, 21 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				1,5 km/h, 21 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				2,5 km/h, 21 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit											
		1,5 km/h, 21 °C				1,5 km/h, 21 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				2,5 km/h, 21 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				0,75 km/h, 60 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				1,5 km/h, 60 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				2,5 km/h, 60 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit			
		2,5 km/h, 21 °C				2,5 km/h, 21 °C, Tensid in Reinigungsflüssigkeit				60				60				60							
		0,75 km/h, 60 °C				60				60				60				60							
		1,5 km/h, 60 °C				60				60				60				60							
		2,5 km/h, 60 °C				60				60				60				60							
		1. Gruppe				2. Gruppe				3. Gruppe															
SRT-Wert	Motoröl, trockene Oberfläche	signifikant	60	60					60	60	60	60													
	Diesel, trockene Oberfläche	signifikant	60						60							60	60				60	60			
	Motoröl, feuchte Oberfläche	signifikant	60	60	60																				
	Diesel, feuchte Oberfläche	signifikant	60	60	60	60																			

### 3.7 Arbeitsschritt 8 „Ermittlung von Rest-Betriebsmittelmengen“

#### 3.7.1 Ziel und Vorgehensweise

Ziel des Arbeitsschrittes 8 war es mögliche Rest-Betriebsmittelmengen (Motoröl, Diesel) nach der Trocken- bzw. Nassreinigung zu bestimmen. Dafür wurden mittels Gaschromatographie (siehe auch Kapitel 2.5.3) mobile Kohlenwasserstoffe ermittelt.

Für die Trockenreinigung wurde sowohl das mittel- als auch das grobkörnige Ölbindemittel eingesetzt. Die Nassreinigung wurde mit einer Geschwindigkeit von 0,75 km/h, einer Temperatur von 21 °C und ohne Zugabe von Tensid in der Reinigungsflüssigkeit sowie ohne Vorbehandlung durchgeführt, da bei den genannten Parametern in den vorherigen Arbeitsschritten der höchste Reinigungserfolg (SRT-Werte) nachgewiesen werden konnte.

Zunächst wurde für die Ermittlung der Rest-Betriebsmittelmenge die exakt aufgebrachte Betriebsmittelmenge bestimmt (angestrebt wurde die doppelte „Eingriffsschwelle“ aus Arbeitsschritt 2) und anschließend nach einer Einwirkzeit von 20 Minuten die Platte bzw. das Plattenstück gereinigt.

Die Kontamination wurde sowohl auf trockene als auch auf feuchte Oberflächen aufgebracht.

Bei der Trockenreinigung wurden Plattenstücke mit einer Oberfläche von ca. 72,5 cm<sup>2</sup> verwendet (Vorgehensweise siehe auch Arbeitsschritt 3). Bei der Nassreinigung wurden aufgrund der Reinigungsvorrichtung in der

Sonderprüfmaschine etwas größere Plattenstücke (Fläche 100 cm<sup>2</sup>) verwendet.



Abbildung 57: Erfassung der aufgetragenen Betriebsmittelmenge

Da auch das Bitumen im Asphalt Kohlenwasserstoffe enthält, wurde jeweils neben dem mit Betriebsmittel (Motoröl oder Diesel) kontaminierten und anschließend gereinigten Plattenstück jeweils eine Referenzprobe der selben Platte mit untersucht.

Als Rest-Betriebsmittelmenge ist der Kohlenwasserstoffgehalt der kontaminierten und anschließend gereinigten Platte abzüglich des Kohlenwasserstoffgehaltes der Referenzprobe (Anteil aus Asphalt) angegeben.

Für die Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass für die Proben mit einer Kontamination mit Motoröl eine höhere Messunsicherheit gegenüber den Ergebnissen der Proben mit Diesel besteht. Begründen lässt sich das damit, dass sich die Kohlenwasserstoffsignale des verwendeten Motoröls teilweise mit denen des Asphalt überlagern. Bei dem früher siedenden Diesel tritt keine Überlappung der Signale auf (siehe auch Abbildung 17 und Abbildung 18 in Kapitel 2.5.3).

Die Untersuchungen wurden an SMA-Platten durchgeführt.

### 3.7.2 Untersuchungsergebnisse

Für die Untersuchungen an SMA-Platten sind die Absolutwerte der Mengen des aufgetragenen Betriebsmittels sowie die Rest-Betriebsmittelmengen dem Anhang (Tabelle A 11 und Tabelle A 12 (Trockenreinigung) sowie Tabelle A 13 (Nassreinigung)) zu entnehmen. Weiterhin sind die zugehörigen Chromatogramme, in denen die Ausgangssignale jeweils der gereinigten Probe sowie der Referenzprobe dargestellt sind, im Anhang enthalten (Abbildung A 1 bis Abbildung A 10). In den Chromatogrammen ist das Signal der jeweiligen Probe (mit Rest-Betriebsmitteln) in Rot oder Grün dargestellt und in Blau das Signal der zugehörigen Referenzprobe.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Rest-Betriebsmittelmengen bei den hier angewandten unterschiedlichen Reinigungsverfahren (Trockenreinigung mit mittel- bzw. mit grobkör-

nigem Ölbindemittel, Nassreinigung mit 21 °C, 0,75 km/h und ohne Tensid) wurden die Absolutkonzentrationen in prozentuale Restmengen umgerechnet.

Die prozentualen Rest-Betriebsmittelmengen sind für die jeweils drei untersuchten Reinigungsverfahren bzw. -varianten in der Abbildung 58 (Kontamination auf trockener Oberfläche) und in der Abbildung 59 (Kontamination auf feuchter Oberfläche) zu entnehmen.

Sowohl bei einer Kontamination mit Motoröl als auch bei einer Kontamination mit Diesel ist die Rest-Betriebsmittelmenge nach der Nassreinigung geringer als nach Trockenreinigung. Eine eindeutige Reihung der Ergebnisse der Trockenreinigung mit mittel- bzw. mit grobkörnigem Ölbindemittel ist nicht auszumachen. Tendenziell sind die Rest-Betriebsmittelmengen bei Kontamination einer feuchten Oberfläche größer als bei Kontamination einer trockenen Oberfläche.

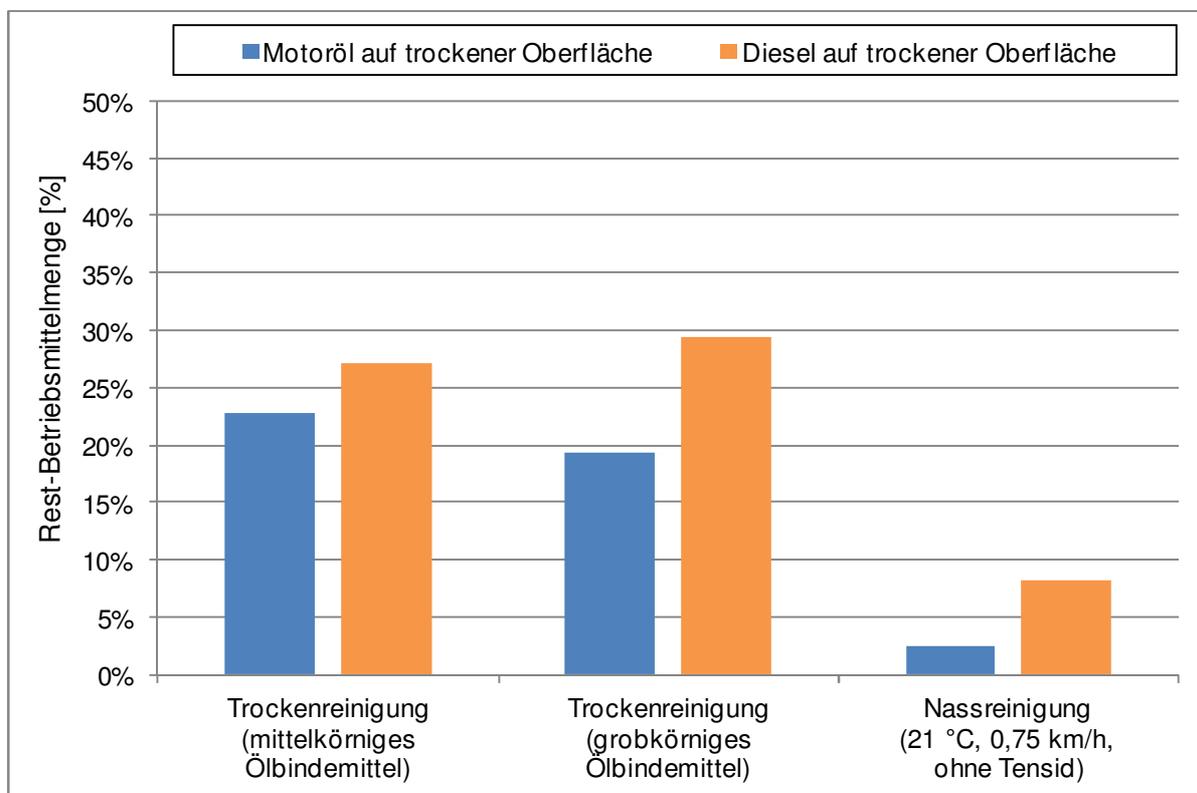


Abbildung 58: Rest-Betriebsmittelmenge - SMA (Kontamination auf trockener Oberfläche)

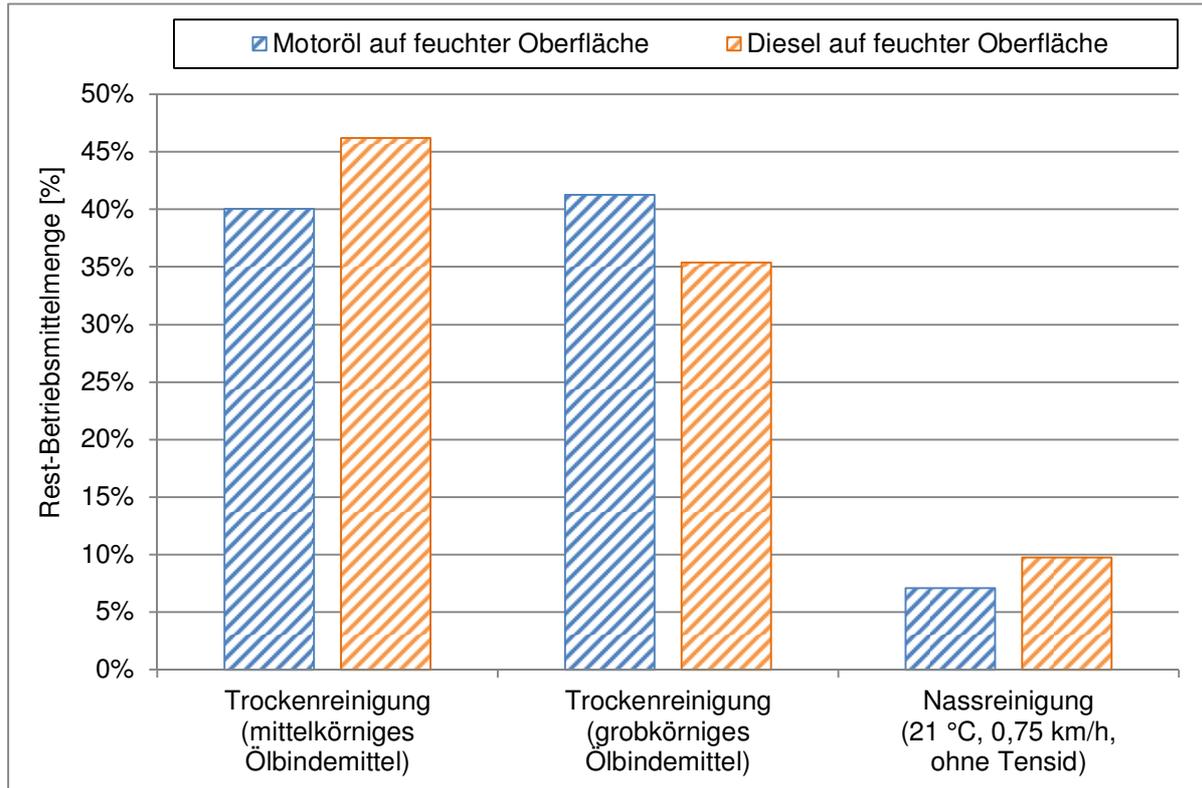


Abbildung 59: Rest-Betriebsmittelmenge - SMA (Kontamination auf feuchter Oberfläche)

### 3.8 Arbeitsschritt 8a „Untersuchungen am Offenporigem Asphalt“

#### 3.8.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 8a wurde an Platten aus Offenporigem Asphalt (PA) die Rest-Betriebsmittelmenge nach Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) in Analogie zum Arbeitsschritt 8 bestimmt und ergänzend auch an PA-Platten der Reinigungserfolg mittels SRT-Messungen ermittelt, wobei die SRT-Messungen analog zu den Arbeitsschritten 6 bzw. 7 durchgeführt wurden.

#### 3.8.2 Untersuchungsergebnisse

Für die untersuchten PA-Platten sind die Ergebnisse zum Reinigungserfolg (SRT-Werte) Abbildung 60 (Kontamination auf trockener Oberfläche) und Abbildung 61 (Kontamination auf feuchter Oberfläche) zu entnehmen.

In den Abbildungen sind als Säulen die SRT-Werte nach Reinigung sowie die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Platten dargestellt.

Weiterhin ist der mittlere SRT-Wert "trocken" der PA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als graue Linie und der als Anforderung angenommene SRT-Wert von 55 als rote Linie eingetragen. Die mittleren SRT-Werte der mit Motoröl bzw. mit Diesel kontaminierten SMA-Platten auf trockener bzw. auf feuchter Oberfläche (Mittelwert der in diesem Arbeitsschritt 8 und dem Arbeitsschritt 10 untersuchten Platten) sind als gelbe Linien dargestellt.

Bei der zweiten Messreihe, bei der die Kontamination auf eine feuchte Oberfläche gebracht wurde (siehe Abbildung 61), ist weiterhin der Mittelwert der SRT-Werte der feuchten Oberflächen der PA-Platten (vgl. Kapitel 2.1) als blaue Linie eingetragen.

Die vollständig ermittelten Zahlenwerte (Einzelwerte) können der Tabelle A 14 im Anhang entnommen werden.

Bei den gewählten Randbedingungen wurden, mit Ausnahme bei einer Kontamination mit Motoröl auf trockener Oberfläche (vgl. Abbildung 60), SRT-Werte größer 55 erreicht. Nach anschließender Flutung nehmen die SRT-Werte geringfügig zu, was auch hier ggf. mit

einem Abspülen an den Plattenrändern aufgrund der geringen Plattengrößen im Labormaßstab bzw. Ausspülen (Durchfluss) aufgrund des großen Hohlraumgehaltes des offenenporigen Asphalttes erklärt werden kann und somit Nachblutungseffekte hier eher nicht relevant sind.

Für die Messreihen mit einer Kontamination auf feuchter Oberfläche ist ein in der Größenordnung ähnlicher Reinigungserfolg (SRT-Werte) wie bei den Versuchsergebnissen mit einer Kontamination auf trockener Oberfläche zu konstatieren (siehe Abbildung 61).

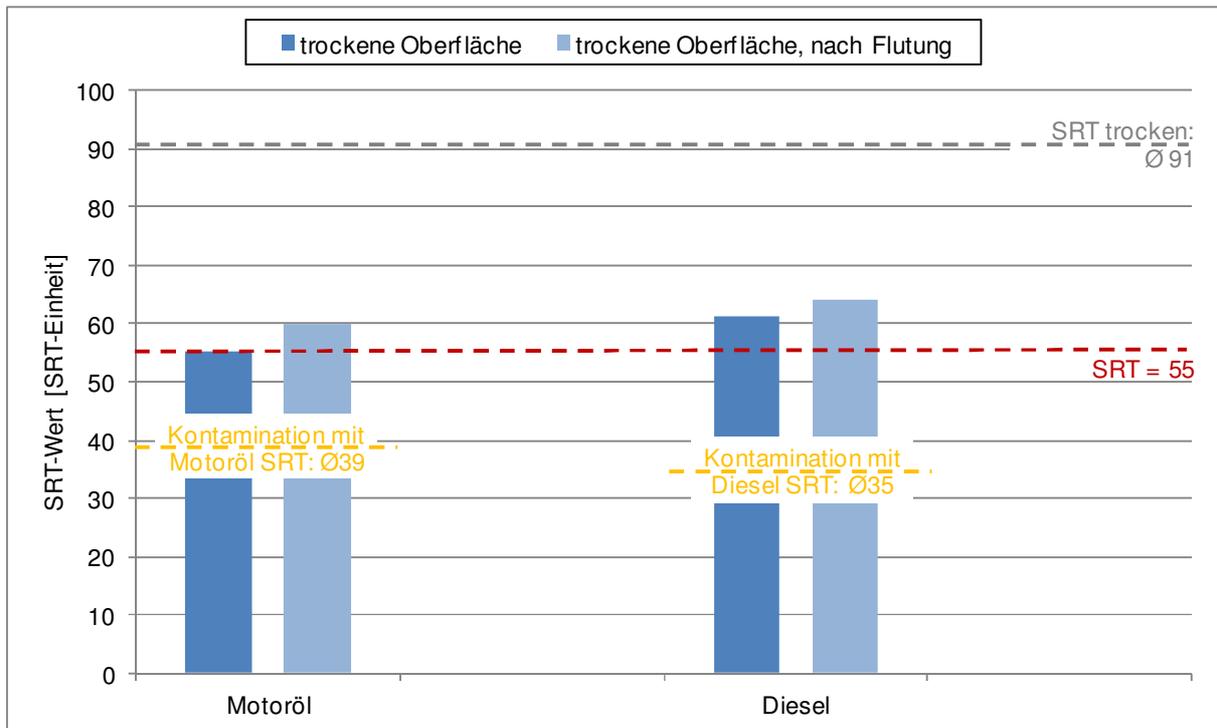


Abbildung 60: Optimierte Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid)- PA (trockene Oberfläche)

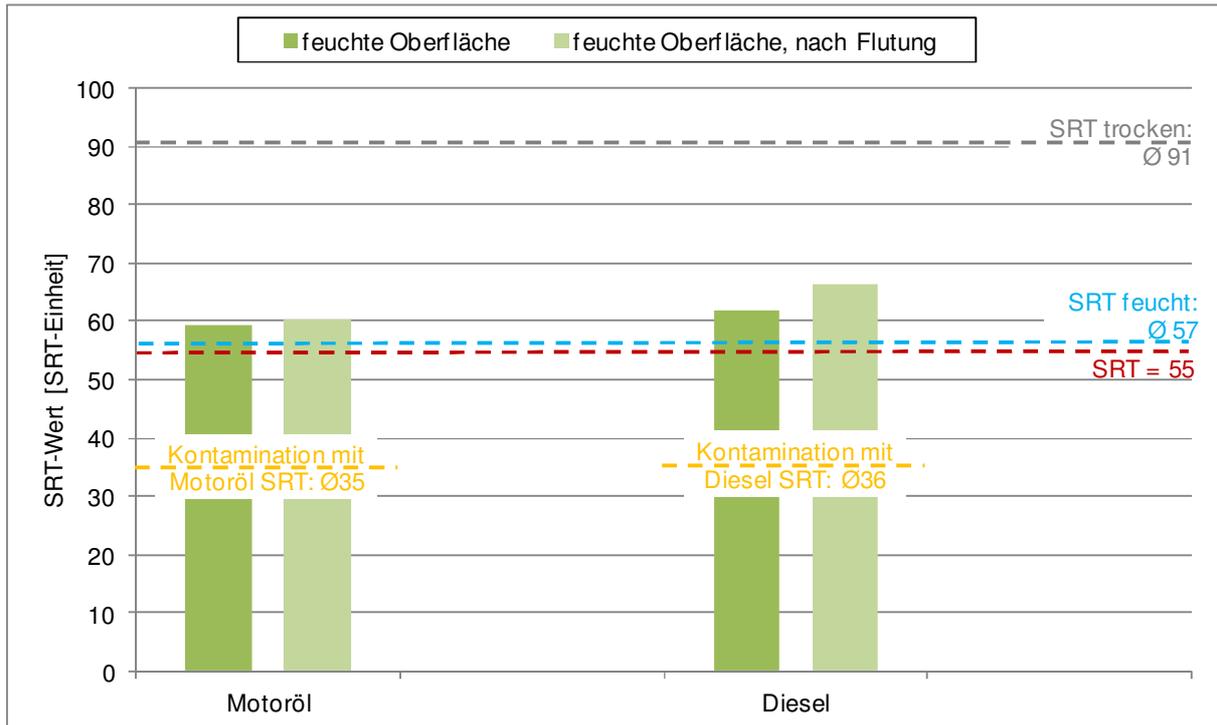


Abbildung 61: Optimierte Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid)- PA (feuchte Oberfläche)

Die mittels Gaschromatographie bestimmten prozentualen Rest-Betriebsmittelmengen sind in der Abbildung 62 als Säulendiagramm zusammengestellt.

Die zugehörigen aufgetragenen Betriebsmittelmengen sowie ermittelten Rest-Betriebsmittelmengen (Absolutwerte) können der Tabelle A 15 im Anhang entnommen werden. Im Anhang (Abbildung A 11 und Abbildung A 12) sind weiterhin die Chromatogramme mit den Ausgangssignalen jeweils der gereinigten Probe sowie der Referenzprobe enthalten.

Bei Kontamination mit Diesel auf trockener und feuchter Oberfläche werden ähnliche Rest-Betriebsmittelmengen bestimmt.

Bei der Kontamination mit Motoröl auf trockener und feuchter Oberfläche sind deutliche Unterschiede zu konstatieren, wobei diese Ergebnisse nur als eingeschränkt aussagekräftig zu bewerten sind, da die Peakmuster vom Motoröl und dem hier eingesetzten Bitumen im Offenporigen Asphalt sehr ähnlich sind und somit eine Differenzierung in Kohlenwasserstoffe aus Motoröl und Asphalt praktisch nicht möglich ist.

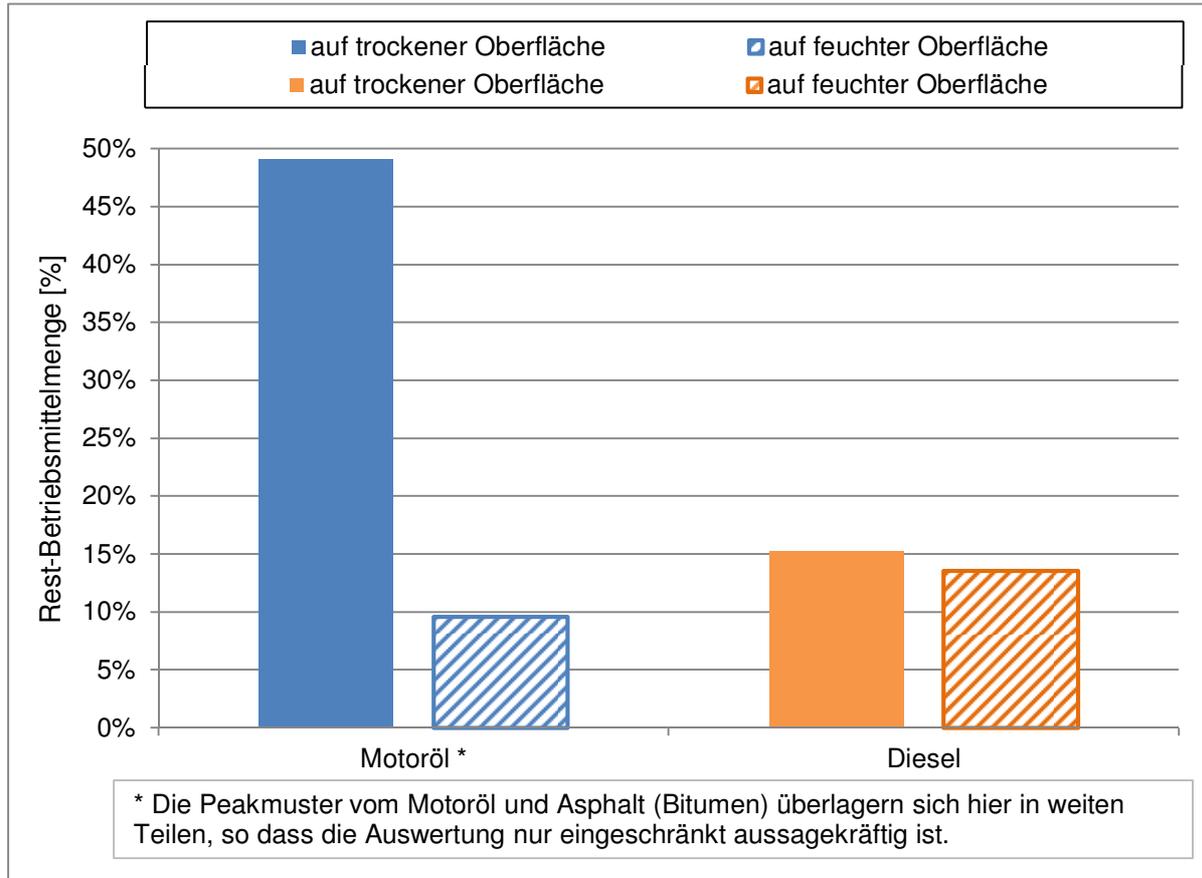


Abbildung 62: Rest-Betriebsmittelmenge - PA (Kontamination auf trockener und feuchter Oberfläche)

### 3.9 Arbeitsschritt 9 „Untersuchungen an Alt-Asphalten“

#### 3.9.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 9 werden Altasphalte (PA, SMA, AC, DSK) in Form von Bohrkernen untersucht (siehe auch Kapitel 2.1).

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes soll geprüft werden, ob die in den vorangegangenen Arbeitsschritten gewonnenen Erkenntnisse an im Laboratorium hergestellten Platten sich auch auf Altasphalte übertragen lassen oder sich diese anders verhalten.

Dafür wurden im Arbeitsschritt 9 Zugversuche an Altasphalten, Asphaltbeton (AC-Alt) und am Splittmastixasphalt (SMA-Alt), in Analogie zum Arbeitsschritt 1 (Vorgehensweise siehe Kapitel 3.1.1) durchgeführt.

Weiterhin wurden die Oberflächen der mit Diesel und Motoröl kontaminierten Asphaltprismen (AC-Alt, SMA-Alt sowie zusätzlich DSK-Alt) nach drei Tagen Einwirkzeit visuell begutach-

tet. Am DSK-Alt konnten keine Zugversuche durchgeführt werden, da die Dicke des DSK-Belags für die Untersuchungen nicht ausreichend war.

Im Arbeitsschritt 9 wurden außerdem Untersuchungen zur Ermittlung des Reinigungserfolges mithilfe von Messungen mit dem SRT-Pendel durchgeführt.

Als Reinigungsverfahren wurde die Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel (am DSK-Alt, AC-Alt und SMA-Alt) sowie die Nassreinigung mit 0,75 km/h, 21 °C und ohne Zugabe von Tensid in die Reinigungsflüssigkeit sowie ohne Vorbehandlung (am DSK-Alt, AC-Alt, SMA-Alt und PA-Alt) angewandt. Bei den genannten Parametern handelt es sich um diejenigen, mit denen an im Laboratorium hergestellten SMA-Platten, die höchsten Reinigungserfolge (SRT-Werte) nachgewiesen werden konnten.

Die Bohrkern (trockene Oberfläche) wurden dafür mit Motoröl und Diesel sowie für die Nassreinigung auch mit Hydrauliköl kontami-

niert. Als aufzubringende Mengen wurden hilfsweise die im Arbeitsschritt 2 ermittelten „Eingriffsschwellen“ an Platten herangezogen. So wurden für die Altasphalte SMA-Alt, AC-Alt und DSK-Alt die an den SMA-Platten ermittelte doppelte „Eingriffsschwelle“ gewählt und für den Altasphalt PA-Alt die an den PA-Platten ermittelte doppelte „Eingriffsschwelle“. Für das Hydrauliköl wurde die gleiche Menge wie Motoröl aufgebracht. Die Einwirkzeit betrug in Analogie zu den Untersuchungen an Platten 20 Minuten.

SRT-Messungen wurden an der trockenen Oberfläche (vor Kontamination), nach der Kontamination und einer Einwirkzeit von 20 Minuten, nach anschließender Reinigung sowie abschließend nach Flutung (30 l/m<sup>2</sup>) durchgeführt.

Alle Messungen wurden doppelt belegt an zwei unterschiedlichen Bohrkernen durchgeführt.

Ergänzend wurde noch an jeweils zwei weiteren Bohrkernen der SRT-Wert "feucht" gemäß Kapitel 2.5.2 bestimmt.

Weiterhin wurden am SMA-Altasphalt noch die Rest-Betriebsmittelmengen (Motoröl und Diesel) nach Trocken- sowie Nassreinigung gemäß dem Arbeitsschritt 8 mittels Gaschromatographie bestimmt.

### 3.9.2 Untersuchungsergebnisse

In Abbildung 63 bis Abbildung 68 sind beispielhaft mit Diesel bzw. mit Motoröl kontaminierte Probekörper, die aus Bohrkernen der Altasphalte (AC-Alt, SMA-Alt, DSK-Alt) heraus gesägt wurden, jeweils unmittelbar nach Aufbringen des Betriebsmittels und nach einer Einwirkzeit von drei Tagen abgebildet.



Abbildung 63: AC-Alt mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 64: AC-Alt mit Diesel- nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 65: SMA-Alt mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 66: SMA-Alt mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 67: DSK-Alt mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)



Abbildung 68: DSK-Alt mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten)

In der Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Zugversuche als Zahlenwerte dargestellt. Als Kenngrößen sind die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung bei einer Prüftemperatur von 5 °C angegeben. Die mittleren Zugfestigkeitswerte und Bruchdehnungen sind weiterhin in Abbildung 69 bzw. Abbildung 70 grafisch dargestellt. Gegenübergestellt sind für die beiden untersuchten Altasphalte (AC-Alt und SMA-Alt) jeweils der Wert für die Variante ohne Kontamination (Referenzprobe) sowie die Werte

nach einer 3-tägigen Kontamination mit Motoröl bzw. mit Diesel.

Die Kenngrößen Zugfestigkeit und Bruchdehnung wurden mathematisch-statistisch ausgewertet (vgl. Kapitel 2.6). Mittels eines direkten Mittelwertvergleichs (t-Test) wurde geprüft, ob sich jeweils die Werte der kontaminierten Variante (mit Motoröl oder mit Diesel) signifikant von den zugehörigen Werten der Variante ohne Kontamination (Referenzprobe) unterscheiden oder ob die Werte einer Grundgesamtheit angehören. Anhand der Ergebnisse des einfachen Mittelwertvergleichs kann abschließend konstatiert werden, dass, wie auch bei den Zugversuchen an den im Labor hergestellten Asphalten, es weder beim AC-Alt noch beim SMA-Alt durch die Kontamination mit Motoröl oder mit Diesel nach einer Einwirkzeit von drei Tagen zu einer signifikanten Veränderung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung bei 5 °C kommt.

Tabelle 9: Ergebnisse der Zugversuche bei 5 °C für AC-Altasphalt und SMA-Altasphalt

		Zugfestigkeit [MPa] bei 5 °C		Bruchdehnung [%] bei 5 °C	
		Einzelwerte	Mittelwert	Einzelwerte	Mittelwert
AC-Alt	ohne Kontamination	4,209 4,394	4,302	2,106 2,035	2,071
	Kontamination mit Motoröl, 3 d	3,543 3,567	3,555	2,286 1,230	1,758
	Kontamination mit Diesel, 3 d	3,715 4,330	4,023	2,152 2,158	2,155
SMA-Alt	ohne Kontamination	0,653 0,815	0,734	0,286 0,364	0,325
	Kontamination mit Motoröl, 3 d	1,112 1,105	1,109	0,455 0,528	0,492
	Kontamination mit Diesel, 3 d	0,978 1,096	1,037	0,450 0,447	0,448

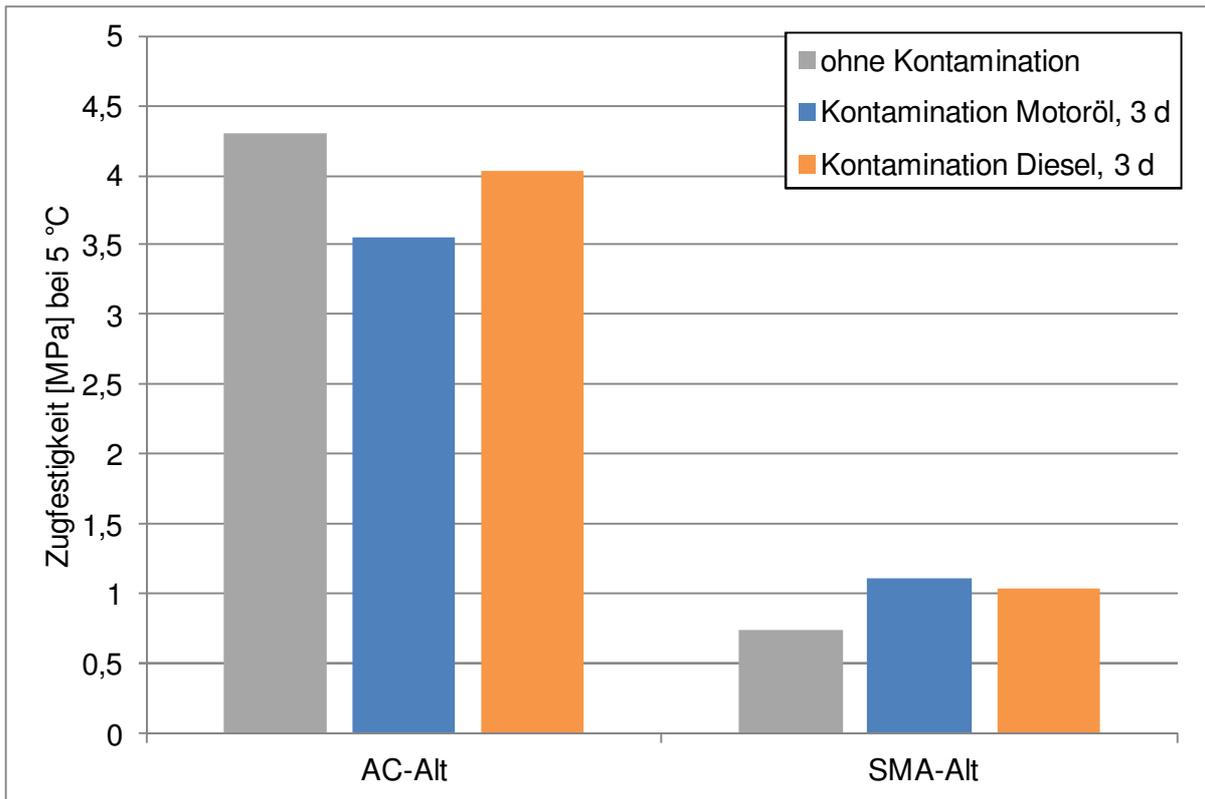


Abbildung 69: Zugfestigkeiten bei 5 °C für AC-Altasphalt und SMA-Altasphalt

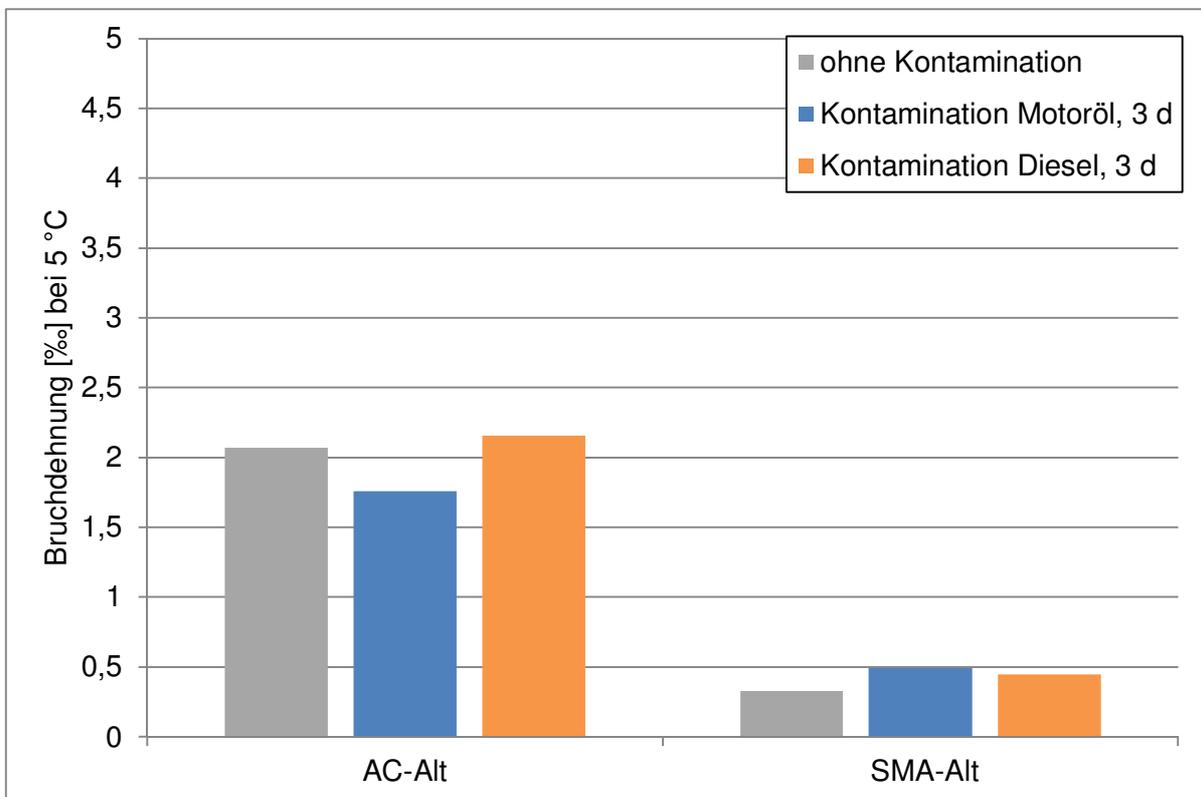


Abbildung 70: Bruchdehnungen bei 5 °C für AC-Altasphalt und SMA-Altasphalt

In Abbildung 71 bis Abbildung 73 sind für die Altasphalte (DSK-Alt, AC-Alt und SMA-Alt) die ermittelten SRT-Werte nach Trockenreinigung (mit mittelkörnigem Ölbindemittel) sowie nach anschließender Flutung dargestellt. Die zugehörigen Zahlenwerte können der Tabelle A 16 im Anhang entnommen werden.

In Abbildung 74 bis Abbildung 77 sind für die Altasphalte (DSK-Alt, AC-Alt, SMA-Alt und PA-Alt) die ermittelten SRT-Werte nach Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid in Reinigungsflüssigkeit oder zur Vorbehandlung) sowie nach anschließender Flutung dargestellt. Die zugehörigen Zahlenwerte können der Tabelle A 17 im Anhang entnommen werden.

Ergänzend sind in der Tabelle A 18 noch die an jeweils zwei weiteren Bohrkernen ermittelten SRT-Werte „feucht“ zusammengestellt.

Als Säulen sind in den Abbildungen die SRT-Werte nach Reinigung sowie die SRT-Werte nach Flutung der gereinigten Oberflächen dargestellt. Weiterhin sind der in diesem Arbeitsschritt ermittelte mittlere SRT-Wert der trockenen Oberfläche (graue Linie) sowie der SRT-Wert der feuchten Oberfläche (blaue Linie) gekennzeichnet. Als gelbe Linien sind noch die mittleren SRT-Werte der mit Motoröl, Diesel und ggf. Hydrauliköl kontaminierten Oberflächen dargestellt.

Weiter ist der als Anforderung angenommene SRT-Wert von 55 als rote Linie eingetragen. Dabei ist anzumerken, dass bei allen hier untersuchten Altasphalten der SRT-Wert "feucht" teilweise deutlich unterhalb dieses hier gewählten Anforderungswertes liegt.

Aus Abbildung 71 und Abbildung 72 kann entnommen werden, dass sowohl beim DSK-Altasphalt sowie beim AC-Altasphalt der SRT-Wert der mit Motoröl bzw. mit Diesel trockenen, kontaminierten Oberfläche unter dem SRT-Wert "feucht" liegt. Nach Trockenreinigung wird ein SRT-Wert ermittelt, der deutlich über dem SRT-Wert "feucht" liegt, jedoch nicht wieder an den Wert der trockenen Oberfläche „herankommt“. Nach anschließender Flutung sind jeweils SRT-Werte zwischen dem Wert der trockenen, kontaminierten Oberfläche und dem SRT-Wert "feucht" zu konstatieren, die somit auf eine Überlagerung der griffigkeitsmindernden Wirkung von Rest-Betriebsmitteln und des reduzierten SRT-Wertes der feuchten Oberfläche zurückgeführt werden können.

Beim SMA-Altasphalt (Abbildung 73) ist zu beobachten, dass der SRT-Wert "feucht" geringer ist als die SRT-Werte der mit Motoröl oder Diesel kontaminierten, trockenen Oberflächen. Nach Trockenreinigung werden auch beim SMA-Altasphalt wieder SRT-Werte ermittelt, die deutlich über dem SRT-Wert der trockenen, kontaminierten Oberflächen liegen. Nach Flutung liegt jedoch der SRT-Wert der mit Diesel kontaminierten Oberfläche wieder auf dem niedrigen Niveau des SRT-Wertes "feucht" und der SRT-Wert der mit Motoröl kontaminierten Oberfläche wieder im Bereich des SRT-Wertes "kontaminiert". Auch beim SMA-Altasphalt scheint somit sich die Feuchtigkeit maßgeblich negativ auf die Griffigkeit auszuwirken und überlagert den Effekt der Kontamination.

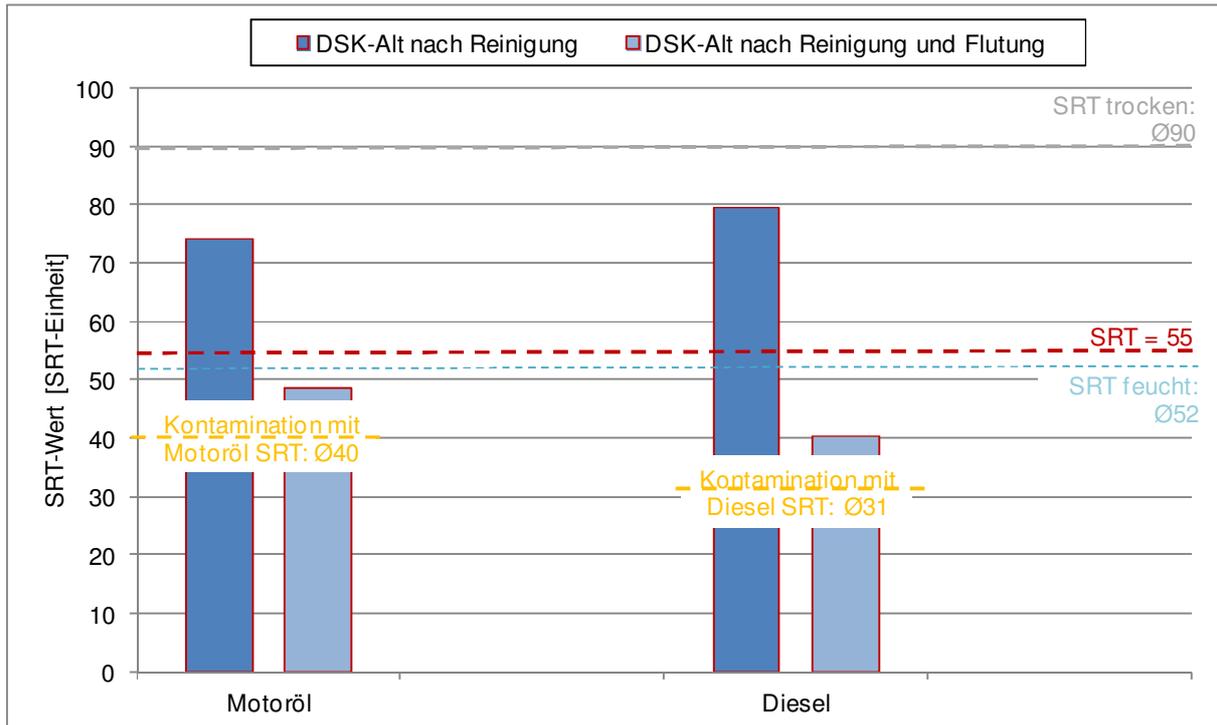


Abbildung 71: Trockenreinigung (mittelkörniges Ölbindemittel) - DSK-Altasphalt

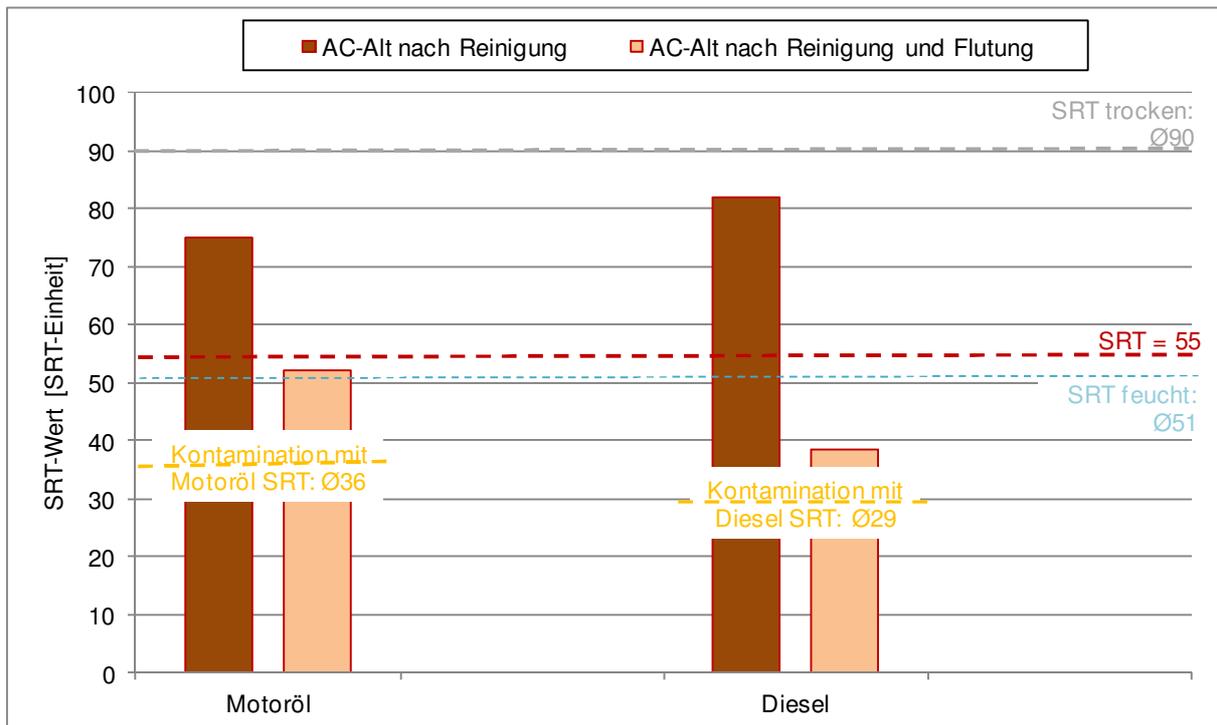


Abbildung 72: Trockenreinigung (mittelkörniges Ölbindemittel) - AC-Altasphalt

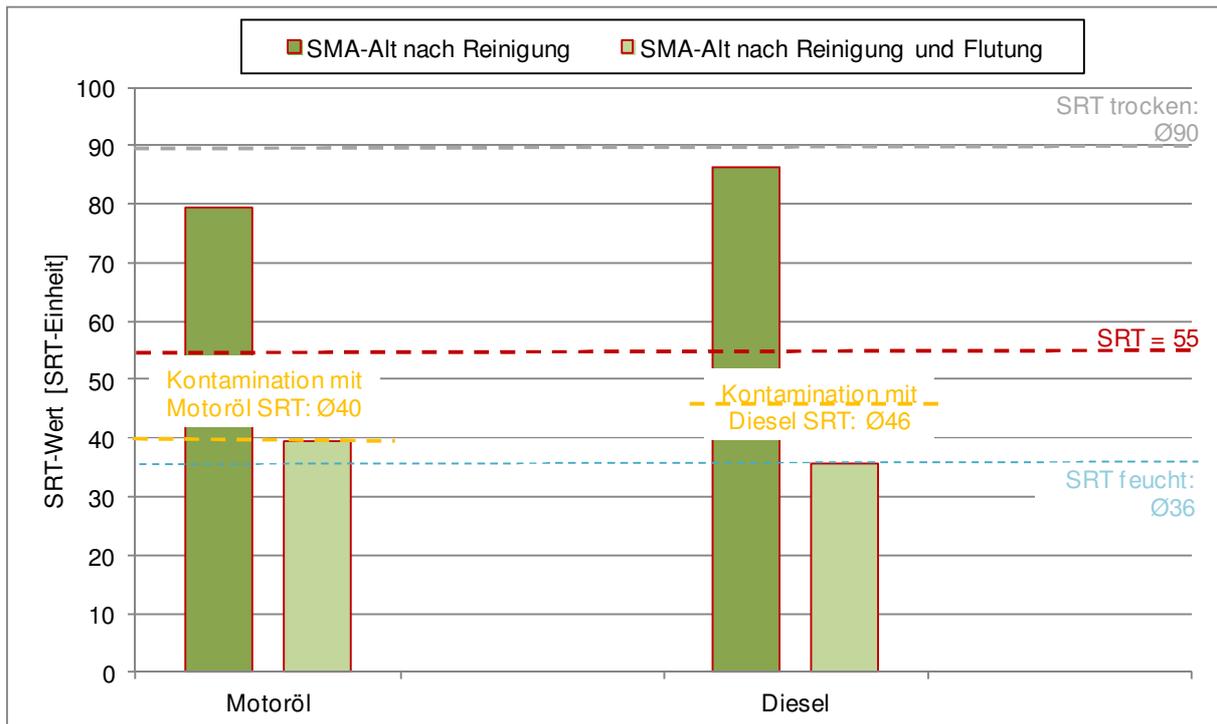


Abbildung 73: Trockenreinigung (mittelkörniges Ölbindemittel) - SMA-Altasphalt

Ergänzend zu den vorangegangenen Ergebnissen der Untersuchungen zum Trockenreinigungsverfahren wurden beim Nassreinigungsverfahren, neben den Altasphalten (DSK-Alt, AC-Alt und SMA-Alt), noch der PA-Altasphalt berücksichtigt und neben Motoröl und Diesel als drittes Betriebsmittel Hydrauliköl aufgebracht.

Aus den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 74 bis Abbildung 76) kann entnommen werden, dass wie zuvor, bereits für Motoröl und Diesel festgestellt, auch beim Hydrauliköl die SRT-Werte der trockenen, kontaminierten Oberfläche beim DSK- und AC-Altasphalt unten den SRT-Werten "feucht" liegen und beim SMA-Altasphalt der SRT-Wert der trockenen, kontaminierten Oberfläche größer ist als der SRT-Wert "feucht".

Beim PA-Altasphalt (Abbildung 77) liegt der SRT-Wert der trockenen mit Diesel kontaminierten Oberfläche über dem SRT-Wert "feucht". Bei einer Kontamination mit Motoröl oder Hydrauliköl werden an den trockenen, kontaminierten Oberflächen SRT-Werte unter dem SRT-Wert "feucht" ermittelt.

Aus den Ergebnissen der hier untersuchten vier Altasphalte sowie drei Betriebsmitteln kann entnommen werden, dass, mit Ausnahme beim SMA-Asphalt und einer Kontamination mit Motoröl, nach der Nassreinigung sowie auch nach Flutung der gereinigten Oberflächen der SRT-Wert "feucht" nicht wieder erreicht werden konnte. Im Gegensatz zu der an im Laboratorium hergestellten Platten festgestellten Erhöhung des SRT-Wertes nach Reinigung durch den Effekt des Nachschärfens (siehe Untersuchungsergebnisse zu Arbeitsschritt 6, Kapitel 3.5.2) kann bei den untersuchten Altasphalten davon ausgegangen werden, dass durch Witterung und Befahren der Nachschärfungsprozess bereits abgeschlossen ist und die Oberflächen der Gesteinskörnung soweit poliert sind, dass diese keine Angriffspunkte für ein weiteres Nachschärfen/ Brechen bei der Wasserhochdruckreinigung bieten.

Die SRT-Werte ermittelt nach Nassreinigung sowie nach anschließender Flutung der gereinigten Oberfläche liegen auf ähnlichem Niveau wie die SRT-Werte nach Reinigung.

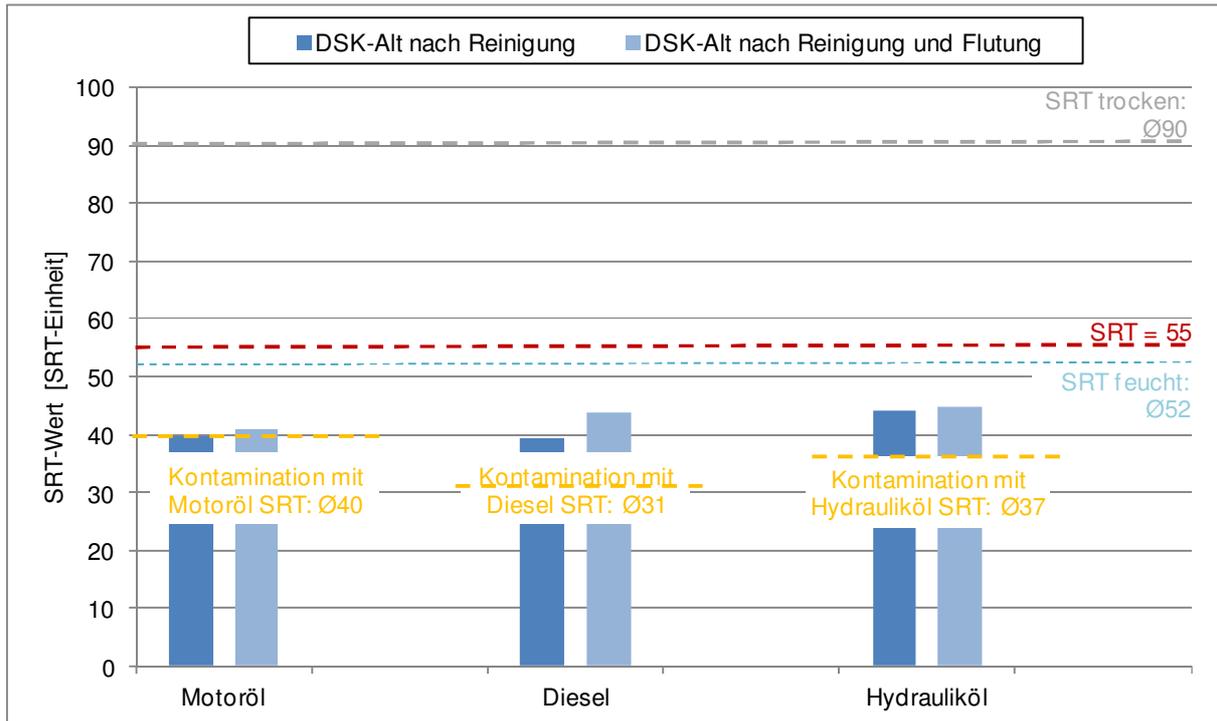


Abbildung 74: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - DSK-Altasphalt

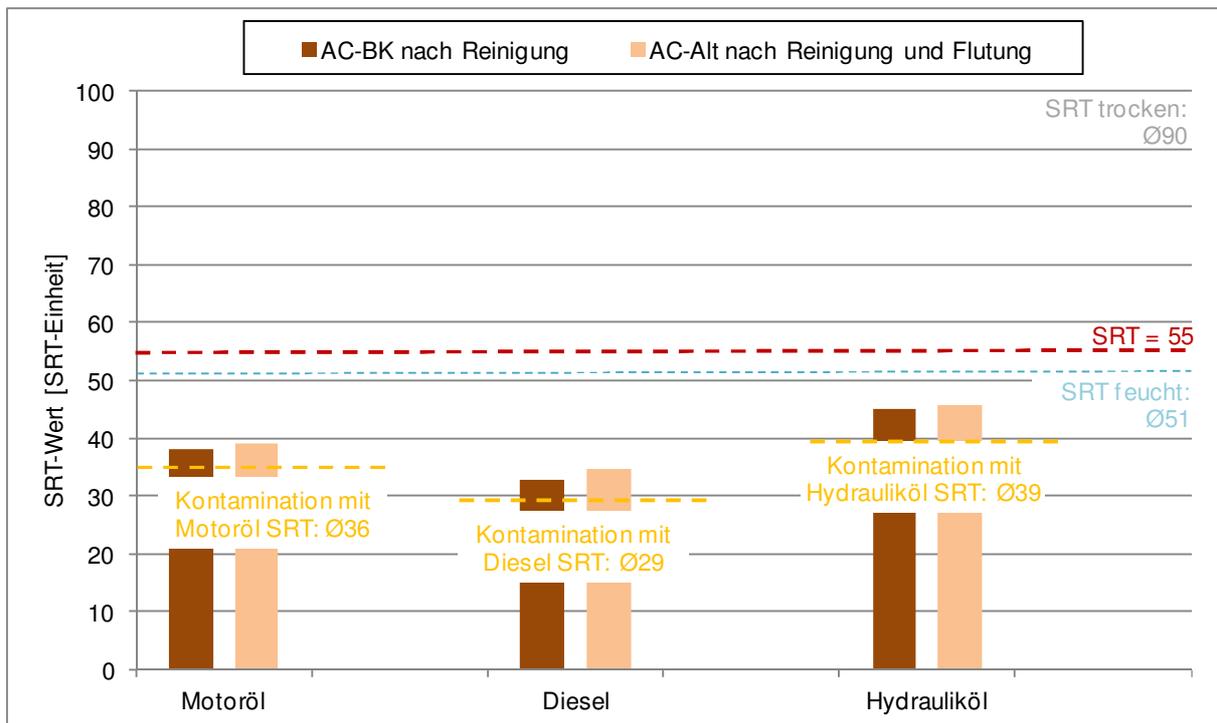


Abbildung 75: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - AC-Altasphalt

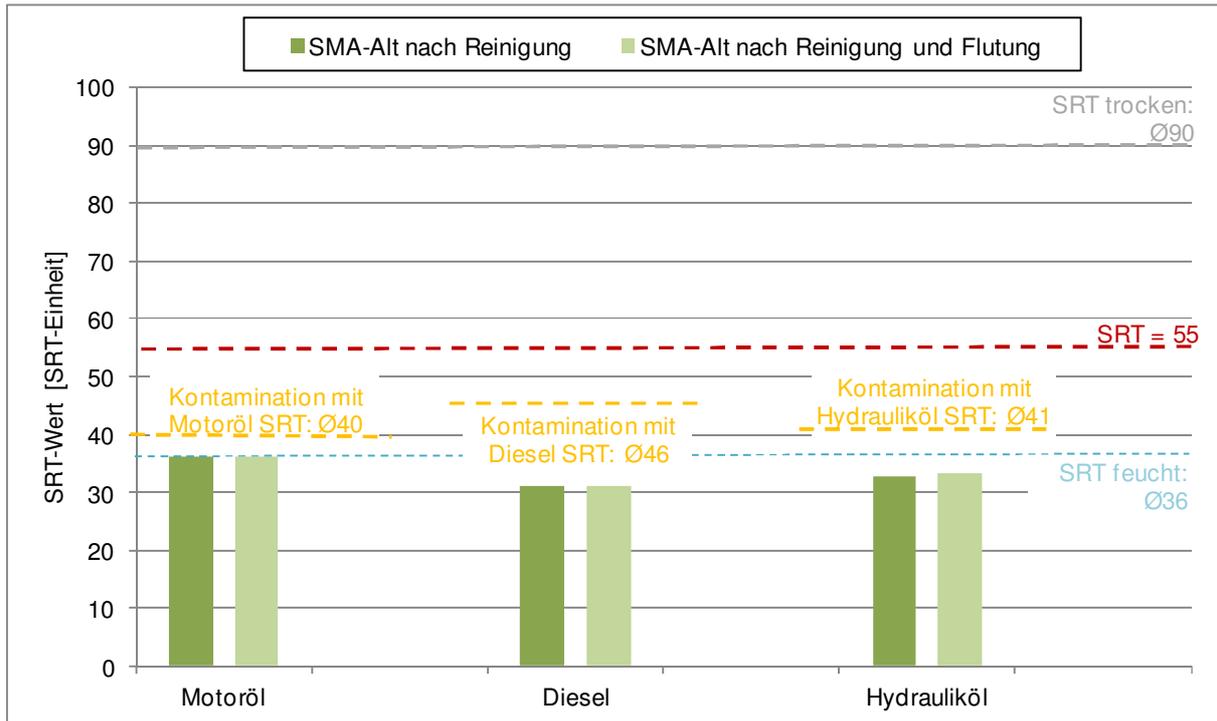


Abbildung 76: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - SMA-Altasphalt

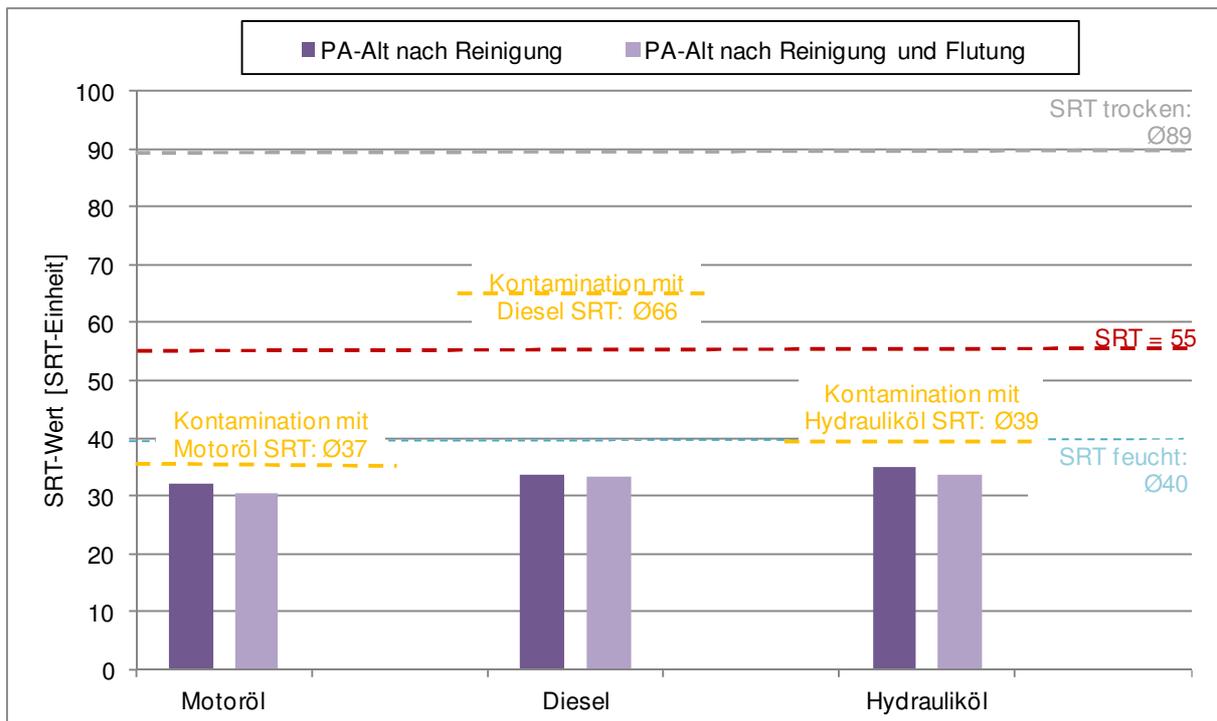


Abbildung 77: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - PA-Altasphalt

Zur Vergleichbarkeit der mit dem Trocken- und Nassreinigungsverfahren an den Altasphalten (DSK, AC, SMA) erzielten Ergebnisse zum Reinigungserfolg (SRT-Werte) wurden die nach Flutung der gereinigten Oberflächen er-

mittelten SRT-Werte gegenübergestellt (siehe Abbildung 78 bis Abbildung 80). Aus den Abbildung geht hervor, dass, mit Ausnahme beim DSK-Altasphalt und einer Kontamination mit Diesel, nach Trockenreinigung tendenziell

höhere SRT-Werte der gereinigten und gefluteten Oberflächen als mit dem Nassreinigungs-

verfahren erzielt werden konnten.

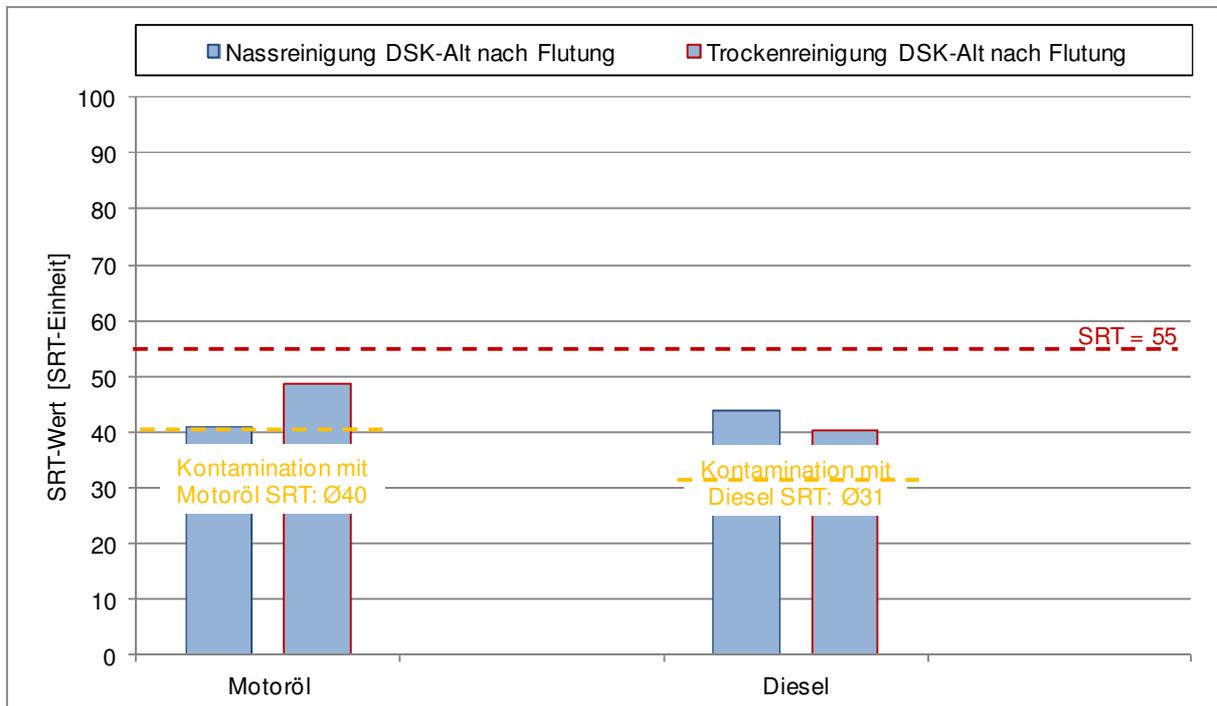


Abbildung 78: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - DSK-Altasphalt

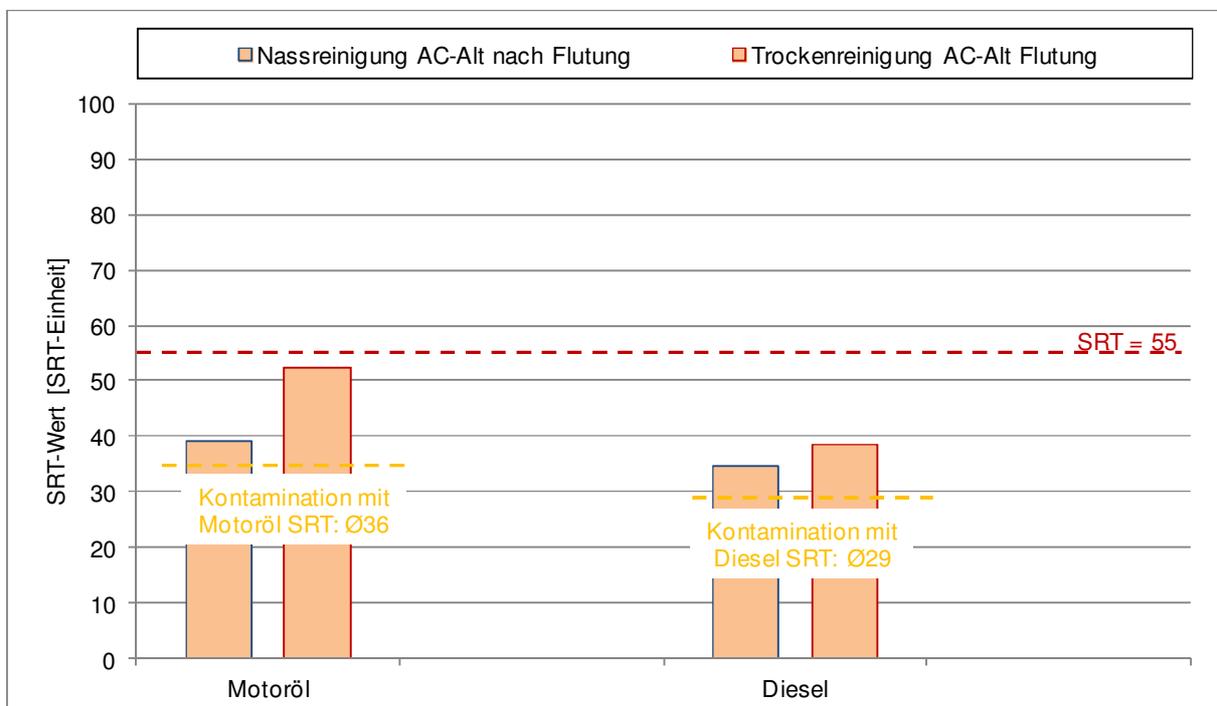


Abbildung 79: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - AC-Altasphalt

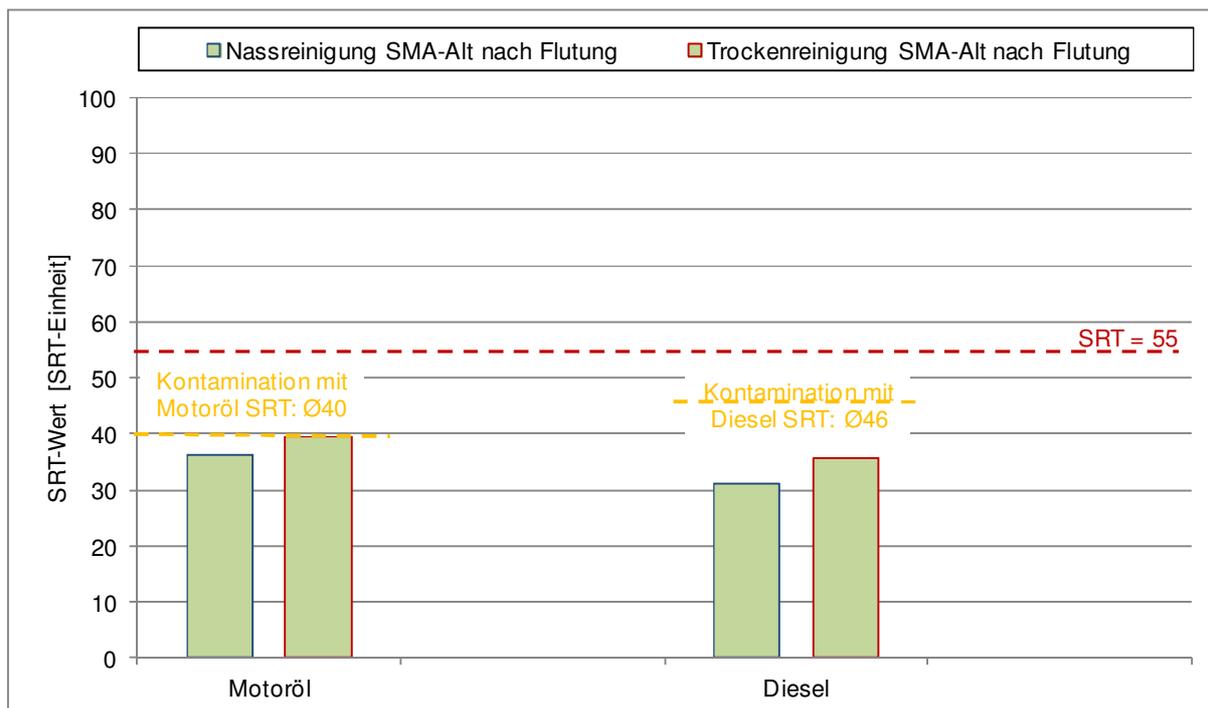


Abbildung 80: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - SMA-Altasphalt

Zur abschließenden Bewertung der tendenziell erkannten Unterschiede wurde noch mittels eines direkten Mittelwertvergleichs geprüft, ob sich für die drei Altasphalte (DSK-Alt, AC-Alt, SMA-Alt) die SRT-Werte nach Trocken- und Nassreinigung (und anschließender Flutung) signifikant voneinander unterscheiden oder ob die Werte einer Grundgesamtheit angehören. Anhand des Ergebnisses des einfachen Mittelwertes kann konstatiert werden, dass der Unterschied der SRT-Werte (Reinigungserfolg) nach Trocken- und Nassreinigung nur beim AC-Altasphalt und einer Kontamination mit Motoröl signifikant ist.

Die am SMA-Altasphalt mittels Gaschromatographie bestimmten prozentualen Rest-Betriebsmittelmengen nach Trocken- und nach

Nassreinigung sind in der Abbildung 81 als Säulendiagramm gegenübergestellt.

Die zugehörigen aufgebrauchten Betriebsmittelmengen sowie ermittelten Rest-Betriebsmittelmengen (Absolutwerte) können der Tabelle A 19 im Anhang entnommen werden. Im Anhang (Abbildung A 13 bis Abbildung A 16) sind weiterhin die Chromatogramme mit den Ausgangssignalen jeweils der gereinigten Probe sowie der Referenzprobe enthalten.

Die prozentuale Rest-Betriebsmittelmenge Motoröl ist nach Trockenreinigung doppelt so groß wie nach Nassreinigung. Bei einer Kontamination mit Diesel sind nach Trocken- und Nassreinigung Restmengen in ähnlicher Größenordnung zu konstatieren.

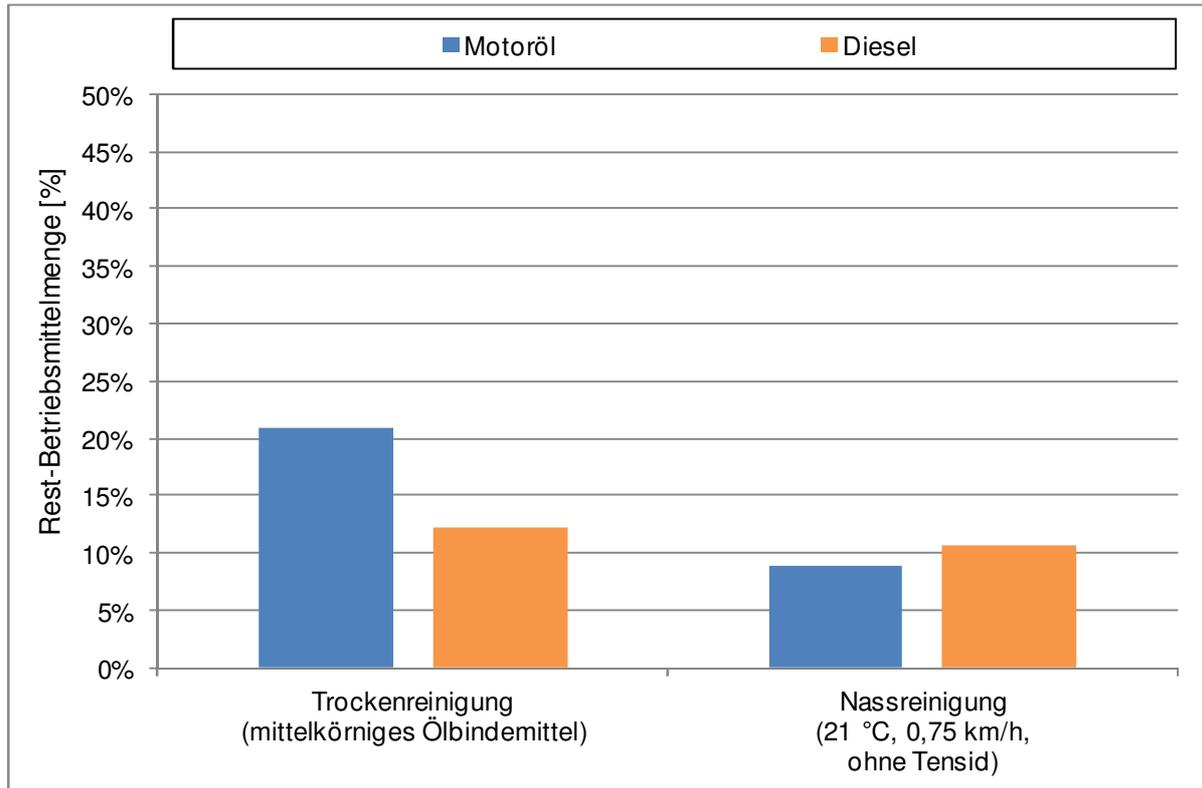


Abbildung 81: Rest-Betriebsmittelmenge - SMA-Altasphalt

### 3.10 Arbeitsschritt 10 „Untersuchungen mit Hydrauliköl“

#### 3.10.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 10 wurden Untersuchungen zum Reinigungserfolg bei einer Kontamination mit Hydrauliköl durchgeführt. Ziel war es zu untersuchen, ob sich Hydrauliköl anders verhält bzw. reinigen lässt als die Betriebsmittel Motoröl und Diesel.

Dafür wurden Untersuchungen mit dem Trockenreinigungsverfahren (mit mittelkörnigem Ölbindemittel) sowie mit dem Nassreinigungsverfahren (mit 0,75 km/h, 21 °C und ohne Zugabe von Tensid in die Reinigungsflüssigkeit sowie ohne Vorbehandlung) an SMA-Platten durchgeführt. Weiterhin wurde das Nassreinigungsverfahren an PA-Platten angewandt.

Da für Hydrauliköl keine „Eingriffsschwelle“ bestimmt wurde, wurde als aufzubringende Menge hilfsweise die im Arbeitsschritt 2 für Motoröl ermittelten „Eingriffsschwellen“ herangezogen. In Analogie zu der bisherigen Vorgehensweise wurde die doppelte Menge der

„Eingriffsschwelle“ aufgebracht. Die Einwirkzeit betrug auch hier 20 Minuten.

#### 3.10.2 Untersuchungsergebnisse

Für die Untersuchungen an den SMA-Platten sind die Ergebnisse der Trockenreinigung in der Abbildung 82 und die Ergebnisse der Nassreinigung in der Abbildung 83 dargestellt. Die einzelnen SRT-Werte können der Tabelle A 20 und Tabelle A 21 im Anhang entnommen werden.

Die in diesem Arbeitsschritt ermittelten Ergebnisse mit einer Kontamination mit Hydrauliköl sind den unter gleichen Randbedingungen ermittelten Ergebnissen bei einer Kontamination mit Motoröl sowie Diesel aus Arbeitsschritt 6 gegenübergestellt.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass sowohl nach der Trockenreinigung als auch nach der Nassreinigung bei einer Kontamination mit Hydrauliköl tendenziell geringere SRT-Werte ermittelt werden.

In der Abbildung 84 sind abschließend noch die SRT-Werte nach Trocken- und Nassreini-

gung und anschließender Flutung gegenübergestellt.

Zur abschließenden Bewertung wurde in einem direkten Mittelwertvergleich noch geprüft, ob sich bei einer Kontamination mit Motoröl, Diesel oder Hydrauliköl jeweils die SRT-Werte nach Trocken- und Nassreinigung (und anschließender Flutung) signifikant voneinander

unterscheiden oder ob die Werte einer Grundgesamtheit angehören. Aus den Ergebnissen der mathematisch-statistischen Auswertung geht hervor, dass es bei keinem der drei untersuchten Betriebsmittel hinsichtlich des Reinigungserfolges (SRT-Wert) nach Trocken- und Nassreinigung signifikante Unterschiede gibt.

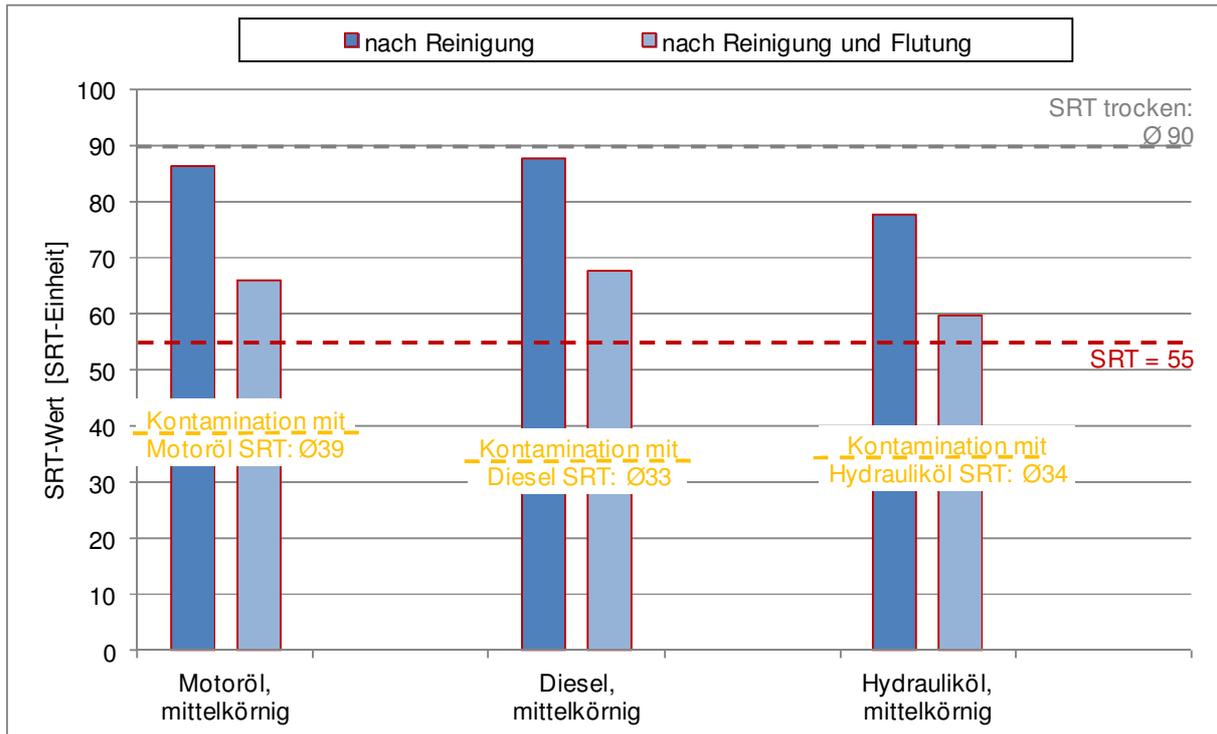


Abbildung 82: Trockenreinigung Vergleich mit Hydrauliköl - SMA

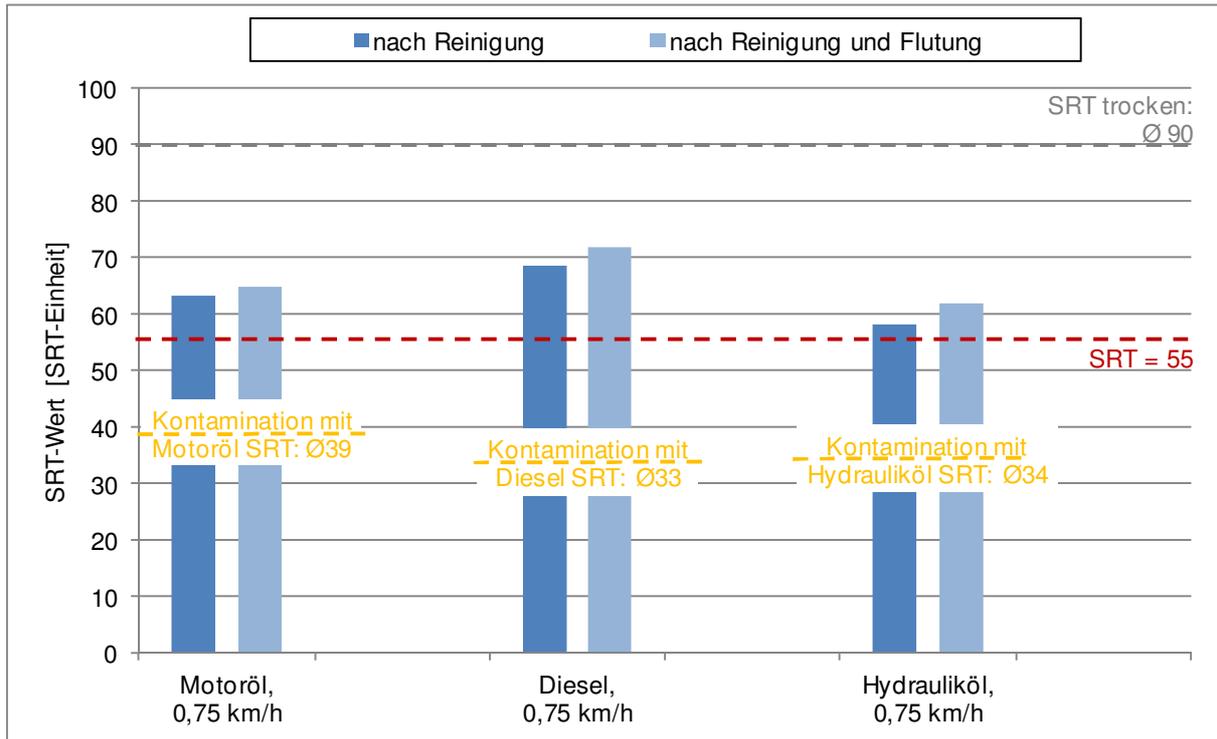


Abbildung 83: Nassreinigung Vergleich mit Hydrauliköl - SMA

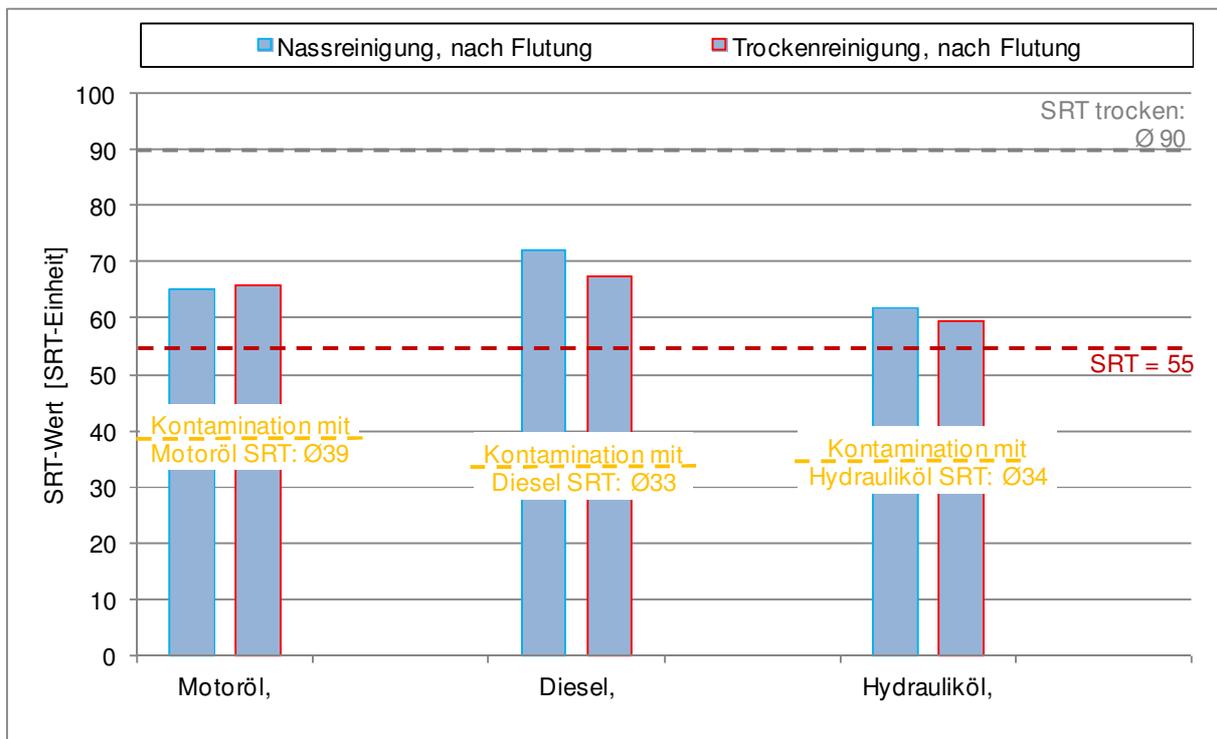


Abbildung 84: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - SMA

Für die Untersuchungen am Offenporigen Asphalt (PA-Platten) mit einer Kontamination mit Hydrauliköl sind in der Abbildung 85 die nach Nassreinigung ermittelten SRT-Werte den

unter gleichen Randbedingungen ermittelten Ergebnissen bei einer Kontamination mit Motoröl sowie Diesel aus Arbeitsschritt 8a gegenübergestellt.

Der Reinigungserfolg (SRT-Wert) liegt für eine Kontamination mit Hydrauliköl und Motoröl hier

auf ähnlichem Niveau.

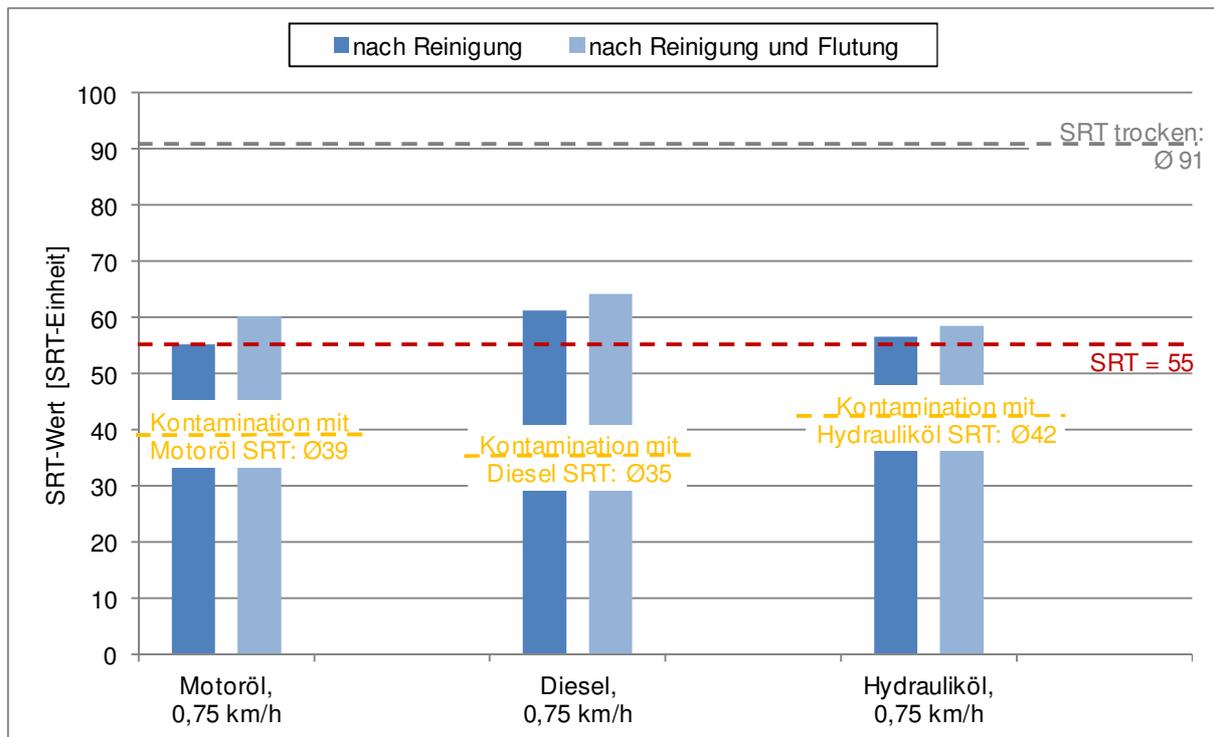


Abbildung 85: Nassreinigung Vergleich mit Hydrauliköl - PA

### 3.11 Arbeitsschritt 11 „Langzeitversuche“

#### 3.11.1 Ziel und Vorgehensweise

Im Arbeitsschritt 11 wurden sogenannte Langzeitversuche durchgeführt, mit dem Ziel zu untersuchen, wie sich auf der Oberfläche verbliebene Betriebsmittelmengen auf die Gebrauchstauglichkeit (Zugfestigkeit und Bruchdehnung) sowie auf die Griffigkeitseigenschaften (SRT-Wert) auswirken. Weiterhin wurden Untersuchungen durchgeführt, bei denen mittels der Gaschromatographie Kohlenwasserstoffanteile bestimmt wurden, um zu ermitteln, in wie fern sich das Betriebsmittel ggf. mit der Zeit verflüchtigt.

Untersuchungen wurden an im Laboratorium hergestellten Plattenstücken (SMA) durchgeführt. Als Betriebsmittel wurde Diesel verwendet.

Im Folgenden sind die einzelnen Untersuchungen, die im Rahmen des Arbeitsschrittes 11 durchgeführt wurden, erläutert:

- Zugversuche

Entsprechend Kapitel 2.5.1 wurden einaxiale Zugversuche bei 5 °C durchgeführt. Dafür wurden prismatische Probekörper, wie im Kapitel 3.1.1 beschrieben, vorbereitet, wobei für die Langzeitversuche eine Menge von 15 ml/m<sup>2</sup> Diesel aufgebracht wurde. Nach einer Einwirkzeit von zwei Monaten wurden die Zugversuche durchgeführt.

- Ermittlung der Griffigkeit (SRT)

Bei der Ermittlung der Griffigkeit (SRT-Wert) wurden zwei Ansätze gewählt, wobei zunächst immer der SRT-Wert "trocken" der Platten ermittelt wurde.

Dann wurde auf zwei Platten (Doppelbelegung) einerseits eine Menge von 15 ml/m<sup>2</sup> Diesel auf die Oberfläche aufgebracht, für zwei Monate einwirken lassen und anschließend erneut der SRT-Wert gemessen.

Außerdem wurde auf zwei weitere Platten eine Menge von 73,7 ml/m<sup>2</sup>, was der doppelten „Eingriffsschwelle“ von Diesel aus Arbeitsschritt 2 entspricht, aufgebracht und die kon-

tamierte Oberfläche nach einer Einwirkzeit von 20 Minuten mit mittelkörnigem Ölbindemittel trockengereinigt (vgl. Vorgehen Arbeitsschritt 3). Anschließend wurde auch an diesen Platten nach einer zweimonatigen Liegezeit der SRT-Wert erneut bestimmt.

- Gaschromatographie

Entsprechend den Untersuchungen zur Ermittlung des SRT-Wertes wurden auch mittels Gaschromatographie zwei Ansätze (1: Kontamination mit 15 ml/m<sup>2</sup> mit Einwirkungszeit von 2 Monaten; 2: Kontamination mit 73,7 ml/m<sup>2</sup>, anschließende Trockenreinigung und Liegezeit von 2 Monaten) untersucht.

Die 2-monatige Lagerung der Probekörper erfolgte im Laboratorium. Die Probekörper

waren somit keinen wechselnden äußeren Witterungseinflüssen ausgesetzt.

### 3.11.2 Untersuchungsergebnisse

In der Tabelle 10 sind die nach einer Einwirkzeit von zwei Monaten als Ergebnis der Zugversuche ermittelten Werte für die Zugfestigkeit sowie Bruchdehnung zu entnehmen. In Abbildung 86 (Zugfestigkeit) und Abbildung 87 (Bruchdehnung) sind die Ergebnisse des Langzeitversuchs der SMA-Referenzprobe ohne Kontamination (aus Arbeitsschritt 1) gegenübergestellt. Die Ergebnisse liegen in derselben Größenordnung, von einer Reduzierung der (Zug-)Festigkeit ist daher nicht auszugehen.

Tabelle 10: Ergebnisse der Zugversuche bei 5 °C - SMA (Langzeitversuche)

		Zugfestigkeit [MPa] bei 5 °C		Bruchdehnung [%] bei 5 °C	
		Einzelwerte	Mittelwert	Einzelwerte	Mittelwert
SMA	Kontamination mit Diesel, 2 Monate	3,501 3,974	3,738	3,715 3,368	3,541

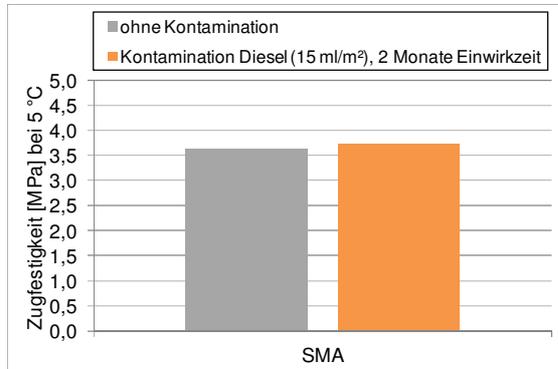


Abbildung 86: Zugfestigkeiten bei 5 °C - SMA (Langzeitversuche)

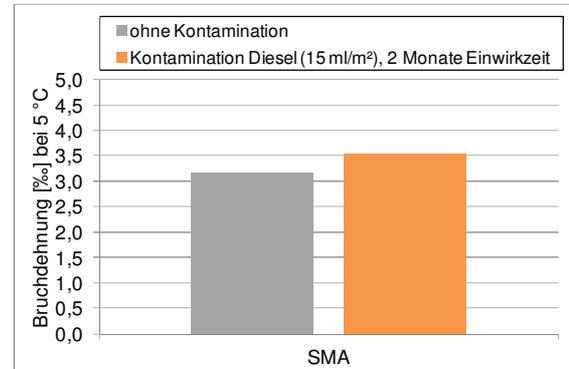


Abbildung 87: Bruchdehnungen bei 5 °C - SMA (Langzeitversuche)

Die Abbildung 88 zeigt die Ergebnisse der SRT-Messungen der Langzeitversuche. Die zugehörigen Zahlenwerte können dem Anhang (Tabelle A 22) entnommen werden. Nach einer Einwirk- /Liegezeit von zwei Monaten werden sowohl bei der aufgetragenen eher geringen

Dieselmenge von 15 ml/m<sup>2</sup> (ohne Reinigung) als auch bei einer aufgetragenen Menge von 73,7 ml/m<sup>2</sup> und anschließender Trockenreinigung nahezu die ursprünglichen SRT-Werte "trocken" wieder erreicht.

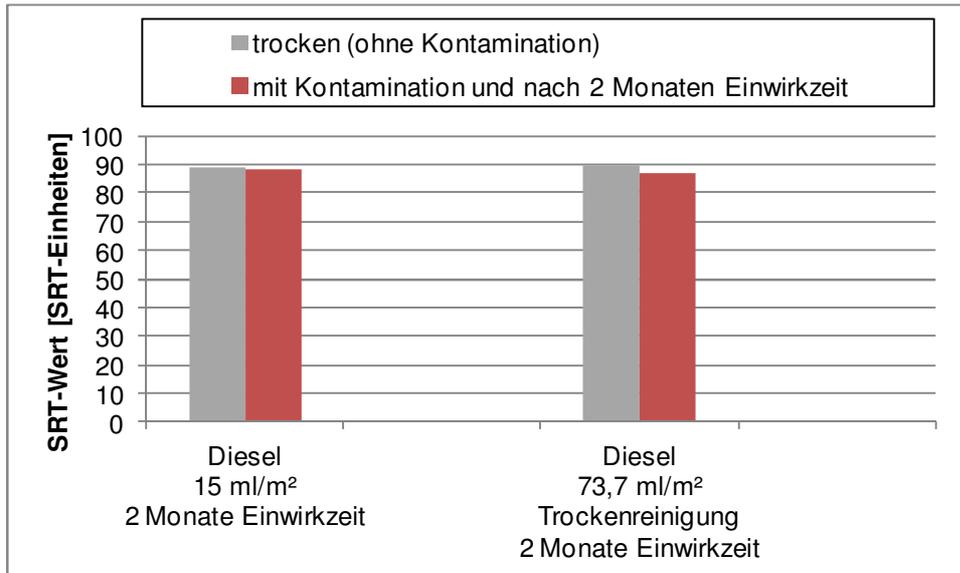


Abbildung 88: SRT-Werte - SMA Langzeitversuche

Die prozentualen Rest-Betriebsmittelmengen der Langzeitversuche sind in der Abbildung 89 dargestellt. Die zugehörigen Absolutwerte des aufgetragenen Betriebsmittels sowie die Rest-Betriebsmittelmengen können der Tabelle A 23 im Anhang entnommen werden. Im Anhang ist weiterhin das entsprechende Chromatogramm (Abbildung A 17) enthalten.

Aus den Ergebnissen kann entnommen werden, dass bei einer Betriebsmittelmenge von 15 ml/m<sup>2</sup> nach 2-monatiger Einwirkzeit noch etwa ein Viertel der aufgetragenen Dieselmengen in bzw. auf der Oberfläche vorhanden ist.

Beim Aufbringen von 73,7ml/m<sup>2</sup> (entspricht 2 x „Eingriffsschwelle“) und anschließender Tro-

ckenreinigung sind nach zwei Monaten noch knapp 20 % Rest-Betriebsmittel vorhanden. Im Vergleich dazu waren unmittelbar nach Trockenreinigung (vgl. Arbeitsschritt 3) noch 27 % als Rest-Betriebsmittelmengen zu konstatieren.

Aus dem Vergleich der Ergebnisse für eine Kontamination mit Diesel und anschließender Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel aus Arbeitsschritt 8 (Ermittlung der Rest-Betriebsmittelmengen unmittelbar nach Reinigung) und den hier ermittelten Rest-Betriebsmittelmengen nach zwei Monaten kann noch konstatiert werden, dass nach zwei Monaten die Rest-Betriebsmittelmengen sich um 25 % reduziert hat.

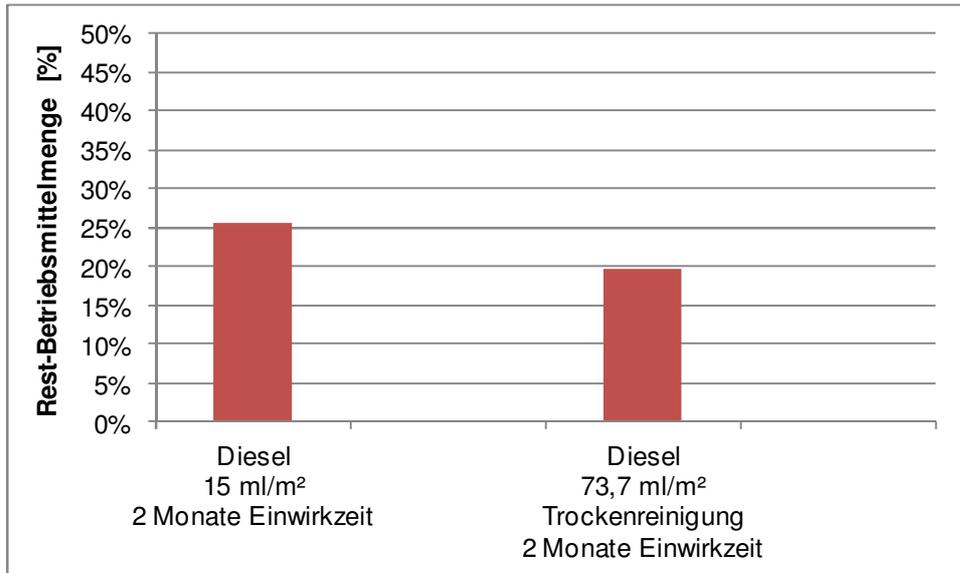


Abbildung 89: Rest-Betriebsmittelmengen - SMA Langzeitversuche

## 4 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden im Labormaßstab Untersuchungen mit dem konventionellen Trockenreinigungsverfahren mit Ölbindemitteln durchgeführt sowie das Nassreinigungsverfahren mit Wasserhochdruck mithilfe einer Sonderprüfmaschine simuliert.

Beim Trockenreinigungsverfahren wurden Versuche mit mittel- sowie grobkörnigem Ölbindemittel durchgeführt.

Beim Nassreinigungsverfahren wurden die Reinigungsgeschwindigkeit (0,75, 1,5 und 2,5 km/h) sowie die Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21, 60 °C) variiert. Weiterhin wurde untersucht, welchen Einfluss die Vorbehandlung mit einem Tensid sowie die Zugabe von Tensid in die Reinigungsflüssigkeit haben.

Die Wasserhochdruckreinigung (Nassreinigung) wurde mit 200 bar (Betriebsdruck) durchgeführt, was einem durchschnittlichen Druck in der Praxis üblicher Geräte für die Ölspurbeseitigung entspricht. Anhand von im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Untersuchungen an im Laboratorium „frisch“ hergestellten Platten konnte dieser Druck als unschädlich im Hinblick auf strukturelle Schädigungen (Herauslösen von Gesteinskörnern aus dem Bitumenbett sowie Veränderung/ Ablösen des Bitumenfilms) eingestuft werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es bei höheren Drücken zu Veränderungen bzw. Schädigungen der Asphaltoberflächen kommt.

Der Reinigungserfolg im Hinblick auf die Gewährleistung einer ausreichenden Verkehrssicherheit wurde anhand von Griffigkeitsmessungen mit dem SRT-Pendel bestimmt.

Eine systematische Variation der o. g. Parameter bei den beiden Reinigungsverfahren (Trocken- und Nassreinigung) wurde an im Laboratorium hergestellten Asphalt-Probepplatten durchgeführt und untersucht. Basierend auf den an Asphalt-Probepplatten gewonnenen Erkenntnissen (bei Kontamination auf trockener sowie feuchter Oberfläche) wurde an-

schließend an Altasphalten (Bohrkernen) eine erste Validierung vorgenommen.

Die Untersuchungen wurden überwiegend mit den Betriebsmitteln Motoröl und Diesel durchgeführt. Für einzelne Versuche (z. B. „optimierte“ Nassreinigung oder Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel) wurde ergänzend noch Hydrauliköl verwendet.

Anhand der Untersuchungen mit dem Trockenreinigungsverfahren kann konstatiert werden, dass der Einsatz eines mittelkörnigen Ölbindemittels im Vergleich zu einem grobkörnigen Ölbindemittel als vorteilhafter im Hinblick auf den Reinigungserfolg (SRT-Wert) einzustufen ist. In drei von vier untersuchten Messreihen mit der Trockenreinigung werden mit mittelkörnigem Ölbindemittel signifikant höhere SRT-Werte als bei Einsatz eines grobkörnigen Ölbindemittels bestimmt.

Bei dem Trockenreinigungsverfahren mit Ölbindemittel ist zu konstatieren, dass noch Rückstände des Ölbindemittels auf der Oberfläche, auch nach sorgfältigem Entfernen mit dem Pinsel, vorhanden sein können, die zu einer Erhöhung des Reibwiderstands (SRT-Werts) beitragen können.

Basierend auf den mit dem Nassreinigungsverfahren unter Variation der o. g. Parameter ermittelten Ergebnisse zum Reinigungserfolg (SRT-Wert) können die nachfolgenden Aussagen getroffen werden.

Je geringer die Reinigungsgeschwindigkeit, desto größer ist der Reinigungserfolg. Anhand der statistischen Auswertung kann jedoch weiterhin konstatiert werden, dass der Reinigungserfolg der im Laboratorium untersuchten Reinigungsgeschwindigkeit von 0,75 und 1,5 km/h sich in den meisten Messreihen nicht voneinander unterscheiden und somit als gleichwertig eingestuft werden können.

Eine Erhöhung der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit von 21 auf 60 °C bringt keinen Vorteil im Hinblick auf den Reinigungserfolg.

Beim Einsatz eines Tensids zur Vorbehandlung werden tendenziell geringere SRT-Werte im Vergleich zu den Varianten ohne Vorbehandlung gemessen. Beim Einsatz eines Tensides in der Reinigungsflüssigkeit werden sogar signifikant geringere SRT-Werte gegen-

über den Ergebnissen ohne Tensid festgestellt, die vermutlich auf Rückstände des Tensids an der Oberfläche zurückzuführen sind.

Auf Grundlage der o. g. an im Laboratorium hergestellten Platten aus Splittmastixasphalt ermittelten Ergebnisse wurde als „optimale“ Nassreinigung eine Hochdruckreinigung mit folgenden Parametern definiert: Reinigungsgeschwindigkeit 0,75 km/h, Temperatur der Reinigungsflüssigkeit 21 °C, kein Einsatz von Tensiden (weder zur Vorbehandlung noch als Zusatz in der Reinigungsflüssigkeit).

Bei den genannten Parametern handelt es sich lediglich um diejenigen, mit denen im Rahmen der Laborversuche in diesem Forschungsvorhaben der höchste Reinigungserfolg (SRT-Werte) nachgewiesen werden konnten. An dieser Stelle sei noch zu erwähnen, dass auch mit abweichend gewählten Parametern bei der Nassreinigung eine ausreichende Griffigkeit im Hinblick auf die Wiederherstellung der Verkehrssicherheit erzielt werden kann.

Aus den an im Laboratorium hergestellten Platten ermittelten Ergebnissen kann noch erkannt werden, dass hier nach Kontamination und anschließender Reinigung, höhere SRT-Werte als der SRT-Wert "feucht" (ohne Kontamination) der Platten erzielt werden. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass es durch die Wasserhochdruckreinigung zu einem Nachschärfen im Bereich der Mikrotexur kommt, die dann zu einer Erhöhung des Reibwertes (SRT-Wertes) führt. Es ist davon auszugehen, dass die Oberfläche der "frischen" Gesteinskörnung gebrochen ist und somit Angriffsfläche bietet weiter zu brechen bzw. geschärft zu werden. Das Nachschärfen übt aber keinen Einfluss auf die Performanceeigenschaften eines Asphalts aus.

An den untersuchten Altasphalten konnte nach „optimierter“ Nassreinigung der zuvor beschriebene Effekt nicht beobachtet werden. Mit einer Ausnahme, konnte bei den Altasphalten der SRT-Wert "feucht" nicht wieder erreicht werden. Bei den untersuchten Altasphalten kann davon ausgegangen werden, dass durch Witterung und Befahren der Nachschärfungsprozess bereits abgeschlossen ist und die Oberflächen der Gesteinskörnung soweit poliert sind (Endpolierwert), dass diese keine Angriffspunkte für ein weiteres Nachschärfen/

Brechen bei der Wasserhochdruckreinigung bieten können.

Abschließend wurde noch der Reinigungserfolg nach Trockenreinigung (mit mittelkörnigem Ölbindemittel) und nach der „optimierten“ Nassreinigung vergleichend beurteilt und abschließend hinsichtlich signifikanter Unterschiede statistisch bewertet:

Zur Vergleichbarkeit der mit dem Trocken- und Nassreinigungsverfahren erzielten Ergebnisse zum Reinigungserfolg (SRT-Werte) wurden die nach Flutung der gereinigten Oberflächen ermittelten SRT-Werte gegenübergestellt.

Bei den im Laboratorium hergestellten Platten aus Splittmastixasphalt können bei keinem der drei hier untersuchten Betriebsmittel (Motoröl, Diesel, Hydrauliköl) signifikante Unterschiede zwischen den SRT-Werten nach Trocken- und Nassreinigung erkannt werden.

Bei den drei untersuchten Altasphalten (SMA-Alt, AC-Alt, DSK-Alt) und Kontaminationen mit Motoröl und Diesel werden zwar, mit einer Ausnahme, tendenziell höhere SRT-Werte nach Trockenreinigung im Vergleich zur Nassreinigung ermittelt, allerdings sind hier nur für einen von sechs Vergleichen signifikante Unterschiede zu konstatieren.

Im Hinblick auf den Reinigungserfolg ist anhand der im Labormaßstab durchgeführten Versuche und unter Berücksichtigung der genannten Parameter, das Trocken- und Nassreinigungsverfahren zur Ölspurenbeseitigung als gleichwertig einzustufen.

Weiter sei zu ergänzen, dass mittels der durchgeführten „Flutung“ weder visuell erkennbar, noch messbar nachgewiesen werden konnte, dass es bei den hier durchgeführten Laborversuchen zu sogenannten „Nachblutungseffekten“ kommt.

Neben der Ermittlung des Reinigungserfolges (SRT-Wert) wurde weiterhin noch ermittelt, welchen Einfluss die Einwirkzeit des Betriebsmittels auf ein mögliches Anlösen des Bitumens (Asphalt) hat. Hierfür wurden nach 3-tägiger Einwirkzeit der Kontamination Zugfestigkeiten und Bruchdehnungen ermittelt. Es kann konstatiert werden, dass anhand der Zugfestigkeitswerte sowie Bruchdehnungen,

sowohl an den im Laboratorium hergestellten Asphalten sowie an den untersuchten Altasphalten, keine signifikanten Veränderungen der genannten Kennwerte im Vergleich zu einer „unbeanspruchten“ Referenzprobe ohne Kontamination festzustellen ist, woraus geschlossen werden kann, dass es praktisch zu keiner strukturellen Veränderungen des Asphaltes nach drei Tagen gekommen ist. Zu den Ergebnisse für den Offenporigen Asphalt PA ist noch anzumerken, dass, hier nach Kontamination, bei tendenziell geringeren Zugfestigkeiten die Zugdehnungen tendenziell zugenommen haben, was ein Indiz dafür sein kann, dass das Bitumen weicher geworden ist.

Weiterhin wurden an ausgewählten Varianten im Anschluss noch die Rest-Betriebsmittelmengen nach Reinigung mittels der Gaschromatographie bestimmt.

Anhand der Ergebnisse an im Laboratorium hergestellten SMA-Platten kann konstatiert werden, dass sowohl bei einer Kontamination mit Motoröl als auch bei einer Kontamination mit Diesel die Rest-Betriebsmittelmenge nach der Nassreinigung geringer ist, als nach Trockenreinigung mit mittel- sowie grobkörnigem Ölbindemittel. Tendenziell sind die Rest-Betriebsmittelmengen beim Aufbringen der Kontamination auf eine feuchte Oberfläche größer als bei Kontamination einer trockenen Oberfläche.

Beim exemplarisch untersuchten SMA-Altasphalt wurde bei einer Kontamination mit Motoröl auf einer trockenen Oberfläche die gleiche Tendenz wie bei den SMA-Platten festgestellt. Bei einer Kontamination mit Diesel auf trockener Oberfläche sind nach Trocken- und Nassreinigung jedoch Restmengen in ähnlicher Größenordnung zu konstatieren.

Aus den abschließend durchgeführten Langzeitversuchen kann aus dem Vergleich der Ergebnisse für eine Kontamination mit Diesel und anschließender Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel aus Arbeitsschritt 8 (Ermittlung der Rest-Betriebsmittelmenge unmittelbar nach Reinigung) und aus Arbeitsschritt 11 (Langzeitversuche, Ermittlung der Rest-Betriebsmittelmenge nach zwei Monaten) noch konstatiert werden, dass nach zwei Mo-

naten die Rest-Betriebsmittelmenge sich um 25 % reduziert hat.

Anhand der Langzeitversuche kann weiter festgehalten werden, dass es auch nach einer Einwirkzeit von zwei Monaten (bei Diesel) zu keiner Reduzierung der Gebrauchstauglichkeit des Asphaltes (Zugfestigkeit und Bruchdehnung) kommt. Weiterhin werden sowohl bei einer aufgetragenen eher geringen Dieselmengen (ohne Reinigung) sowie nach Trockenreinigung nach einer Einwirk-/Liegezeit von zwei Monaten wieder praktisch die ursprünglichen SRT-Werte der Referenzprobe erreicht.

## 5 Fazit

Das vorliegende Forschungsvorhaben ist Teil eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen initiierten Projektes zur „Entwicklung von Handlungsempfehlungen zur anforderungsgerechten Beseitigung von Ölspuren auf Verkehrsflächen“. Die im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens ermittelten Laborergebnisse und daraus abgeleitete Erkenntnisse können als Grundlage für weitere Untersuchungen in situ dienen.

Im Rahmen der Laboruntersuchungen wurde angestrebt, möglichst praxisnahe Randbedingungen für die hier untersuchten Reinigungsverfahren zu wählen, die jedoch im Labormaßstab umgesetzt werden mussten. Wie sich die Ergebnisse unter realen Bedingungen darstellen, lässt sich daher nicht verlässlich sagen. Um letztlich belastbare Handlungsempfehlungen für die Praxis geben zu können, wären zusätzliche Feldstudien erforderlich. Bezogen auf die Nassreinigung sollten die im Rahmen der Laboruntersuchungen ermittelten „optimierten“ Reinigungsparameter/ -bedingungen als Eingangsparameter für Versuche unter realen Bedingungen gewählt, überprüft und ggf. weiter angepasst werden.

Offene Fragen, die anhand der Untersuchungen im Labor nicht geklärt werden konnten, wie etwa eine weitere Steigerung des Aufpralldruckes über 200 bar, sollten dabei ebenfalls weiter untersucht werden.

## 6 Regelwerke und Literatur

### 6.1 Regelwerke

**Arbeitsblatt DWA-A 716-1** - DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 716-1, Öl- und Chemikalienbindemittel - Anforderungen/ Prüfkriterien/ Zulassung, Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Juli 2011, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

**Arbeitsblatt DWA-A 716-9** - DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 716-9, Öl- und Chemikalienbindemittel - Anforderungen/ Prüfkriterien, Teil 9: Anforderungen an "R"-Ölbindemittel zur Anwendung auf Verkehrsflächen (road/Straße), Dezember 2014, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

**Güte- und Prüfbestimmungen** für die Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung, RAL-GZ 899, Fassung Oktober 2007, GGvU Gütegemeinschaft Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung e. V.

**Liste der geprüften Ölbindemittel Typ I, II, III und IV** - Sofortmaßnahmen bei Mineralölnfällen, Liste der geprüften Ölbindemittel Typ I, II, III und IV, veröffentlicht durch Verband der Hersteller geprüfter Öl- und Chemikalienbindemittel GÖC e.V., Stand: April 2016, <http://www.goec-ev.com/Downloads/downloads.html>

**M BGriff** - Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe M BGriff, Ausgabe 2012, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag

**Merkblatt DWA-M 715** - DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 715, Öl-beseitigung auf Verkehrsflächen, Dezember 2017, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

**TL Asphalt-StB 07/13** - Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, TL Asphalt-StB, Ausgabe 2007/Fassung 2013, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag

**TP Asphalt-StB, Teil 33** - Technische Prüfbedingungen für Asphalt, TP Asphalt-StB Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), Ausgabe 2007, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag

**TP Asphalt-StB, Teil 46 A** - Technischer Prüfvorschriften für Asphalt, TP Asphalt-StB, Teil 46 A: Kälteeigenschaften Einaxialer Zugversuch und Abkühlversuch, Ausgabe 2013, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag

**TP Griff-StB (SRT)** - Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau Teil: Messverfahren SRT, TP Griff-StB (SRT), Ausgabe 2004, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV-Verlag

**VDI 4089** - VDI-Richtlinien „Anforderungen an Nassreinigungsmaschinen zur Beseitigung von Ölverunreinigungen auf Verkehrsflächen“, April 2018, Verein Deutscher Ingenieure, Beuth Verlag

### 6.2 Literatur

- [1] Eisenhart, C.: Assumptions underlying the Analyses of Variance. *Biometrics* 3, 1951
- [2] Sachs, L.: *Angewandte Statistik*. Springer-Verlag, Berlin, 5. Auflage, 1976
- [3] Roos, Zimmermann, Schweiger: *Reinigung von Ölverschmutzungen auf Straßen*, erschienen als Fachbeitrag in *Straße und Autobahn*, Heft Nr. 9, Kirschbaumverlag, 2015
- [4] Wirtz: *Ölspuren - unsicheres Terrain für Straßenbaulastträger*, erschienen als Kurzbericht in *Straße und Autobahn*, Heft Nr. 9, Kirschbaumverlag, 2015

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Oberfläche einer Asphalt- Probepatte vor Behandlung.....7	Abbildung 20: SMA mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....16
Abbildung 2: Oberfläche einer Asphalt- Probepatte nach Behandlung.....8	Abbildung 21: AC mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten).....16
Abbildung 3: Asphaltbohrkern (PA-Altasphalt) 8	Abbildung 22: AC mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....16
Abbildung 4: Asphaltbohrkern (SMA- Altasphalt) .....8	Abbildung 23: PA mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten).....17
Abbildung 5: Asphaltbohrkern (AC-Altasphalt) 8	Abbildung 24: PA mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....17
Abbildung 6: Asphaltbohrkern (DSK-Altasphalt) .....9	Abbildung 25: Auswertung mittels Bildbearbeitung.....17
Abbildung 7: Mittelkörniges Ölbindemittel .....9	Abbildung 26: Zugfestigkeiten bei 5 °C für AC, SMA und PA.....18
Abbildung 8: Grobkörniges Ölbindemittel.....9	Abbildung 27: Bruchdehnungen bei 5 °C für AC, SMA und PA.....19
Abbildung 9: Sonderprüfmaschine zur Simulation der Nassreinigung .....9	Abbildung 28: Aufbringen von Diesel (Vorversuch).....20
Abbildung 10: Reinigungsschlitten.....10	Abbildung 29: Aufbringen von Motoröl (Vorversuch).....20
Abbildung 11: Unterseite Reinigungsschlitten .....10	Abbildung 30: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für PA, kontaminiert mit Diesel .....21
Abbildung 12: Prinzip Flachstrahldüsen und Sprühbild bei Rotation (Urheber der Zeichnung Franz-Wilhelm Richter, Menden) .....10	Abbildung 31: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für PA, kontaminiert mit Motoröl.....22
Abbildung 13: Ablaufschema Untersuchungen (Arbeitsschritte) .....11	Abbildung 32: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für SMA, kontaminiert mit Diesel.....22
Abbildung 14: Prüfvorrichtung für Zugversuche mit eingebauten Probekörpern.....12	Abbildung 33: Ermittlung der „Eingriffsschwelle“ für SMA, kontaminiert mit Motoröl.....23
Abbildung 15: SRT-Pendelgerät .....12	Abbildung 34: Kontaminierte Oberfläche (SMA), Betriebsmittel Diesel .....24
Abbildung 16: Prinzip der Gaschromatographie .....13	Abbildung 35: Kontamination mit Diesel auf trockener Oberfläche, Trockenreinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel .....24
Abbildung 17: Chromatogramm - Motoröl (grün), SMA Referenzprobe (blau), SMA kontaminiert mit Motoröl und mit Ölbindemittel gereinigt (rot).....13	
Abbildung 18: Chromatogramm - Diesel (grün), SMA Referenzprobe (blau), SMA kontaminiert mit Diesel und mit Ölbindemittel gereinigt (rot).....13	
Abbildung 19: SMA mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....16	

Abbildung 36: Kontamination mit Motoröl auf feuchter Oberfläche, Trockenreinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel .....	25	Abbildung 52: Nassreinigung Vergleich der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21 bzw. 60 °C) - SMA .....	38
Abbildung 37: Trockenreinigung mit Ölbindemittel - SMA, Kontamination auf trockener Oberfläche .....	26	Abbildung 53: Nassreinigung Vergleich der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21 bzw. 60 °C) - SMA (2) .....	39
Abbildung 38: Trockenreinigung mit Ölbindemittel - SMA, Kontamination auf feuchter Oberfläche .....	26	Abbildung 54: Oberfläche nach Reinigung mit Tensid in Reinigungsflüssigkeit .....	39
Abbildung 39: Kontamination mit Diesel - Oberfläche nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel .....	28	Abbildung 55: Nassreinigung - ohne/ mit Tensid in Reinigungsflüssigkeit - SMA (trockene Oberfläche) .....	40
Abbildung 40: Kontamination mit Diesel - Oberfläche nach Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel .....	28	Abbildung 56: Nassreinigung Vergleich der Temperatur der Reinigungsflüssigkeit (21 bzw. 60 °C) - SMA (feuchte Oberfläche) .....	41
Abbildung 41: Kontamination mit Motoröl - Oberfläche nach Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel .....	28	Abbildung 57: Erfassung der aufgetragenen Betriebsmittelmenge .....	42
Abbildung 42: Ermittlung des Aufpralldruckes .....	30	Abbildung 58: Rest-Betriebsmittelmenge - SMA (Kontamination auf trockener Oberfläche) .....	43
Abbildung 43: Oberfläche Offenporiger Asphalt vor und nach Beanspruchung .....	30	Abbildung 59: Rest-Betriebsmittelmenge - SMA (Kontamination auf feuchter Oberfläche) .....	44
Abbildung 44: Oberfläche Splittmastixasphalt vor und nach Beanspruchung .....	31	Abbildung 60: Optimierte Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid)- PA (trockene Oberfläche) .....	45
Abbildung 45: Oberfläche Offenporiger Asphalt vor und nach Beanspruchung (Detail Platte 22 A) .....	31	Abbildung 61: Optimierte Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid)- PA (feuchte Oberfläche) .....	46
Abbildung 46: Kontaminierte Oberfläche vor Nassreinigung (eingebaut in Sonderprüfmaschine) .....	32	Abbildung 62: Rest-Betriebsmittelmenge - PA (Kontamination auf trockener und feuchter Oberfläche) .....	47
Abbildung 47: Kontamination mit Diesel und Vorbehandlung mit Tensid .....	32	Abbildung 63: AC-Alt mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....	48
Abbildung 48: Oberfläche nach Nassreinigung (eingebaut in Sonderprüfmaschine) .....	32	Abbildung 64: AC-Alt mit Diesel- nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....	48
Abbildung 49: Nassreinigung ohne/ mit Vorbehandlung mit Tensid - SMA (trockene Oberfläche) .....	34	Abbildung 65: SMA-Alt mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....	48
Abbildung 50: Nassreinigung ohne/ mit Vorbehandlung mit Tensid - SMA (trockene Oberfläche) (2) .....	35	Abbildung 66: SMA-Alt mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten) .....	48
Abbildung 51: Nassreinigung ohne Vorbehandlung - SMA (feuchte Oberfläche) .....	35		

Abbildung 67: DSK-Alt mit Motoröl - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten).....	48
Abbildung 68: DSK-Alt mit Diesel - nach Aufbringen (oben) und nach 3 Tagen Einwirkzeit (unten).....	49
Abbildung 69: Zugfestigkeiten bei 5 °C für AC-Altasphalt und SMA-Altasphalt.....	50
Abbildung 70: Bruchdehnungen bei 5 °C für AC-Altasphalt und SMA-Altasphalt...	50
Abbildung 71: Trockenreinigung (mittelkörniges Ölbindemittel) - DSK-Altasphalt.....	52
Abbildung 72: Trockenreinigung (mittelkörniges Ölbindemittel) - AC-Altasphalt.....	52
Abbildung 73: Trockenreinigung (mittelkörniges Ölbindemittel) - SMA-Altasphalt.....	53
Abbildung 74: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - DSK-Altasphalt...	54
Abbildung 75: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - AC-Altasphalt.....	54
Abbildung 76: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - SMA-Altasphalt...	55
Abbildung 77: Nassreinigung (0,75 km/h, 21 °C, ohne Tensid) - PA-Altasphalt.....	55
Abbildung 78: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - DSK-Altasphalt..	56
Abbildung 79: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - AC-Altasphalt.....	56
Abbildung 80: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - SMA-Altasphalt..	57
Abbildung 81: Rest-Betriebsmittelmenge - SMA-Altasphalt.....	58
Abbildung 82: Trockenreinigung Vergleich mit Hydrauliköl - SMA.....	59
Abbildung 83: Nassreinigung Vergleich mit Hydrauliköl - SMA.....	60
Abbildung 84: Vergleich Nassreinigung und Trockenreinigung - SMA.....	60
Abbildung 85: Nassreinigung Vergleich mit Hydrauliköl - PA.....	61
Abbildung 86: Zugfestigkeiten bei 5 °C - SMA (Langzeitversuche.....)	62

Abbildung 87: Bruchdehnungen bei 5 °C - SMA (Langzeitversuche.....)	62
Abbildung 88: SRT-Werte - SMA Langzeitversuche.....	63
Abbildung 89: Rest-Betriebsmittelmengen - SMA Langzeitversuche.....	64

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Zugversuche bei 5 °C für AC, SMA und PA.....	18
Tabelle 2: „Eingriffsschwellen“.....	23
Tabelle 3: Statistische Auswertung - Trockenreinigung.....	27
Tabelle 4: Rechnerische Rest-Ölbindemittelmengen in Gramm.....	28
Tabelle 5: Prozentuale, rechnerische Rest-Ölbindemittelmengen.....	29
Tabelle 6: Ermittlung des Aufpralldruckes.....	32
Tabelle 7: Statistische Auswertung - Nassreinigung (Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit und Vorbehandlung mit Tensid).....	36
Tabelle 8: Statistische Auswertung - Nassreinigung (Einfluss Reinigungsgeschwindigkeit, Temperatur der Reinigungsflüssigkeit, Zugabe von Tensid in Reinigungsflüssigkeit).....	42
Tabelle 9: Ergebnisse der Zugversuche bei 5 °C für AC-Altasphalt und SMA-Altasphalt.....	49
Tabelle 10: Ergebnisse der Zugversuche bei 5 °C - SMA (Langzeitversuche).....	62

# Anhang

Tabelle A 1: Ermittlung der Eingriffsschwelle - PA mit Betriebsmittel Diesel

	Betriebsmittel- menge [ml/m <sup>2</sup> ]	SRT-Wert [SRT-Einheit]		
		trocken	kontaminiert	nach Flutung
1. Platte	16,08	93	79	71
2. Platte	16,25	95	77	75
1. Platte	30,22	104	65	72
2. Platte	30,00	94	58	67
1. Platte	44,50	92	52	63
2. Platte	47,85	92	47	60
1. Platte	59,12	90	37	54
2. Platte	57,31	90	41	56

Tabelle A 2: Ermittlung der Eingriffsschwelle - PA mit Betriebsmittel Motoröl

	Betriebsmittel- menge [ml/m <sup>2</sup> ]	SRT-Wert [SRT-Einheit]		
		trocken	kontaminiert	nach Flutung
1. Platte	15,64	94	82	71
2. Platte	18,06	93	74	68
1. Platte	30,24	90	66	66
2. Platte	32,10	90	70	63
1. Platte	47,83	92	51	62
2. Platte	44,69	93	48	57
1. Platte	60,04	88	46	57
2. Platte	59,02	93	60	65

Tabelle A 3: Ermittlung der Eingriffsschwelle - SMA mit Betriebsmittel Diesel

	Betriebsmittel- menge [ml/m <sup>2</sup> ]	SRT-Wert [SRT-Einheit]		
		trocken	kontaminiert	nach Flutung
1. Platte	14,10	93	71	69
2. Platte	14,31	91	77	70
1. Platte	28,10	93	58	66
2. Platte	30,84	94	60	74
1. Platte	42,56	91	46	66
2. Platte	44,24	91	52	69
1. Platte	60,49	92	43	60
2. Platte	58,62	92	35	58

Tabelle A 4: Ermittlung der Eingriffsschwelle - SMA mit Betriebsmittel Motoröl

	Betriebsmittel- menge [ml/m <sup>2</sup> ]	SRT-Wert [SRT-Einheit]		
		trocken	kontaminiert	nach Flutung
1. Platte	17,17	92	65	62
2. Platte	15,37	91	65	57
1. Platte	30,73	91	56	52
2. Platte	30,36	92	50	53
1. Platte	45,24	95	44	47
2. Platte	42,11	92	45	51
1. Platte	51,80	90	43	48
2. Platte	54,23	92	43	49

Tabelle A 5: Trockenreinigung mit Ölbindemittel - SMA, Kontamination auf trockener Oberfläche

Betriebsmittel Ölbindemittel		SRT-Wert [SRT-Einheit]					
		trocken	feucht	kontami- niert	nach Reinigung	nach Flutung	
Motoröl mittelkörnig	trockene Oberfläche	1. Platte	91	-	37	85	65
		2. Platte	90	-	41	88	67
Motoröl grobkörnig	trockene Oberfläche	1. Platte	89	-	43	72	61
		2. Platte	91	-	35	76	62
Diesel mittelkörnig	trockene Oberfläche	1. Platte	88	-	35	87	67
		2. Platte	89	-	35	88	68
Diesel grobkörnig	trockene Oberfläche	1. Platte	91	-	31	82	62
		2. Platte	90	-	28	83	70

Tabelle A 6: Trockenreinigung mit Ölbindemittel - SMA, Kontamination auf feuchter Oberfläche

Betriebsmittel Ölbindemittel		SRT-Wert [SRT-Einheit]					
		trocken	feucht	kontami- niert	nach Reinigung	nach Flutung	
Motoröl mittelkörnig	feuchte Oberfläche	1. Platte	89	62	34	88	78
		2. Platte	89	64	35	89	68
Motoröl grobkörnig	feuchte Oberfläche	1. Platte	90	61	34	81	66
		2. Platte	88	58	35	71	64
Diesel mittelkörnig	feuchte Oberfläche	1. Platte	89	58	31	87	72
		2. Platte	88	59	29	85	67
Diesel grobkörnig	feuchte Oberfläche	1. Platte	90	56	29	82	70
		2. Platte	91	55	29	84	70

Tabelle A 7: Nassreinigung (mit/ohne Vorbehandlung mit Tensid) - SMA, Kontamination auf trockener Oberfläche

Be- triebs- mittel	Vorbe- hand- lung ?	Tem- peratur [°C]	Ge- schwind- igkeit [km/h]		SRT-Wert [SRT-Einheit]					
					trocken	feucht	kon- tami- niert	nach Reini- gung	nach Flutung	
Motoröl	ohne Vorbe- hand- lung	21	0,75	trockene Oberfläche	1. Platte	89	-	43	65	67
					2. Platte	89	-	50	61	63
			1,5		1. Platte	88	-	36	60	64
					2. Platte	90	-	39	54	63
			2,5		1. Platte	87	-	40	45	50
					2. Platte	91	-	41	45	52
Diesel	ohne Vorbe- hand- lung	21	0,75	trockene Oberfläche	1. Platte	89	-	40	67	71
					2. Platte	89	-	38	70	73
			1,5		1. Platte	88	-	43	60	65
					2. Platte	86	-	32	59	66
			2,5		1. Platte	88	-	37	54	60
					2. Platte	89	-	32	49	56
Motoröl	Vorbe- hand- lung mit Tensid	21	0,75	trockene Oberfläche	1. Platte	89	-	37	61	64
					2. Platte	89	-	38	58	60
			1,5		1. Platte	91	-	43	60	65
					2. Platte	92	-	41	61	66
			2,5		1. Platte	90	-	37	46	54
					2. Platte	90	-	40	47	56
Diesel	Vorbe- hand- lung mit Tensid	21	0,75	trockene Oberfläche	1. Platte	88	-	40	69	71
					2. Platte	91	-	32	66	70
			1,5		1. Platte	89	-	35	64	68
					2. Platte	91	-	37	60	63
			2,5		1. Platte	89	-	36	52	59
					2. Platte	89	-	38	58	64

Tabelle A 8: Nassreinigung (mit/ohne Vorbehandlung mit Tensid) - SMA, Kontamination auf feuchter Oberfläche

Be- triebs- mittel	Vorbe- hand- lung ?	Tem- peratur [°C]	Ge- schwind- igkeit [km/h]		SRT-Wert [SRT-Einheit]					
					trocken	feucht	konta- mini- ert	nach Reini- gung	nach Flutung	
Motoröl	ohne Vorbe- hand- lung	21	0,75	feuchte Oberfläche	1. Platte	91	42	30	56	52
					2. Platte	91	64	38	66	71
			1,5		1. Platte	91	57	35	64	68
					2. Platte	91	53	34	54	65
			2,5		1. Platte	92	56	34	40	41
					2. Platte	93	55	35	40	43
Diesel	ohne Vorbe- hand- lung	21	0,75	feuchte Oberfläche	1. Platte	91	58	33	72	75
					2. Platte	91	50	33	69	72
			1,5		1. Platte	92	50	31	60	67
					2. Platte	91	51	29	60	67
			2,5		1. Platte	91	45	27	49	62
					2. Platte	93	47	28	43	56

Tabelle A 9: Nassreinigung (mit/ohne Tensid in Reinigungsflüssigkeit) - SMA, Kontamination auf trockener Oberfläche

Be- triebs- mittel	Tensid in Rei- nungs- flüssig- keit ?	Tempe- ratur [°C]	Ge- schwind- igkeit [km/h]		SRT-Wert [SRT-Einheit]					
					trocken	feucht	konta- miniert	nach Reini- gung	nach Flutung	
Motoröl	ohne Tensid	21*	0,75	trockene Oberfläche	1. Platte	89	-	43	65	67
					2. Platte	89	-	50	61	63
			1,5		1. Platte	88	-	36	60	64
					2. Platte	90	-	39	54	63
			2,5		1. Platte	87	-	40	45	50
					2. Platte	91	-	41	45	52
Motoröl	ohne Tensid	60	0,75	1. Platte	92	-	38	65	65	
				2. Platte	89	-	32	58	61	
			1,5	1. Platte	90	-	36	55	62	
				2. Platte	89	-	46	51	55	
			2,5	1. Platte	91	-	33	37	37	
				2. Platte	89	-	35	36	37	
Diesel	ohne Tensid	21*	0,75	1. Platte	89	-	40	67	71	
				2. Platte	89	-	38	70	73	
			1,5	1. Platte	88	-	43	60	65	
				2. Platte	86	-	32	59	66	
			2,5	1. Platte	88	-	37	54	60	
				2. Platte	89	-	32	49	56	
Diesel	ohne Tensid	60	0,75	1. Platte	90	-	40	74	69	
				2. Platte	93	-	33	67	68	
			1,5	1. Platte	90	-	31	51	57	
				2. Platte	89	-	32	52	59	
			2,5	1. Platte	91	-	33	41	47	
				2. Platte	89	-	30	41	42	
Motoröl	mit Tensid	21	0,75	1. Platte	87	-	35	45	60	
				2. Platte	88	-	48	49	66	
			1,5	1. Platte	85	-	41	42	59	
				2. Platte	88	-	41	42	57	
			2,5	1. Platte	89	-	38	38	57	
				2. Platte	87	-	51	42	55	
Motoröl	mit Tensid	60	0,75	1. Platte	91	-	31	43	63	
				2. Platte	88	-	37	41	54	
			1,5	1. Platte	91	-	34	41	57	
				2. Platte	86	-	41	43	57	
			2,5	1. Platte	89	-	38	40	57	
				2. Platte	89	-	35	37	57	
Diesel	mit Tensid	21	0,75	1. Platte	93	-	25	37	50	
				2. Platte	89	-	30	41	55	
			1,5	1. Platte	91	-	30	40	55	
				2. Platte	89	-	28	39	53	
			2,5	1. Platte	89	-	30	37	53	
				2. Platte	89	-	28	38	54	
Diesel	mit Tensid	60	0,75	1. Platte	91	-	28	38	50	
				2. Platte	87	-	28	41	54	
			1,5	1. Platte	87	-	28	37	48	
				2. Platte	88	-	30	38	55	
			2,5	1. Platte	89	-	26	35	49	
				2. Platte	88	-	28	35	52	

\*aus Arbeitsschritt 6

Tabelle A 10: Nassreinigung (mit/ohne Tensid in Reinigungsflüssigkeit) - SMA, Kontamination auf feuchter Oberfläche

Be- triebs- mittel	Tensid in Rei- nungs- flüssig- keit ?	Tempe- ratur [°C]	Ge- schwind- igkeit [km/h]		SRT-Wert [SRT-Einheit]					
					trocken	feucht	konta- miniert	nach Reini- gung	nach Flutung	
Motoröl	ohne Tensid	21*	0,75	feuchte Oberfläche	1. Platte	91	42	30	56	52
					2. Platte	91	64	38	66	71
			1,5		1. Platte	91	57	35	64	68
					2. Platte	91	53	34	54	65
			2,5		1. Platte	92	56	34	40	41
					2. Platte	93	55	35	40	43
Motoröl	ohne Tensid	60	0,75	feuchte Oberfläche	1. Platte	90	50	28	67	62
					2. Platte	93	50	27	70	63
			1,5		1. Platte	89	57	31	65	68
					2. Platte	90	56	31	63	66
			2,5		1. Platte	86	52	28	61	64
					2. Platte	90	52	29	59	65
Diesel	ohne Tensid	21*	0,75	feuchte Oberfläche	1. Platte	91	58	33	72	75
					2. Platte	91	50	33	69	72
			1,5		1. Platte	92	50	31	60	67
					2. Platte	91	51	29	60	67
			2,5		1. Platte	91	45	27	49	62
					2. Platte	93	47	28	43	56
Diesel	ohne Tensid	60	0,75	feuchte Oberfläche	1. Platte	89	61	30	66	69
					2. Platte	85	59	27	64	66
			1,5		1. Platte	89	53	25	62	67
					2. Platte	89	56	26	60	63
			2,5		1. Platte	90	51	26	59	65
					2. Platte	89	52	25	51	60

\* aus Arbeitsschritt 6

Tabelle A 11: Ermittlung von Rest-Betriebsmittelmengen - SMA, trockene Oberfläche

Betriebsmittel Ölbindemittel	Menge [g]	
	Betriebs- mittel	Rest-Betriebsmittel
Motoröl mittelkörnig	0,347	0,079
Motoröl grobkörnig	0,356	0,069
Diesel mittelkörnig	0,446	0,121
Diesel grobkörnig	0,445	0,131

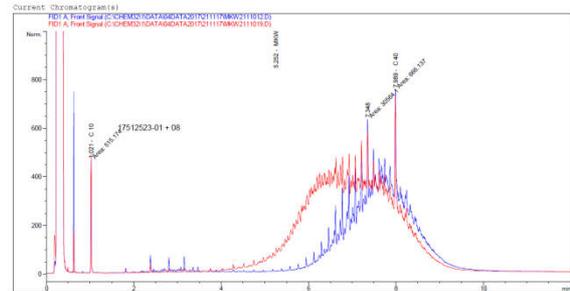


Abbildung A 2: Chromatogramm - SMA, Kontamination mit Motoröl, Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel

Tabelle A 12: Ermittlung von Rest-Betriebsmittelmengen - SMA, feuchte Oberfläche

Betriebsmittel Ölbindemittel	Menge [g]	
	Betriebs- mittel	Rest-Betriebsmittel
Motoröl mittelkörnig	0,342	0,137
Motoröl grobkörnig	0,344	0,142
Diesel mittelkörnig	0,437	0,202
Diesel grobkörnig	0,418	0,148

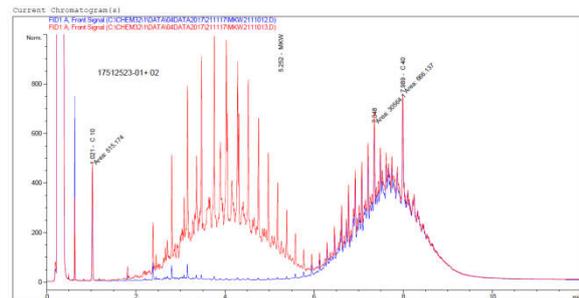


Abbildung A 3: Chromatogramm - SMA, Kontamination mit Diesel, Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel

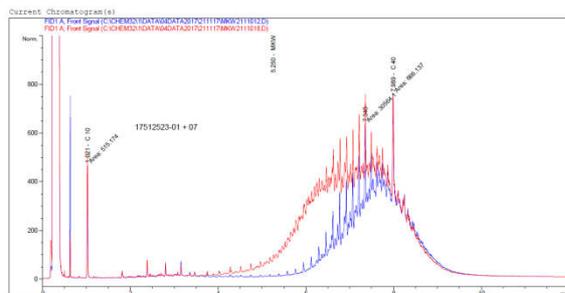


Abbildung A 1: Chromatogramm - SMA, Kontamination mit Motoröl, Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel

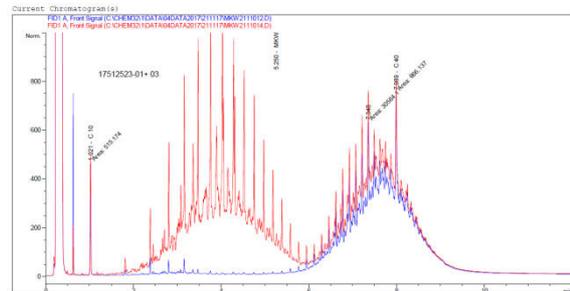


Abbildung A 4: Chromatogramm - SMA, Kontamination mit Diesel, Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel

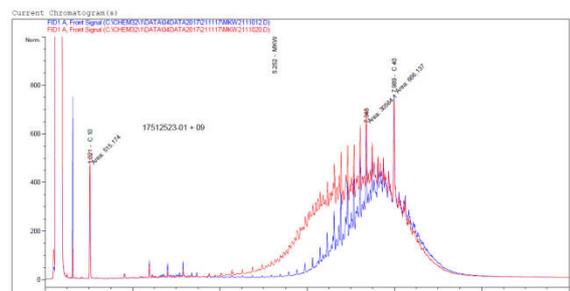


Abbildung A 5: Chromatogramm - SMA, feuchte Oberfläche, Kontamination mit Motoröl, Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel

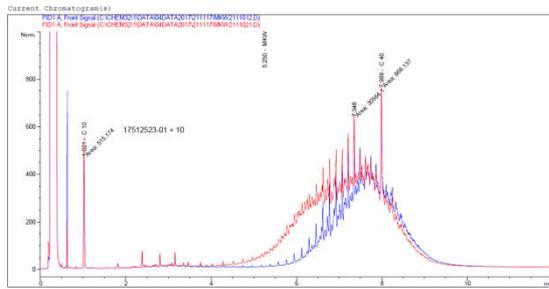


Abbildung A 6 Chromatogramm - SMA, feuchte Oberfläche, Kontamination mit Motoröl, Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel

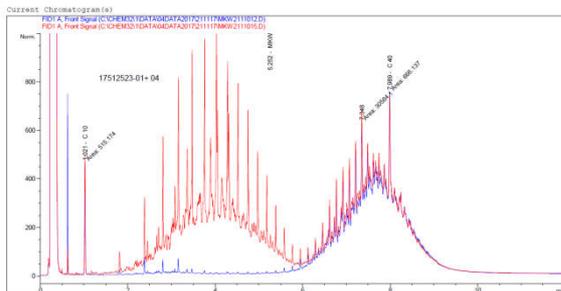


Abbildung A 7: Chromatogramm - SMA, feuchte Oberfläche, Kontamination mit Diesel, Reinigung mit mittelkörnigem Ölbindemittel

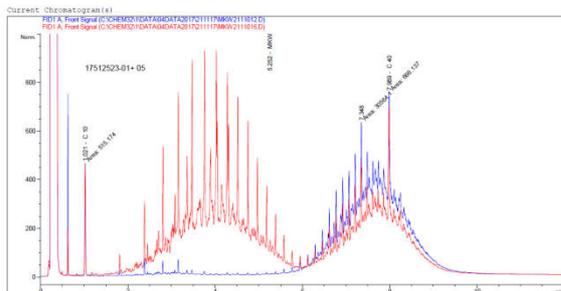


Abbildung A 8: Chromatogramm - SMA, feuchte Oberfläche, Kontamination mit Diesel, Reinigung mit grobkörnigem Ölbindemittel

Tabelle A 13: Ermittlung von Rest-Betriebsmittelmengen - SMA, optimierte Nassreinigung

Betriebsmittel/ Oberfläche	Menge [g]	
	Betriebsmittel	Rest-Betriebsmittel
Motoröl trocken	0,399	0,010
Diesel trocken	0,605	0,050
Motoröl feucht	0,422	0,030
Diesel feucht	0,616	0,060

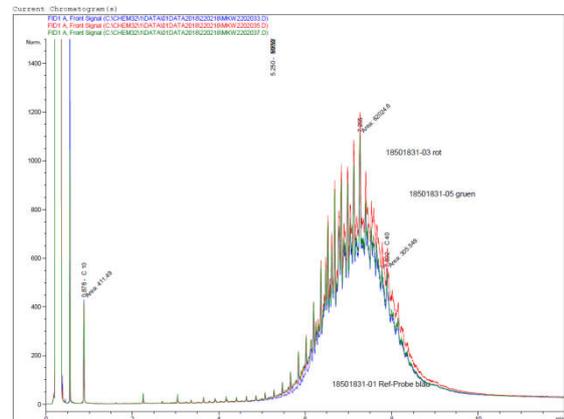


Abbildung A 9: Chromatogramm - SMA, Kontamination mit Motoröl auf trockener (grün) bzw. feuchter (rot) Oberfläche, optimierte Nassreinigung

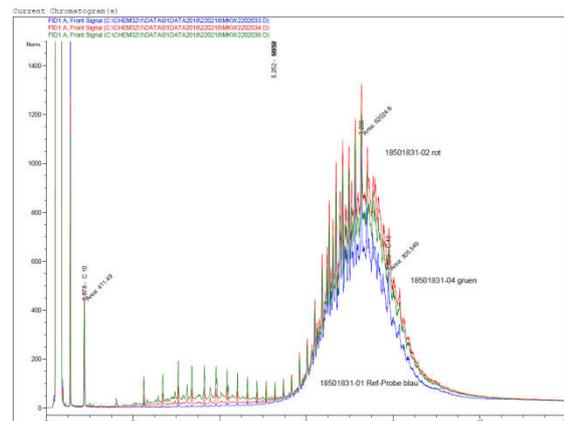


Abbildung A 10: Chromatogramm - SMA, Kontamination mit Diesel auf trockener (grün) bzw. feuchter (rot) Oberfläche, optimierte Nassreinigung

Tabelle A 14: Optimierte Nassreinigung - PA

Be- triebs- mittel	Optimierte Nassreini- gung				SRT-Wert [SRT-Einheit]					
					trocken	feucht	konta- miniert	nach Reini- gung	nach Flutung	
Motoröl	ohne Tensid	21 °C	0,75 km/h	trockene Ober- fläche	1. Platte	85	-	38	54	60
2. Platte					92	-	39	57	60	
Diesel				1. Platte	93	-	35	59	63	
					2. Platte	87	-	34	63	66
Motoröl				feuchte Ober- fläche	1. Platte	88	57	34	59	61
					2. Platte	88	56	35	60	60
Diesel				1. Platte	89	58	36	62	65	
					2. Platte	92	56	35	62	68

Tabelle A 15: Ermittlung von Rest-Betriebsmittelmengen - PA, optimierte Nassreinigung

Betriebsmittel/ Oberfläche	Menge [g]	
	Betriebs- mittel	Rest-Betriebs- mittel
Motoröl trocken	0,855	0,420
Diesel trocken	0,624	0,095
Motoröl feucht	0,834	0,080
Diesel feucht	0,662	0,090

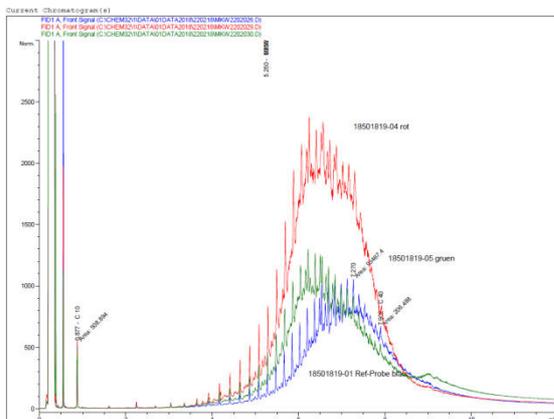


Abbildung A 11: Chromatogramm - PA, Kontamination mit Motoröl auf trockener (grün) bzw. feuchter (rot) Oberfläche, optimierte Nassreinigung

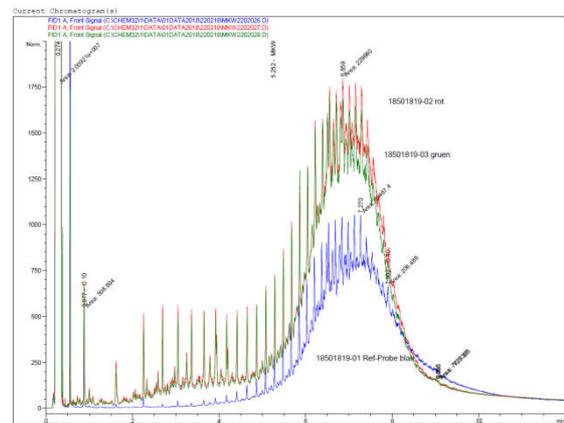


Abbildung A 12: Chromatogramm - PA, Kontamination mit Diesel auf trockener (grün) bzw. feuchter (rot) Oberfläche, optimierte Nassreinigung

Tabelle A 16: Optimierte Trockenreinigung - Alt-Asphalte

Asphalt-sorte	Betriebs-mittel	Optimierte Trocken-reinigung	SRT-Wert [SRT-Einheit]					
			trocken	konta-miniert	nach Reinigung	nach Flutung		
DSK-Alt	Motoröl	Mittelkörniges Öbindemittel	trockene Oberfläche	BK 3	85	39	72	50
				BK 4	94	36	76	48
	Diesel			BK 1	87	27	82	45
				BK 2	86	26	77	35
AC-Alt	Motoröl			BK 3	88	40	75	52
				BK 5	90	35	76	52
	Diesel			BK 1	91	33	87	41
				BK 2	86	26	77	35
SMA-Alt	Motoröl			BK 3	87	46	79	37
				BK 5	87	38	80	42
	Diesel			BK 1	93	45	88	36
				BK 2	87	29	85	36

Tabelle A 17: Optimierte Nassreinigung - Alt-Asphalte

Asphalt-sorte	Betriebs-mittel	Optimierte Nass-reinigung			SRT-Wert [SRT-Einheit]					
					trocken	konta-miniert	nach Reinigung	nach Flutung		
DSK-Alt	Motoröl	ohne Tensid	21 °C	0,75 km/h	trockene Oberfläche	BK 9	91	39	39	40
	Diesel					BK 11	91	46	41	42
						BK 5	87	35	44	48
	Hydrauliköl					BK 8	93	34	35	40
						BK 12	91	40	46	47
BK 13						91	33	43	43	
AC-Alt	Motoröl					BK 6	95	39	45	48
	Diesel					BK 7	89	32	32	30
						BK 8	91	30	35	37
	Hydrauliköl					BK 11	91	28	31	33
						BK 9	92	37	46	47
SMA-Alt	Motoröl					BK 10	89	40	45	43
						BK 6	90	34	39	39
	Diesel					BK 7	90	43	34	34
						BK 8	91	56	32	32
	Hydrauliköl	BK 13	86	56	30	30				
		BK 14	95	37	33	34				
PA-Alt	Motoröl	BK 15	95	46	33	33				
		BK 2	90	41	33	31				
	Diesel	BK 3	89	32	32	30				
		BK 4	91	76	37	36				
	Hydrauliköl	BK 5	86	56	30	30				
		BK 6	90	41	40	37				
		BK 7	90	37	31	31				

Tabelle A 18: Bohrkern SRT-Wert „feucht“

Asphalt- sorte	BK	SRT-Wert „feucht“ [SRT-Einheit]
DSK-Alt	BK 10	50,8
	BK 14	52,8
AC-Alt	BK 12	49,8
	BK 14	52,4
SMA-Alt	BK 14	34,9
	BK 15	36,8
PA-Alt	BK 8	39,0
	BK 9	40,0



Tabelle A 20: Trockenreinigung bei Kontamination mit Hydrauliköl

Betriebsmittel Ölbindemittel		SRT-Wert [SRT-Einheit]				
		trocken	feucht	kontami- niert	nach Reinigung	nach Flutung
Hydrauliköl mittelkörnig	1. Platte	93	-	38	79	61
	2. Platte	87	-	26	73	58

Tabelle A 21: Optimierte Nassreinigung bei Kontamination mit Hydrauliköl

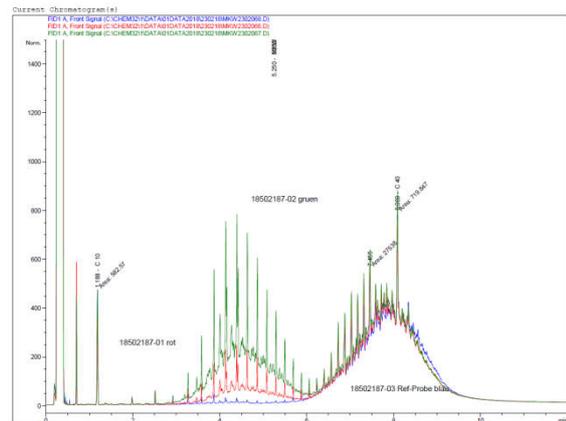
As- phalt- sorte	Optimierte Nassreini- gung				SRT-Wert [SRT-Einheit]				
					trocken	kontami- niert	nach Reinigung	nach Flutung	
SMA	ohne Tensid	21 °C	0,75 km/h	trockene Ober- fläche	1. Platte	90	35	58	61
					2. Platte	92	37	58	62
PA					1. Platte	88	42	58	62
					2. Platte	89	41	55	56

Tabelle A 22: SRT-Wert - Langzeitversuche

Betriebsmittel (-menge) Reinigung ?		SRT-Wert [SRT-Einheiten]	
		trocken	nach 2 Monaten
Diesel 15 ml/m <sup>2</sup> ohne Reinigung	1. Platte	90	90
	2. Platte	89	87
Diesel 73,7 ml/m <sup>2</sup> Trockenreinigung	1. Platte	90	86
	2. Platte	90	88

Tabelle A 23: Rest-Betriebsmittelmenge Diesel Langzeitversuche

Betriebsmittel (-menge) Reinigung ?	Menge [g]	
	Betriebsmittel	Rest-Betriebsmittel
Diesel 15 ml/m <sup>2</sup> ohne Reinigung	0,086	0,022
Diesel 73,7 ml/m <sup>2</sup> Trockenreinigung	0,423	0,083

Abbildung A 17: Chromatogramm - Langzeitversuche SMA mit Diesel, Kontamination mit 15 ml/m<sup>2</sup> (rot), Kontamination mit 73,7 ml/m<sup>2</sup> und Trockenreinigung (grün), Referenzprobe (blau)