

# Beanspruchung und Entfernbareit temporärer Fahrbahnmarkierung

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 94

**bast**

# Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung

von

Dirk Kemper  
Andreas Schacht  
Christoph Klapproth  
Markus Oeser

Institut für Straßenwesen (isac)  
RWTH Aachen

Georg Beyer

traffiConsult beyer  
Saarbrücken

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Straßenbau Heft S 94**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

#### **Impressum**

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 03.0479/2011/EGB:**  
Beanspruchung und Entfernbarkeit  
temporärer Fahrbahnmarkierung

**Fachbetreuung:**  
Stephan Killing

**Herausgeber**  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag**  
Fachverlag NW in der  
Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9323  
ISBN 978-3-95606-228-5

Bergisch Gladbach, Januar 2016

## Kurzfassung – Abstract

### Beanspruchung und Entfernbarekeit temporärer Fahrbahnmarkierung

Die vorübergehende (gelbe) Markierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Absicherung von Arbeitsstellen auf Straßen. Im Bereich der Baumaßnahme dient diese Markierung als visuelle Führung des Verkehrs. Die gelbe Markierung gilt übergeordnet zur dauerhaften weißen Markierung.

Neben der Einhaltung der verkehrstechnischen Anforderungen der Markierung stellt die rückstandslose Entfernbarekeit der Markierung oftmals ein Problem in der Praxis dar. Verbleibende Rückstände auf der Fahrbahn (Markierungs- oder Gewebereste, Primer) werden oftmals als sogenannte Phantommarkierungen bezeichnet und müssen ggfs. mechanisch (z. B. mit Fräsen) aufwendig entfernt werden. Bisher konnte noch keine Erkenntnisse gewonnen werden, warum Markierungen auf bestimmten Fahrbahnoberflächen Rückstände hinterlassen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden daher mittels Feldstudien sowie eines umfassenden Versuchsprogramms versucht, die wesentlichen Einflussgrößen auf die Haltbarkeit und die Entfernbarekeit der vorübergehenden Markierung zu ermitteln. Zudem sollte zur Ergänzung des existierenden Prüfverfahrens ein praxisnahes Bewertungssystem entwickelt werden.

Zunächst wurde daher ein Prüfprogramm erstellt, um die relevanten Parameter zu ermitteln, die die Entfernbarekeit der Markierung beeinflussen. Es konnte gezeigt werden, dass die Entfernbarekeit von vielen unterschiedlichen Einflussgrößen (u. a. die Beanspruchung, die Oberflächentextur und -beschaffenheit, die Materialeigenschaften oder der Alterungszustand der Straßenoberfläche sowie der verwendete Primer und Kleber) abhängig ist. Aufgrund der Vielfalt der Einflussgrößen kann die Beurteilung nicht auf Basis einer einzelnen Versuchsanordnung, wie z. B. bei den Versuchen in der RPA, vorgenommen werden.

Insbesondere die Makrotexturbewertung zeigen, dass eine größere Makrotextur zu tendenziell geringeren Abzugskräften führt. Ebenso ließen sich Einflüsse aus der Alterung der Straßenoberfläche sowie der Verwendung der Gesteinsarten nachweisen.

Liegen die gemessenen maximalen Abzugskräfte zwischen 50 N und 150 N ist sichergestellt, dass die Markierungen ausreichend fest verklebt sind, aber nach Beendigung der Baumaßnahme i. d. R. ohne Materialrückstände entfernt werden können. Die Messung der Entfernbarekeit, ohne vorherige Beanspruchung der Markierung, führt nicht zu realitätsnahen Ergebnissen, sodass die Belastung durch die ARTe erforderlich ist.

Auf Grundlage der erzielten Ergebnisse kann somit die Entfernbarekeit der Markierung als Zulassungsprüfung in das Standardprüfprogramm aufgenommen werden.

### Stress and removability of temporary pavement marking

The temporary (yellow) marking is an essential component of the work site securing on roads. In the area of the construction measure, this marking serves as a visual traffic routing. The yellow marking shall have priority over the permanent white marking.

In addition to the compliance with traffic-related requirements of the marking, also the residue-free removability of the marking often represents a problem for practice. Remaining residues on the lane (marking residues or mesh leftovers, primers) are often referred to as so-called phantom markings and, if necessary, need to be removed mechanically (e. g. by milling) with great effort. So far, no evidence could be obtained that explains why markings leave residues on certain road surfaces.

As part of the research project, it was therefore tried to determine the main factors influencing the durability and removability of the temporary marking by field studies and a comprehensive test programme. Furthermore, a practice-oriented evaluation system should be developed as a complement to the existing test method.

Therefore, a test programme was created in the first instance in order to determine the relevant parameters influencing the removability of the marking. It could be shown that the removability is dependent on many different factors (amongst

others the stress, the surface texture and the surface properties, the material characteristics or the aging condition of the road surface as well as the used primer and adhesive). Due to the variety of influencing factors, the evaluation cannot be performed on the basis of a single test arrangement, as for instance for the tests in the RPA.

In particular the macro texture evaluations show that a larger macro texture tends to result in lower extraction forces. Likewise, influences from road surface aging and the use of rock types could be detected.

If the measured maximum extraction forces are between 50 N and 150 N, it is ensured that the markings are sufficiently glued and can be removed after the completion of the construction measure usually without material residues. The measurement of the removability, without prior stress of the marking, does not lead to realistic results so that the stress by ARTe is required.

Based on the achieved results, the removability of the marking can thus be integrated into the standard test programme as an admission procedure.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage, Problemstellung und Zielsetzung</b> .....	7	3.5	Auswertung .....	21
<b>2</b>	<b>Grundlagenstudie</b> .....	8	3.6	Belastungsprüfung mit dem Aachener-Ravelling-Tester (ARTe) .....	21
2.1	Fahrbahnmarkierungen .....	9	<b>4</b>	<b>Definition möglicher Einflussgrößen und Ableitung einer Prüfmatrix</b> .....	22
2.2	Arten von Markierungen .....	9	4.1	Einfluss der Straßenoberfläche .....	23
2.3	Markierungsmaterialien .....	9	4.1.1	Asphaltoberflächen .....	23
2.3.1	Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme .....	9	4.1.2	Betonoberflächen .....	26
2.3.2	Vorgefertigte Markierungssysteme .....	10	4.2	Einfluss der Oberflächentextur der Straßenoberfläche .....	27
2.3.3	Markierungselemente .....	11	4.3	Einfluss der Applikationsfläche zwischen Fahrbahn und temporärer Markierung .....	27
2.3.4	Beistoffe .....	11	4.4	Einfluss der Gesteinsart .....	28
2.4	Vorübergehende Fahrbahnmarkierungen .....	11	4.5	Einfluss der Materialeigenschaften der Markierungsfolien .....	28
2.4.1	Gesetzliche Grundlagen und Regelwerke .....	11	4.6	Ableitung einer Prüfmatrix .....	28
2.4.2	Aufgabe und Funktion temporärer Fahrbahnmarkierungen .....	11	4.6.1	Auswahl von Oberflächen .....	28
2.4.3	Anforderungen an temporäre Markierungen .....	11	4.6.2	Auswahl der Markierungsmaterialien .....	29
2.4.4	Prüfverfahren für temporäre (vorübergehende) Markierungen .....	12	<b>5</b>	<b>Länderabfrage</b> .....	31
2.4.5	Aufbau temporärer Markierung (Herstellerinformationen) .....	14	<b>6</b>	<b>Ermittlung der Belastung durch Verkehrserhebung</b> .....	32
2.4.6	Herstellung temporärer Markierung (Verlegeanleitungen) .....	15	6.1	Beanspruchung und Belastung temporärer Markierung .....	33
2.4.7	Entfernung der Markierungen .....	15	6.2	Einrichtung von Arbeitsstellen .....	33
2.4.8	Phantommarkierung .....	16	6.3	Verkehrserhebungen .....	35
2.4.9	Einfluss von Klima und Witterung .....	16	6.4	Entwicklung eines Bewertungssystems .....	37
2.5	Zusammenfassung der Erkenntnisse .....	17	6.4.1	Ermittlung der relevanten Parameter .....	37
<b>3</b>	<b>Untersuchungsmethodik und -methoden</b> .....	17	6.4.2	Geometrische Parameter .....	37
3.1	Untersuchungsmethodik .....	17	6.4.3	Verkehrliche Parameter .....	37
3.2	Bestimmung der Oberflächentextur .....	18	6.4.4	Dauer der Arbeitsstelle .....	38
3.3	Texturindikatoren und -kenngößen .....	19	6.4.5	Eigenschaften der Straßenoberflächen .....	38
3.4	Bestimmung der Applikationsfläche zwischen Markierung und Fahrbahnoberfläche .....	20	6.5	Bestimmung der Faktoren .....	38

6.5.1	Erläuterung der Faktoren . . . . .	38
6.6	Ablauf des Bewertungssystems anhand eines Beispiels. . . . .	39
<b>7</b>	<b>Labortechnische Prüfung der Dauerhaftigkeit und Entfer- barkeit temporärer Markierung</b> . . . . .	<b>40</b>
7.1	Probekörperherstellung und Applikation der temporären Markierungen . . . . .	40
7.1.1	Probekörper- bzw. Prüfkörper- herstellung . . . . .	40
7.1.2	Applikation der temporären Fahrbahnmarkierungen auf die Prüfkörper . . . . .	40
7.2	Definition von Prüfparametern für die Belastungsversuche . . . . .	41
7.3	Simulation einer realitätsnahen Belastung . . . . .	44
7.3.1	Vorgehensweise . . . . .	44
7.3.2	Erkenntnisse aus den Belastungs- prüfungen . . . . .	44
7.4	Analyse der Oberflächenparameter der untersuchten Applikationsober- flächen . . . . .	46
7.5	Untersuchung der Entfernbareit . . . . .	51
7.5.1	Auswertung der Abzugsversuche . . . . .	52
7.5.2	Variantenvergleich . . . . .	52
7.5.3	Analyse der Abzugsversuche unter Berücksichtigung der Textur- kennwerte . . . . .	56
7.6	Zusammenführung der Ergebnisse . . . . .	58
7.7	Bewertungssystem . . . . .	59
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung, Fazit.</b> . . . . .	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>62</b>

## 1 Ausgangslage, Problemstellung und Zielsetzung

Der Großteil des deutschen Autobahnnetzes wurde in den 1970er und 1980er Jahren gebaut, sodass die Straßeninfrastruktur vielerorts ihre Lebensdauer bereits erreicht bzw. überschritten hat. Eine stetige Instandsetzung sowie eine teilweise grundlegende Erneuerung sind daher unumgänglich, um die Funktionalität und die Leistungsfähigkeit des deutschen Autobahnnetzes aufrechtzuerhalten. Darüber hinaus ist aufgrund des stetig wachsenden Verkehrsaufkommens, insbesondere des Schwerverkehrs, der Ausbau bestehender Strecken und Neubaumaßnahmen zur Lückenschließung auf überregionalen und internationalen Verbindungsstrecken erforderlich. Dies ist zumeist durch Baumaßnahmen in oder in der Nähe von fließendem Verkehr zu realisieren. Die Einrichtung von Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) ist aus diesem Grund unumgänglich.

Die AID werden gemäß den Regelplänen der Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA, 1995) eingerichtet. In diesen Regelplänen sind die Verkehrsführungen für Arbeitsstellen vorgegeben. Weiterhin ist dargestellt, wie die Arbeitsstellen abgesperrt, beschildert und markiert werden sollen.

Die vorübergehende (gelbe) Markierung ist ein wesentlicher Bestandteil der Absicherung von Arbeitsstellen auf Straßen. Im Bereich der Baumaßnahme dient diese, sogenannte temporäre Markierung, als visuelle Führung und zeigt den Verkehrsteilnehmern die geänderte Verkehrsführung an. Die gelbe Markierung gilt übergeordnet zur dauerhaften („normalen“ weißen) Markierung. Dieses bedeutet, dass die vorübergehende Markierung die Funktion der weißen Markierung aufhebt ohne dass diese entfernt oder abgedeckt werden muss. Die Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen ist daher in hohem Maße abhängig von der Erkennbarkeit der temporären Markierung.

Die Markierung der Arbeitsstelle muss jederzeit eindeutig von der ständigen Markierung zu unterscheiden sein, d. h. es darf nicht zu Verwechslungen mit der dauerhaften Markierung kommen. Die vorübergehende Markierung muss daher unabhängig von Witterungsverhältnissen und Tageszeit, mindestens ebenso erkennbar sein, wie die permanente Markierung. Aus diesem Grund ist neben einer dauerhaft ausreichenden Retroreflexion die Beständig-

keit der temporären Markierungen während der gesamten Baumaßnahme von großer Bedeutung (PETRY et al., 2010).

Um diese Anforderungen hinsichtlich Haltbarkeit und Sichtbarkeit zu erfüllen, müssen die vorübergehenden Markierungen der Beanspruchung durch den Verkehr während der Bauzeit standhalten. Die Belastung der vorübergehenden Markierung ist in den letzten Jahren in erster Linie durch die Zunahme des Güterverkehrsaufkommens im Fernverkehr stark gestiegen. Hinzu kommen sich verändernde Abmessungen der Fahrzeuge: Neue Pkw sind oft wesentlich breiter als noch vor einigen Jahren und nicht selten übersteigt die tatsächliche Fahrzeugbreite die Begrenzung auf maximal 2,0 m bzw. aktuell 2,1 m auf dem linken Fahrstreifen (SÜMMERMANN, 2012).

In einer Arbeitsstelle mit einer 4+0-Verkehrsführung weist der Überholfahrstreifen gemäß den RSA (1995) in vielen Fällen nur eine Breite von 2,50 m auf. Die Markierungen werden dabei zur eigentlichen Fahrstreifenbreite hinzugerechnet (SCHÖNBORN/SCHULTE, 1999). Aufgrund der gleichbleibenden Fahrstreifenbreite wird der Raum, der den Fahrzeugen zur Verfügung steht immer geringer. Daraus resultiert, dass die Markierungen zwangsläufig häufiger überfahren werden und somit höheren Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Neben den Überrollungen durch die Fahrzeuge beeinflusst die Straßenoberfläche die Beanspruchung der Markierung. KILLING/HIRSCH (2007) konnten bereits einen signifikanten Einfluss der Oberflächentextur auf den Verschleiß der temporären Markierungsfolien nachweisen. Darüber hinaus konnte PETRY et al. (2010) in einer Untersuchung zur mechanischen Haltbarkeit verschiedener Foliensysteme nachweisen, dass die Abnutzung der Folien mit zunehmender Rauigkeit der Oberfläche schneller voranschreitet. Es zeigte sich in den anschließenden Abziehversuchen, dass der Grad der Abnutzung auch die Entfernbarekeit der Folien beeinflusst, da auf sehr rauem Untergrund (z. B. auf offenporigem Asphalt) die Folien mitunter eher einreißen oder kleine einzelne Stücke abgetrennt werden, die in die Struktur eingetragen werden und nach der Entfernung der Folien auf der Oberfläche zurückbleiben. Die so in der Asphaltbefestigung zurückbleibenden „Folienreste“ können vom Verkehrsteilnehmer, insbesondere in der Dämmerung oder bei Niederschlagswetter, als sogenannte Phantommarkierung wahrgenommen wer-



den. Diese Problematik ist gemäß PETRY et al. (2010) auf offenporigen Oberflächen besonders ausgeprägt. Gleichmaßen ist zu vermuten, dass dies auch durch den verwendeten Primer und Kleber sowie die Konstruktion des Foliensystems an sich, beeinflusst wird. Die Prüfung von temporären Fahrbahnmarkierungen umfasst jedoch nur die Haltbarkeit und die lichttechnischen Eigenschaften von Markierungen bei einer Dauerbelastung in einer Rundlaufprüfanlage. Die diesbezüglichen Anforderungen und Prüfbedingungen für temporäre Markierungen sind in den „Technischen Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien (TL M, 2006)“ geregelt.

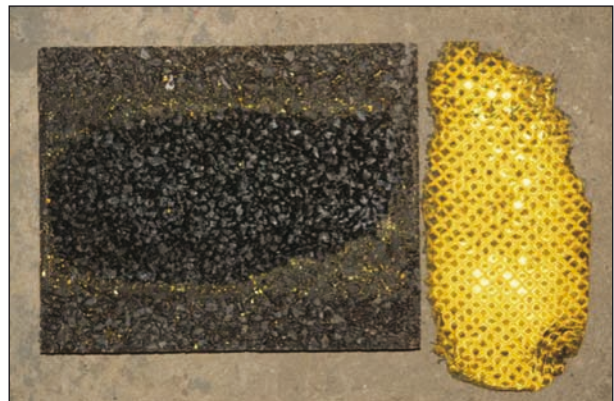
Der Widerstand der temporären Markierung gegen Schub- und Schlupfbelastungen, die im Bereich von Arbeitsstellen durch Brems- und Beschleunigungsvorgänge vermehrt auftreten wird nicht bzw. nur in geringem Maße geprüft (eine Prüfung bei dauerhafter Markierung erfolgt ebenso nicht). Auch der Einfluss von verschiedenen Straßenoberflächen auf die Lebensdauer und abschließende Entfernbarkeit der Markierung ist nicht Bestandteil der Prüfung.

Ein großes Problem in der Praxis stellt zudem die Bewertung von Rückständen auf der Fahrbahn nach einer Demarkierung dar. Derzeit existiert kein Verfahren zur Überprüfung der Entfernbarkeit, obwohl eine rückstandslose Entfernung der Folien in der Praxis von großer Bedeutung ist. Bleiben bei Beendigung der Baumaßnahme nach der Demarkierung aufgrund von Rückständen auf der Fahrbahn sogenannte Phantommarkierungen auf der Fahrbahnoberfläche zurück (vgl. Bild 1 oder Bild 2), kann es zu gefährlichen Verwechslungen mit der ständigen Markierung kommen. Ein Maß zur Beurteilung dieser sog. Schatten- bzw. Phantommarkierungen liegt nicht vor, zumal es sich hier nicht nur um Markierungsrückstände handeln muss, sondern auch um Überreste einer Grundierung (Primer) oder Farbunterschiede, die sich durch die unterschiedliche Belastung der verschiedenen Fahrbahnbereiche ergeben. Die reine Beschreibung, wann Rückstände als Phantommarkierung bezeichnet werden können, ist nicht Gegenstand dieser Forschung und sollte in einer eigenen Arbeit bewertet werden.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist daher vorgesehen mittels Feldstudien sowie eines umfassenden Versuchsprogramms an handelsüblichen Produkten, die häufig zur Markierung in Arbeitsstel-



**Bild 1:** Geweberückstände auf der Fahrbahn nach Demarkierung



**Bild 2:** Farbunterschiede auf der Fahrbahnoberfläche nach Demarkierung

len eingesetzt werden, die wesentlichen Einflussgrößen auf die Haltbarkeit und die Entfernbarkeit der vorübergehenden Markierung zu ermitteln. Basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen soll zur Ergänzung des existierenden Prüfverfahrens ein praxisnahes Bewertungs- und Klassifizierungssystem entwickelt werden. Darüber hinaus soll das Verfahren im Rahmen der Eignungsprüfung um die Prüfung der Entfernbarkeit der Folien erweitert werden.

## 2 Grundlagenstudie

Zunächst werden im Rahmen einer Grundlagenstudie die verschiedenen Arten von Markierungen definiert und voneinander abgegrenzt. Darüber hinaus werden Anforderungen, Funktionen und Prüfbedingungen von temporären Fahrbahnmarkierungen dargestellt und erläutert. Neben der Aufbereitung des rechtlichen Hintergrundes aus Normen und Regelwerken wird zu diesem Zweck die Auswertung einer Befragung der Länder zu ihren bis-

herigen Erfahrungen in der Anwendung von temporären Fahrbahnmarkierungen herangezogen.

## 2.1 Fahrbahnmarkierungen

Gemäß den ZTV M 13 sind Markierungen Verkehrszeichen entsprechend §§ 39 ff. StVO und Markierungszeichen gemäß der „Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS)“. Markierungen bilden gemeinsam mit Straßenmarkierungsknöpfen die horizontalen Signaleinrichtungen auf Straßen und umfassen Markierungssysteme, Markierungsknöpfe und/oder Sichtzeichen. Die Applikation von Fahrbahnmarkierungen erfolgt durch das Aufbringen von Markierungssystemen (Markierungsstoffe mit injizierten Beistoffen) auf die Fahrbahn (aufgelegte Markierungen) oder durch Ausparungen in der Fahrbahndecke (eingelegte Markierungen). Fahrbahnmarkierungen müssen den „Technischen Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien (TL M)“ in der jeweils gültigen Fassung entsprechen (DIN EN 1436, 2009; ZTV M 02, 2002; ZTV M 13, 2012, TL M 06, 2006).

## 2.2 Arten von Markierungen

In Abhängigkeit ihrer Anwendung und Funktion unterscheidet die ZTV M (2013) zwischen endgültigen (weißen) und vorübergehenden (gelben) Markierungen auf Straßen, die aus Markierungssystemen hergestellt sind.

### Endgültige Markierungen

Weißer Fahrbahnmarkierungen in endgültiger Lage werden als endgültige Markierungen bezeichnet.

### Verkehrsfreigabemarkierungen

Verkehrsfreigabemarkierungen sind weiße Markierungen, die vorübergehend auf einer neuen oder instandgesetzten Straßendeckschicht appliziert werden, falls das Aufbringen einer endgültigen Markierung technisch- oder witterungsbedingt zunächst nicht möglich ist.

### Vorübergehende Markierungen

Vorübergehende Markierungen sind gelbe Fahrbahnmarkierungen, die für einen begrenzten Zeitraum im Bereich von Arbeitsstellen auf Straßen appliziert werden. Diese heben während ihrer

Liegedauer die vorhandenen dauerhaften weißen Markierungen auf und zeigen dem Verkehrsteilnehmer dadurch eine geänderte Verkehrsführung innerhalb der Baustelle an. Um diese Funktion erfüllen zu können, müssen sie bei Tag und Nacht mindestens ebenso auffällig und sichtbar sein wie die vor Ort vorhandenen weißen Markierungen.

### Vormarkierung

Unter Vormarkierung sind kurzfristig sichtbare Hilfslinien zu verstehen, die dazu dienen die genaue Lage und Abmessungen der späteren Markierungszeichen anzuzeigen.

## 2.3 Markierungsmaterialien

Fahrbahnmarkierungen können in Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme sowie für vorgefertigte Markierungssysteme eingeteilt werden (vgl. Bild 3).

### 2.3.1 Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme

Als Material für nicht vorgefertigte Fahrbahnmarkierungen kommen lösemittelhaltige Farben, Dispersionen, reaktive Stoffe sowie thermoplastische Stoffe zum Einsatz (vgl. Bild 4). Meist ist die Einsatzbestimmung entscheidend dafür, welches Markierungssystem gewählt wird.

### Lösungsmittelhaltige Farben

Lösungsmittelhaltige Farben bestehen aus Bindemitteln wie z. B. Acrylat- oder Epoxidharzen sowie Pigmenten, Lösemitteln, Füllstoffen und Additiven. Die Aushärtung, die sogenannte Filmbildung, erfolgt durch Verdunsten der enthaltenden organischen Lösemittel und ggf. durch chemische Reaktion (TL M, 2006).

### Dispersionen

Dispersionen bestehen aus in einer Flüssigkeit dispergierten Polymerteilchen. Der Hauptbestandteil der Flüssigkeit ist Wasser. Die Aushärtung (Filmbildung) wird vorrangig durch Aufhebung der Stabilisierung der dispergierten Polymerteilchen sowie durch physikalische Trocknung bewirkt (TL M, 2006).

**Reaktive Stoffe (Kaltplastiken)**

Reaktive Stoffe bestehen aus einer oder mehreren Komponenten, härten durch chemische Reaktion aus und sind lösemittelfrei (TL M, 2006).

**Thermoplastische Stoffe (Heißplastiken)**

Thermoplastische Stoffe beinhalten thermoplastische Bindemittel. Sie sind lösemittelfrei und haben in der Regel eine Verarbeitungstemperatur zwischen 150 °C und 230 °C (TL M, 2006).

**2.3.2 Vorgefertigte Markierungssysteme**

Vorgefertigte Markierungssysteme sind zumeist Folien, die industriell vorgefertigt werden und auf

der Straße mit einem Kleber, Primer, Bitumen oder heißem Asphalt appliziert werden. Hierdurch ist eine gleichbleibend hohe Qualität der Fahrbahnmarkierung in standardisierter Breite und Ausführung möglich. Allerdings lassen sich durch vorgefertigte Markierungssysteme zumeist keine bzw. nur mit erheblichem Aufwand „Sonderformate“, wie beispielsweise Richtungspfeile oder Ähnliches, realisieren.

Der Schwerpunkt dieses Forschungsvorhabens liegt in der Untersuchung vorübergehender Fahrbahnmarkierungen, welche überwiegend als Folien angeboten werden. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle auf eine weiterführende Darstellung der nicht vorgefertigten Markierungssysteme verzichtet (TL M, 2006).

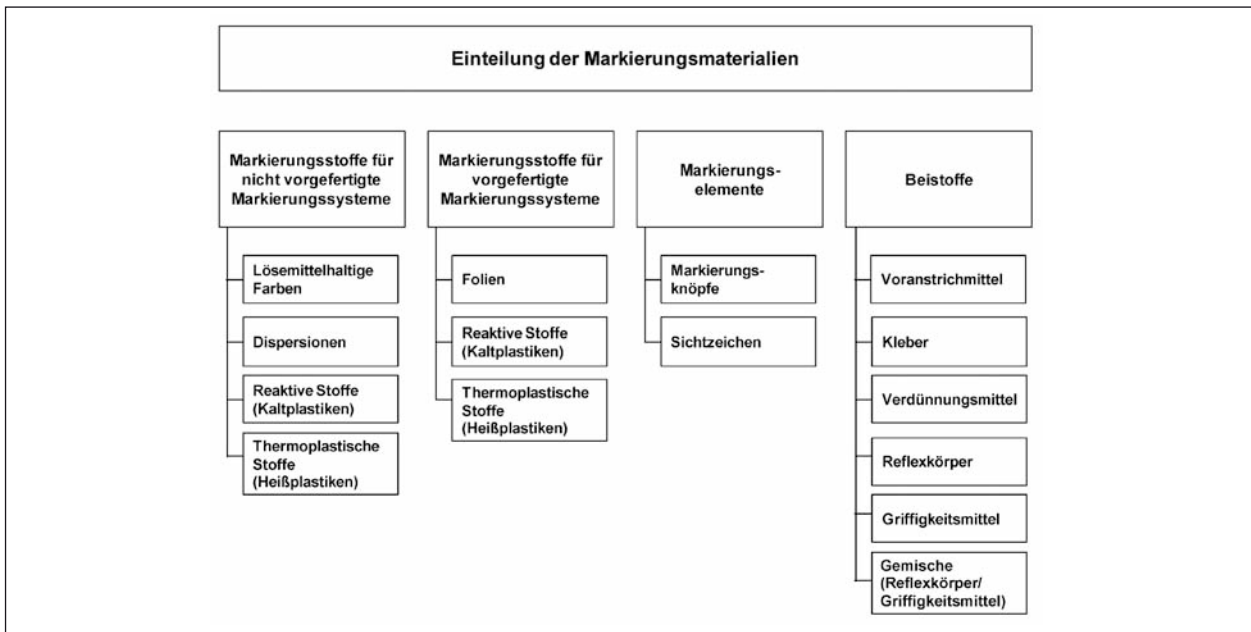


Bild 3: Einteilung der Markierungsmaterialien (TL M 06, 2006)



Bild 4: Einteilung der Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme (TL M 06, 2006)

### 2.3.3 Markierungselemente

Markierungselemente sind Markierungsknöpfe, (horizontale Leiteinrichtungen, die einfallendes Licht mittels retroreflektierender Elemente reflektieren) oder Sichtzeichen (ein vertikaler, elastischer Körper, der i. d. R. auf einem Fuß angeordnet ist) (TL M, 2006).

### 2.3.4 Beistoffe

Beistoffe sind z. B. Voranstrichmittel (Primer), Kleber, Reflexkörper und Griffigkeitsmittel sowie Nachstreumittelgemische. Kleber bewirken die Haftung von vorgefertigten Markierungssystemen auf der Fahrbahndecke, während Primer dazu dienen die Haftung auf bestimmten Oberflächen zu verbessern (TL M, 2006).

Nachstreumittelgemische, zumeist eine Kombination aus Reflexkörper und Griffigkeitsmitteln (wenn keine Reflexkörper im Markierungsstoff selber sind), werden zumeist auf nicht-vorgefertigte Fahrbahnmarkierungen nach der Applikation aufgebracht. Dies erhöht die Retroreflexion sowie die Griffigkeit der Markierung.

## 2.4 Vorübergehende Fahrbahnmarkierungen

### 2.4.1 Gesetzliche Grundlagen und Regelwerke

Eine Einteilung der Markierungsarten und -materialien sowie Begriffsbestimmungen für Fahrbahnmarkierungen sind derzeit in den Technischen Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien (TL M 06, 2006) zusammengestellt. Im Hinblick auf Anforderungen an vorübergehende Markierungen verweist die TL M 06 auf die jeweils gültige Fassung der ZTV M. Temporäre Markierungen zählen jedoch nicht zum Geltungsbereich der ZTV M Ausgabe 2002. Diese Lücke soll mit der neuen, bislang noch nicht eingeführten Ausgabe der ZTV M geschlossen werden. Eine Technische Prüfvorschrift für Markierungssysteme und -elemente (TP M) ist zurzeit im Entwurf und wurde bisher nicht veröffentlicht (ZTV M, 2013; PETRY et al., 2010).

### 2.4.2 Aufgabe und Funktion temporärer Fahrbahnmarkierungen

Vorübergehende Markierungen heben für einen begrenzten Zeitraum die vorhandenen weißen Mar-

kierungen auf, ohne dass diese abgedeckt oder entfernt werden müssen und zeigen dem Verkehrsteilnehmer dadurch eine geänderte Verkehrsführung an. Um diese Funktion erfüllen zu können, müssen temporäre Fahrbahnmarkierungen jederzeit mindestens die gleiche Auffälligkeit und Sichtbarkeit wie die vorhandenen endgültigen Markierungen aufweisen (ZTV M, 2013).

Aufgrund der Zunahme des Verkehrs und der hohen Verkehrsstärke, unterliegen die temporären Markierungen einer erheblichen Belastung. Bei der Ausschreibung wird diese Entwicklung zwar berücksichtigt, aber die Industrie kann dieser Forderung mit den zurzeit auf dem Markt befindlichen Produkten nicht standhalten. Die höchste Verkehrsklasse ( $P7 = 4$  Mio. Radüberrollungen) wird von mehreren Herstellern gemäß BASt – Prüfbericht zwar erreicht, der aktuelle DTV (durchschnittliche tägliche Verkehr) ist jedoch in stark frequentierten Streckenabschnitten so hoch, dass die Belastungsgrenze dieser Folienart bereits nach kurzer Zeit erreicht werden kann.

### 2.4.3 Anforderungen an temporäre Markierungen

Um die Sicherheit und Ordnung des Verkehrs aufrecht zu erhalten, müssen die Markierungen jederzeit die Anforderungen an die verkehrstechnischen Eigenschaften, d. h. die Mindestwerte der Tages- bzw. Nachtsichtbarkeit und der Griffigkeit gemäß ZTV M 2013 einhalten. Gemäß den Richtlinien für die Markierung von Straßen, Teil 1 (RMS-1) (RMS-1, 1993) gilt außerdem, dass Markierungszeichen dem Stand der Technik entsprechen und verkehrssicher beschaffen sein müssen.

Die Anforderungen an Auffälligkeit und Sichtbarkeit der vorübergehenden Markierung sind aufgrund der unterschiedlichen Farbgebung bereits erfüllt, wenn die Mindestwerte der Tagessichtbarkeit ( $Q_d$ ) bzw. der Nachtsichtbarkeit ( $R_L$ ) der gelben Markierung nicht mehr als eine Klasse niedriger ist als die Werte der weißen Markierung.

#### Tagessichtbarkeit

Die Tagessichtbarkeit wird durch die Reflexion bei Tageslicht oder Straßenbeleuchtung und die Normfarbwertanteile  $x$ ,  $y$  des Farbortes bei trockener und sauberer Markierung bestimmt. Die Reflexion bei Tageslicht oder künstlicher Beleuchtung wird durch die Messung des Leuchtdichtkoeffizien-



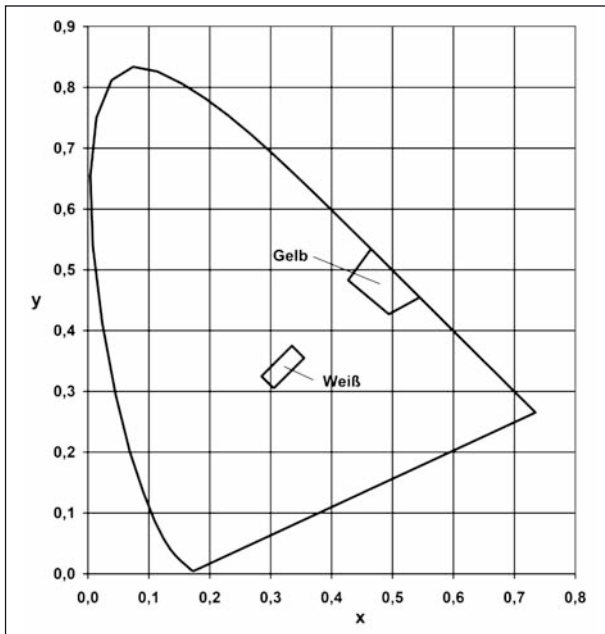


Bild 5: CIE-Normfarbtafel (ZTV M, 2013)

x	y
0,494	0,427
0,545	0,455
0,465	0,535
0,427	0,483

Tab. 1: Normfarbwertanteile für vorübergehende Markierungen (Y2) (ZTV M, 2013)

ten bei diffuser Beleuchtung  $Q_d$  (angegeben in  $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) ermittelt.

Der Mindestwert des Leuchtdichtkoeffizienten bei diffuser Beleuchtung  $Q_d$  beträgt für vorübergehende Markierungen in Neu- und Gebrauchszustand:

$$Q_d = 100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1} \quad (\triangleq \text{ Klasse Q 2})$$

Die Normfarbwertanteile für vorübergehende Markierungen müssen innerhalb des zulässigen Bereiches der CIE-Normfarbtafel liegen (Bild 5). Der zulässige Bereich wird durch die Koordinaten der Eckpunkte definiert (DIN EN 1436, 2009; ZTV M, 2013).

**Nachtsichtbarkeit**

Die Bestimmung der Nachtsichtbarkeit erfolgt durch Messung der Reflexion bei Anleuchtung durch Fahrzeugscheinwerfer. Dazu wird der Leuchtdichtkoeffizient bei Retroreflexion  $R_L$ , d. h. die Helligkeitsempfindung des Verkehrsteilnehmers (angegeben in  $\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ ) bei Anleuchtung der Stra-

Messzeitpunkt nach Applikation	$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$	Klasse
bis 90 Tage	200	R 4
91-120 Tage	150	R 3
ab 121 Tage	100	R 2

Tab. 2: Mindestwert des Leuchtdichtkoeffizienten bei Retroreflexion  $R_L$  für vorübergehende Markierungssysteme des Typs I und II bei Trockenheit

Messzeitpunkt nach Applikation	$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$	Klasse
bis 90 Tage	50	RW 3
91-120 Tage	35	RW 2
ab 121 Tage	25	RW 1

Tab. 3: Mindestwert des Leuchtdichtkoeffizienten bei Retroreflexion  $R_L$  für vorübergehende Markierungssysteme des Typs II bei Feuchtigkeit

ßenmarkierung mit den eigenen Scheinwerfern, ermittelt.

Der Leuchtdichtkoeffizient  $R_L$  wird nach DIN EN 1436 (2009) auf trockener, sauberer sowie auf feuchter Markierung bestimmt und muss in Abhängigkeit von der Liegedauer für vorübergehende Markierungssysteme mindestens die Werte gemäß Tabelle 2 (bei Trockenheit) bzw. Tabelle 3 (bei Feuchtigkeit) aufweisen (DIN EN 1436, 2009; ZTV M, 2013).

Um eine ausreichende optische Führung bei Dunkelheit und Nässe zu gewährleisten, werden Markierungen des Typs II eingesetzt. Diese Markierungssysteme zeichnen sich gegenüber den Typ I Markierungen durch eine erhöhte Retroreflexion bei Nacht und Nässe aus. Diese Eigenschaft kann z. B. durch größere Reflexperlen und/oder eine Strukturierung der Oberfläche erzielt werden. Um bei temporären Fahrbahnmarkierungen eine erhöhte Sichtbarkeit bei Nacht und Nässe zu erreichen, werden diese als profilierte Systeme ausgeführt, in dem die Oberfläche der Folien durch die gezielte Formgebung des Markierungsstoffs eine definierte Struktur erhält (DIN EN 1436, 2009; ZTV M, 2013).

**2.4.4 Prüfverfahren für temporäre (vorübergehende) Markierungen**

Die Anforderungen an temporäre Fahrbahnmarkierungen werden nach den TP M in Verschleißsimulatoren (Rundlaufprüfanlagen) gemäß DIN EN 13197 entsprechend ihrem vorgesehenen Einsatz-

Verkehrsklasse	Anzahl der Radüberrollungen auf der RPA der BAST
P 2	100 000
P 4	500 000
P 5	1 000 000
P 6	2 000 000
P 7	4 000 000

Tab. 4: Verkehrsklassen (nach ZTV M, 2013)

zweck geprüft und einer Verkehrsklasse zugeordnet. In Tabelle 4 sind die für den Geltungsbereich der ZTV M relevanten Verkehrsklassen aufgeführt (ZTV M, 2013).

Die verkehrstechnischen Anforderungen an die temporären Markierungen müssen während der gesamten Belastungsprüfung erfüllt sein. Die funktionale Lebensdauer (einer Straßenmarkierung) ist die Zeitspanne, in der die Straßenmarkierung alle Leistungsanforderungen erfüllt, die ursprünglich von der verantwortlichen Straßenbaubehörde festgelegt wurden. Die funktionale Lebensdauer einer vorübergehenden Markierung ist mit der Dauer der Arbeitsstelle gleichzusetzen. D. h. eine Folie der Verkehrsklasse P7 muss nach 4 Millionen Überrollungen immer noch die Mindestwerte der Tag- bzw. Nachtsichtbarkeit, sowie der Griffigkeit etc. erreichen (DIN EN 1436, 2009, KEPPLER, 2003). Daher ist die Bestimmung der Überrollungshäufigkeit in den verschiedenen Arbeitsstellenbereichen für die Abschätzung der Haltbarkeit und der Lebensdauer temporärer Markierung von wesentlicher Bedeutung, kann allerdings nicht in der RPA abgebildet werden.

Die Rundlaufprüfanlage (RPA) der BAST (vgl. Bild 6) ist ein Verschleißsimulator nach DIN EN 13197 (2011) in dem Eignungsprüfungen durchgeführt werden können. In der RPA werden Markierungssysteme einer Beanspruchung durch Überrollungen ausgesetzt, wodurch eine zeitraffende Laborprüfung der Anforderungen an Markierungen im Hinblick auf Haltbarkeit, Griffigkeit sowie Tag- und Nachtsichtbarkeit ermöglicht wird.

Bei der Anlage handelt es sich um eine vertikal angeordnete Prüfeinrichtung mit einem Durchmesser von 6,40 m. Am Rand dieser Drehscheibe befinden sich Vorrichtungen für die Aufnahme von bis zu 72 Prüfkörper (Bild 7). Für jede zu prüfende Fahrbahnmarkierung sind 3 standardisierte Gussasphalt-Prüfkörper mit den Maßen 0,40 m x 0,20 m x



Bild 6: Rundlaufprüfanlage der BAST (BAUM et al.)

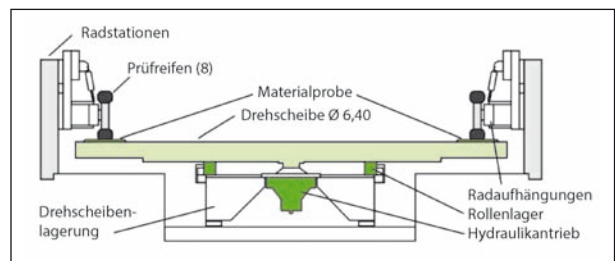


Bild 7: Prinzipskizze der RPA (ZEDLER, 2009)

0,05 m für den Verschleißsimulator herzustellen. Die Oberfläche der Probekörper ist fein strukturiert und weist eine Rautiefe von 0,1 mm bis 0,5 mm auf. Ein Bewässerungssystem ist vorhanden, sodass die Prüfung im nassen und im trockenen Zustand durchgeführt werden kann. Die Applikation der Folien erfolgt gemäß den Herstellerangaben. Bei der Ausrichtung der Markierungen ist zu beachten, dass diese zur Bewegung der belastenden Prüfräder in Relation zu den Prüfkörpern parallel sind (DIN EN 13197, 2011; KEPPLER, 2003).

Die Belastung der Prüfkörper erfolgt durch zwei sich gegenüberliegende Aufhängungen an denen sich jeweils 4 neuwertige Pkw-Reifen befinden. Mit einem Druck von bis zu 3.000 N werden die Reifen auf die Prüfkörper gedrückt. Der Sturz ( $0^\circ \pm 10^\circ$ ) und Schräglauf ( $\pm 1^\circ$ ) der Räder lässt sich dabei variabel einstellen. Die Geschwindigkeit mit denen die Prüfkörper während einer Eignungsprüfung überrollt werden beträgt im nassen Zustand 15 km/h und im trockenen Zustand 60 km/h. Geschwindigkeiten von 5 km/h-120 km/h sind allerdings möglich (DIN EN 13197, 2011; KEPPLER, 2003).

In Tabelle 5 sind die allgemeinen Prüfbedingungen für den Verschleißsimulator gemäß DIN EN 13197 (2011) zusammengestellt.

Prüfreifen	zugelassene handelsübliche; Neureifen für jede Prüfung
Anzahl der Prüfräder	4 oder 8
Radlast	3.000 ± 300 N
Reifendruck	0,25 ± 0,02 MPa
Sturz	0° bis zu einer Abweichung von ±1°
Schräglauf	je Rad wechselnd +1°(±10')/-1° (±10')
Lineargeschwindigkeit	nass: 15 ± 1 km/h, trocken: 60 ± 1 km/h
Drehrichtung	50 % in jede Richtung
Prüfraumtemperatur	5 °C bis 10 °C
Messintervalle	0; 0,01; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 und 4,0 x 10 <sup>6</sup>

Tab. 5: Prüfbedingungen für den Verschleißsimulator nach DIN EN 13197, 2011

### 2.4.5 Aufbau temporärer Markierung (Herstellerinformationen)

Die heutzutage gängigen Markierungsfolien für den temporären Einsatz im Straßenbau weisen grundsätzlich einen ähnlichen Aufbau auf. Die Oberflächenschicht besteht zumeist aus Polyurethan und wird profiliert oder glatt ausgeführt.

Die verschiedenen Hersteller setzen bei profilierten Markierungsfolien auf verschiedene Profilmuster, wie z. B. Waffel-, Rillen- oder Gittermuster. Durch die Profilierung kann Wasser leichter abfließen, womit eine erhöhte Retroreflexion bei Nässe gewährleistet ist. Zur weiteren Steigerung der Retroreflexion, insbesondere nachts, werden Reflexionsperlen verwendet. Neben Griffpartikeln werden auch organische Pigmente in die oberste Schicht eingearbeitet, die für die gelbe Einfärbung verantwortlich sind. Auf die Verwendung von Schwermetallen wird dabei heute verzichtet. Die Dicke der Folien variiert zwischen 1,4 mm und 2,45 mm. In den meisten Fällen beträgt die Dicke ca. 2,0 mm.

Für einen ausreichenden Haftverbund zwischen Markierungsfolie und Fahrbahn wird neben einem Klebstoff auf der Unterseite der Trägerschicht eine Grundierung, ein sogenannter Primer, auf die Fahrbahnoberfläche aufgetragen. Die Anforderungen an die Umgebungsbedingungen und die Art und Menge des aufzubringenden Primers sind den Verlegeanweisungen der einzelnen Hersteller zu entnehmen. Die Unterscheidungen der einzelnen Hersteller sind allerdings als gering anzusehen. Größere

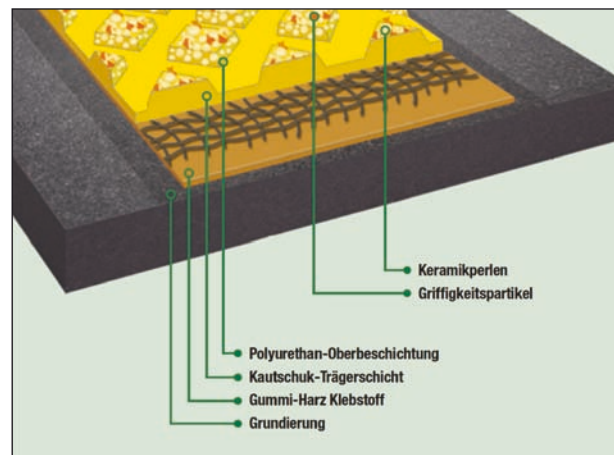


Bild 8: Beispielhafter Aufbau einer strukturierten Markierungsfolie

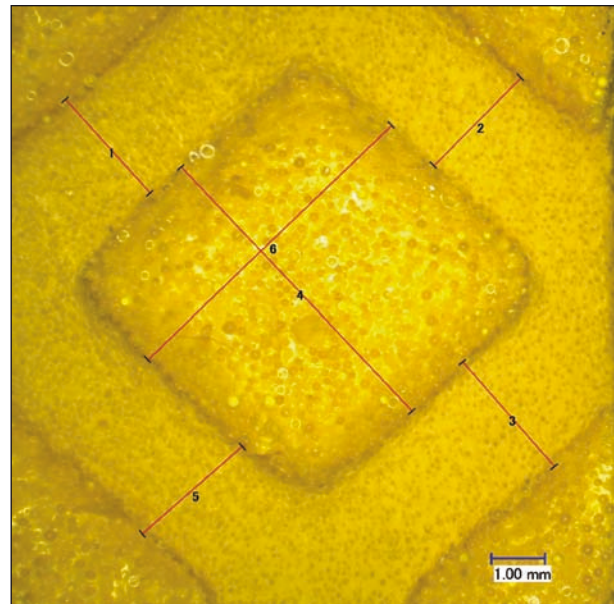


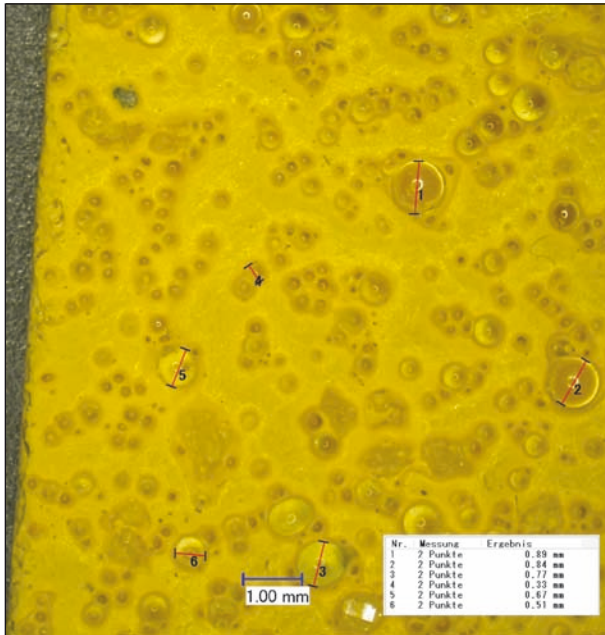
Bild 9: Detailaufnahme und Vermaßung für profilierte Markierung (KILLING, 2013)

Unterschiede treten zwischen den Herstellern eher beim Aufbau und bei der Profilierung der Markierungsfolie auf. So können die Folien anhand ihres Profils, der Schichtdicken und der Anzahl verwendeter Griffpartikel und Reflexionsperlen unterschieden werden.

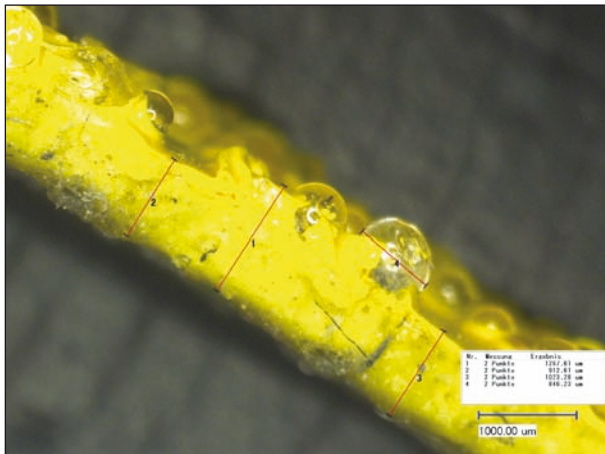
Auf der Unterseite der Markierungsfolien ist eine textile Gitternetzstruktur aufbracht, die die Stabilität der Folie erhöhen soll (siehe Bild 12).

Um eine rückstandslose Demarkierung zu ermöglichen, werden Gitternetze verwendet. Sie werden zwischen der Oberflächen- und der Trägerschicht eingesetzt. Das Gitternetz verhindert, dass sich Oberflächen- und Trägerschicht von einander ablösen bzw. die Folie beim Entfernen reißt.

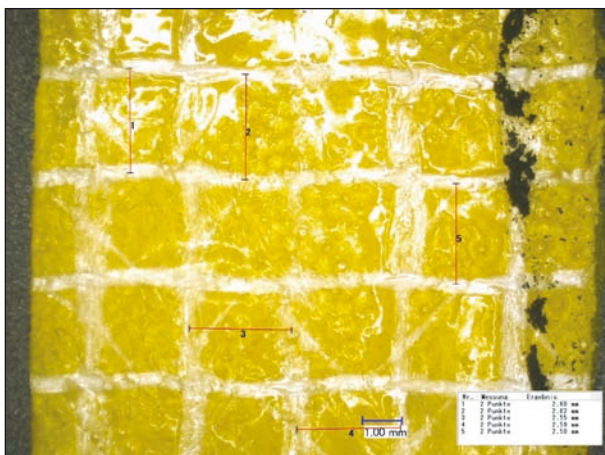




**Bild 10:** Detailaufnahme und Vermaßung für glatte Markierung (KILLING, 2013)



**Bild 11:** Einbettung der Reflexions- und Griffigkeitspartikel (KILLING, 2013)



**Bild 12:** Beispiel für textile Gitternetzstruktur (KILLING, 2013)

#### 2.4.6 Herstellung temporärer Markierung (Verlegeanleitungen)

Die Herstellung der vorübergehenden Markierung ist in starkem Maße abhängig von dem jeweils zum Einsatz kommenden Produkt. Die Vorgehensweise zur Applikation temporärer Fahrbahnmarkierung wird von jedem Hersteller produktspezifisch in Verlegeanleitungen bzw. Verarbeitungsvorschriften dokumentiert. Im Regelwerk sind daher keine Anforderungen an die Aufbringung der Markierungen definiert. Die ZTV M (2013) weist stattdessen ausdrücklich auf die Vorgaben der Hersteller bei der Applikation der Markierungsmaterialien hin. Trotz der produktspezifischen Unterschiede sind die Vorgehensweisen bei der Applikation von temporären Markierungsfolien grundsätzlich bei allen Herstellern vergleichbar: Die Straßenoberfläche wird zunächst gereinigt und anschließend meist mit der passenden Grundierung (Primer) des Folienherstellers bestrichen. I. d. R. ist eine gewisse Wartezeit erforderlich, bevor die Folien auf die vorbereitete Fläche aufgelegt und der Haftverbund durch das Aufbringen eines gleichmäßigen Drucks durch langsames Überrollen der Folienfläche hergestellt werden kann. Der Druck wird im Regelfall durch eine handgeführte Andruckrolle (Folienandruckgerät) erzeugt (Bild 13).

Der erforderliche Druck wird durch das Gewicht der Rolle selbst und durch ggf. zusätzlich aufgelegte Gewichte erzeugt. Die Angaben zur erforderlichen Mindestauflast schwanken zwischen 90 kg und 100 kg. Die Folie wird durch möglichst langsames, dreimaliges Überrollen angedrückt.

#### 2.4.7 Entfernung der Markierungen

Die vorübergehenden Markierungsfolien sind in der Regel ohne Hilfsmittel durch Abziehen entfernbar. Die Entfernung muss fahrbahndeckenschonend erfolgen, d. h. die Deckschicht darf durch die Demar-



**Bild 13:** Folienandruckgerät



kierung möglichst wenig geschädigt werden. Darüber hinaus soll die Entfernung rückstandsfrei, umweltfreundlich und angemessen schnell möglich sein. Eine Fläche gilt als rückstandsfrei, wenn der Flächenanteil der verbliebenen Farbreste 5 % statistisch verteilt über einen Meter ursprünglicher Markierungslänge, nicht überschreitet. Falls eine anschließende Deckenerneuerung geplant ist, soll jedoch auf die Forderung nach rückstandsfreier Entfernung verzichtet werden.

#### 2.4.8 Phantommarkierung

Vorübergehende Markierungen müssen so beschaffen sein, dass diese zu jeder Zeit von den Fahrbahnflächen rückstandslos zu entfernen sind (ZTV-SA, 1997). Eine dauerhafte Haltbarkeit ist verwendungsbedingt nicht vorgesehen.

In den Bauverträgen wird das rückstandslose und deckenschonende Entfernen von temporärer Markierung gefordert. Erfahrungen zeigen jedoch, dass zurzeit keine Markierungsfolien verfügbar sind, die nach dem Entfernen keine Rückstände auf der Fahrbahn hinterlassen. Diese Rückstände lassen sich in drei Kategorien einteilen:

- Markierungsrückstände bzw. Folienreste,
- Primer- bzw. Kleberrückstände sowie
- optische Unterschiede ohne messbare Rückstände.

Unter Markierungsrückständen sind Rückstände zu verstehen, die bei der Demarkierung nicht von der Fahrbahn entfernt werden konnten. Übersteigt der Anteil der Rückstände ein unzumutbares Maß – welches im Ermessen der Straßenbauverwaltung liegt – sind geeignete Maßnahmen (z. B. der Einsatz von Wasserfräsen) zu ergreifen.

Primerrückstände führen dazu, dass nach erfolgter Demarkierung Staubpartikel haften bleiben und somit zu einem veränderten Oberflächenbild führen; der zuvor markierte Bereich ist daher noch zu erkennen. Diese Primerrückstände sind allerdings nach wenigen Tagen wieder verschwunden (i. d. R. durch Überfahrungen oder Witterungseinflüsse), sodass keine Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Optische Unterschiede ohne messbare Rückstände entstehen durch eine Schutzfunktion der Markierung für die Oberfläche. Die Fahrbahnoberfläche

wird in dem Bereich, in dem die Folie aufgeklebt wurde, nicht durch Radüberrollungen belastet. Die Folie schützt somit vor Kornausbrüchen und Umwelteinflüssen (vergleichbar mit einem Pflaster auf der Haut). Die Fahrbahndecke wird somit durch die Folie regelrecht geschützt. Dies führt jedoch augenscheinlich zu einer veränderten Oberflächenstruktur und wird oft irrtümlich als Markierungsrückstand angesehen.

Alle drei genannten Varianten werden z. T. als Phantommarkierung bezeichnet, wobei dies richtigerweise aber nur auf den ersten Fall (Markierungsrückstände) zutrifft. Diese Rückstände sollten dann auch durch geeignete Maßnahmen (Fräsen o. Ä.) entfernt werden. Die anderen beiden Varianten sind i. d. R. wenige Tage nach erfolgter Demarkierung wieder verschwunden. Hier würde durch Fräsarbeiten der Eindruck einer Phantommarkierung noch verstärkt und dauerhaft bestehen bleiben.

In den aktuellen ZTV M (2013) wird auch eine rückstandsfreie Demarkierung gefordert. Als rückstandsfrei gilt hiernach, wenn der Flächenanteil der verbliebenen Farbreste 5 % statistisch verteilt über einen Meter ursprünglicher Markierungslänge nicht überschreitet.

Inwiefern die Art, Größe und Verteilung dieser Rückstände als Phantommarkierung zu bezeichnen ist, sollte in einer weitergehenden Forschungsarbeit betrachtet werden, da diese Fragestellung nicht Gegenstand dieser Forschung war.

#### 2.4.9 Einfluss von Klima und Witterung

Bei der Verlegung der Markierungsfolien sollten die Anforderungen an die meteorologischen Randbedingungen wie Niederschlag und Temperatur beachtet werden. Grundsätzlich ist darauf zu achten, dass die Fahrbahnoberfläche weitgehend trocken ist bzw. dass es während der Verlegung nicht regnet. Ferner sollten zum Zeitpunkt der Applikation die angegebenen Mindesttemperaturen (+4 °C bzw. +10 °C) nicht unterschritten werden. Diese Gegebenheiten wirken sich bei Nichteinhaltung nachteilig auf den Haftverbund und damit die Haltbarkeit der Folien aus. Darüber hinaus gibt es keine weiteren Erkenntnisse hinsichtlich des Einflusses von Temperatur bzw. Niederschlag auf die Haltbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierungen. Hohe Temperaturen wirken sich positiv auf die Entfernbareit

der Folien aus, da sich durch die Wärme die aufzubringende Abzugskraft verringert.

## 2.5 Zusammenfassung der Erkenntnisse

Die Haltbarkeit sowie die Entfernbarekeit der Folien-systeme werden von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren beeinflusst. In besonderem Maße bestimmen jedoch die Makrotextur der Straßenoberfläche und die Materialeigenschaften der Folien selbst, die Anzahl der Überrollungen, die ein Markierungssystem bis zum Verlust der Funktionsfähigkeit übersteht. Die Häufigkeit der Überrollungen dagegen ist vor allem abhängig von der Verkehrsführung in der Arbeitsstelle und der Menge bzw. der Zusammensetzung des Verkehrs.

Die bestehenden Prüfverfahren bilden die realen Bedingungen jedoch nur unvollständig ab, sodass zwischen der Haltbarkeit im Labor und der Haltbarkeit in situ oft gravierende Unterschiede auftreten. Dies liegt unter anderem an der Vernachlässigung des Einflusses der Schubkräfte, die die temporäre Markierung in Arbeitsstellen stark beanspruchen sowie den erhöhten Beanspruchungen durch den Schwerlastverkehr.

Darüber hinaus fehlt ein Laborverfahren zur Überprüfung der Entfernbarekeit und Bewertung von Markierungsrückständen nach erfolgter Demarkierung. Beides ist jedoch in der Praxis von großer Bedeutung.

## 3 Untersuchungsmethodik und -methoden

In den nachfolgenden Ausführungen werden, Bezug nehmend auf das zuvor definierte Untersuchungsziel, die Methodik bzw. Vorgehensweise sowie die Untersuchungsmethoden innerhalb des Projektes erläutert.

### 3.1 Untersuchungsmethodik

Die Methodik der Untersuchung gliedert sich in sechs grundsätzliche Arbeitsschritte (vgl. Bild14).

Die Basis der Untersuchung bildet eine Grundlagenanalyse einschlägiger Literatur hinsichtlich

möglicher Einflussgrößen, die durch eine Länderabfrage (Fragebogen) hinsichtlich bisheriger Erfahrungen zur Dauerhaftigkeit und Entfernbarekeit temporärer Fahrbahnmarkierungen ergänzt wird. Hieraus werden die maßgebenden Arbeitsstellenbereiche abgeleitet, die im Rahmen von Verkehrserhebungen näher analysiert werden, sollen. Dies erfolgt visuell durch die Auswertung von Videoaufnahmen ausgewählter Arbeitsstellen längerer Dauer.

Im Rahmen von labortechnischen Untersuchungen (Verkehrssimulation, Prüfung der Dauerhaftigkeit und Entfernbarekeit der Markierungen, Analyse der Oberflächencharakteristik) erfolgt die „Nachbildung“ des realen Zustandes im Labormaßstab. Die Ergebnisse fließen in die abschließende Entwicklung eines Bewertungssystems sowie die Ableitung von Empfehlungen für die Praxis ein.

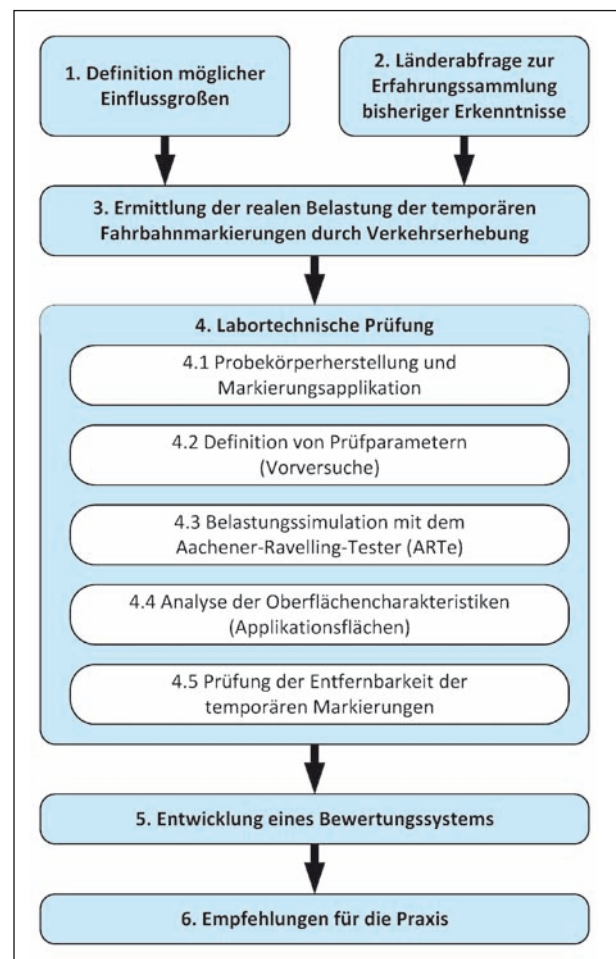


Bild 14: Ablaufschema der Untersuchung

### 3.2 Bestimmung der Oberflächentextur

Die Texturmessungen dienen der Charakterisierung der Oberflächentopographie. Sie stellen die notwendigen Daten zur Darstellung der Textur und Charakterisierung des Abriebes bereit. Eine in der vorliegenden Arbeit eingesetzte Möglichkeit zur Texturmessung besteht in dem Einsatz des am Institut für Straßenwesen Aachen vorhandenen optischen Oberflächenmessgeräts der FRT GmbH, das nach dem Prinzip der chromatischen Weißlichtmessung arbeitet (vgl. Bild 15).

Die physikalische Auflösung dieses Verfahrens liegt im lateralen Bereich bei 1 bis 2  $\mu\text{m}$ ; vertikal wird eine Auflösung von 6 nm erzielt und damit die Erfassung selbst kleinster Texturelemente bis in den Mikrometerbereich gewährleistet. Das Messgerät wurde speziell auf die Messung von Gesteins- und Straßenoberflächen abgestimmt, so dass auch Proben mit im Vergleich zum Messbereich sehr großen Abmessungen und hohem Gewicht vermessen werden können. Weiterhin wurde das Messfeld des Messgeräts auf eine Fläche von insgesamt  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  erweitert, wodurch in den Diagonalen eine maximale Profillänge von 141,4 mm erreicht wird.

Im Rahmen der Untersuchungen erfolgen die Texturaufnahmen an ausgewählten Probekörpern nur an einer charakteristischen Messstelle im mittigen

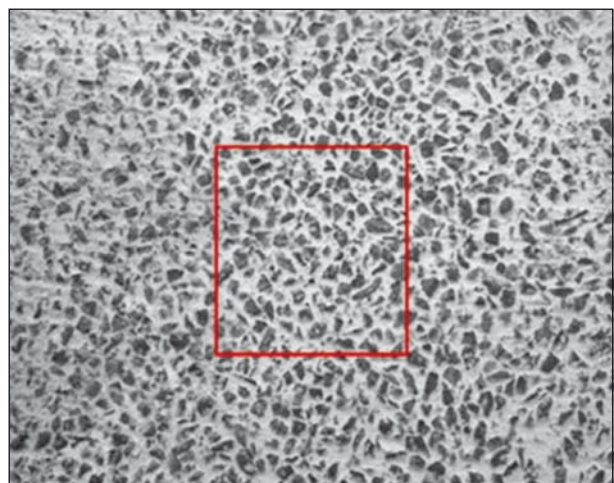
Bereich der Platte. Je Untersuchungsvariante wurden zwei Probekörper ausgewählt und „vermessen“. Die Größe der Messbereichs wurde dabei zu  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  gewählt (vgl. Bild 16), da diese Fläche ungefähr die Reifenaufstandsfläche abdecken kann. Eine Vermessung der gesamten Plattenoberfläche erscheint aufgrund der resultierenden großen Datenmenge und dem damit verbundenen Aufwand für die Erfassung und Auswertung nicht zielführend.

Weiterhin wurde eine Auflösung in x- bzw. y-Richtung von  $100 \mu\text{m}$  (10 cm/1.000 Profile) gewählt. Dieses bedeutet, dass der Messbereich mit einer Größe von  $100 \text{ cm}^2$  durch insgesamt eine Million Messpunkte charakterisiert wurde.

Die gewählte Auflösung stellt dabei einen Kompromiss zwischen Messgenauigkeit auf der einen und vermessener Fläche auf der anderen Seite dar, die dennoch eine Charakterisierung der Oberflächentextur in ausreichender Qualität und Güte ermöglicht. Eine feinere Auflösung, wie sie beispielsweise bei der Bewertung der Griffigkeit zum Einsatz kommt erscheint im Rahmen dieser Untersuchungen als nicht zielführend, da insbesondere die Interaktion zwischen Markierung und Oberflächentextur betrachtet werden soll. Hier wird angenommen, dass diese Interaktion maßgeblich durch die Makrotextur und die „grobe“ Mikrotextur (bis zu Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,1 mm) beeinflusst wird.



**Bild 15:** Texturmessgerät „ISAC-FRT“ (STEINAUER et al., 2011)



**Bild 16:** Probekörper ( $32 \times 26 \text{ cm}^2$ ) und ausgewählter Texturmessbereich ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ )



### 3.3 Texturindikatoren und -kenngrößen

Als Ergebnis der Texturmessungen wurden die x- und y-Koordinaten sowie die Höhendaten jedes einzelnen Messpunktes ausgegeben und in einer txt-Datei abgespeichert bzw. in dreidimensionalen Darstellungen oder Höhenschnitte übertragen (vgl. Bild 17 und Bild 18).

Die ermittelten Texturprofile wurden vor der weiteren Verarbeitung und Auswertung von Fehlstellen und Ausreißern sowie ggf. vorhandenen Trends mittels geeigneter Algorithmen (vgl. STEINAUER, 2011) bereinigt. Die bereinigten Texturdaten bildeten die Grundlage für weitere Berechnungen der Texturkenngrößen und -indikatoren, wie beispielsweise der Tragflächenkurve oder des Gestaltfaktors. Die Bestimmung dieser Parameter erfolgte mit der Software MATLAB® mithilfe von Algorithmen die beispielsweise in DIN EN ISO 13473-1 beschrieben sind.

#### Gestaltfaktor g

Der Gestaltfaktor ist eine unabhängige Texturkenngröße, der die Rauheit einer Straßenoberfläche berücksichtigt und als Indikator für die Texturgestalt Verwendung findet. Diesbezüglich ermöglicht er insbesondere die Unterscheidung der Oberflächengestalt von Fahrbahnoberflächen bei gleicher Texturtiefe und Wellenlänge des Profils (FGSV, 2012).

Der Gestaltfaktor einer Fahrbahnoberfläche lässt sich aus der Tragflächenkurve eines Oberflächenprofils ableiten (vgl. Bild 19), indem bei der Hälfte der maximalen Rautiefe der korrespondierende Tragflächenanteil abgegriffen wird. Die Tragflächenkurve gibt die Beziehung zwischen dem Tragflächenanteil und der Schnittlinientiefe wieder (FGSV, 2012).

#### Mittlere Profiltiefe (MPD)

Die mittlere Profiltiefe ist in einer zweidimensionalen Darstellung die Differenz zwischen dem arithmetischen Mittel der Spitzenwerte zweier Grundlinienhälften von 50 mm Länge (Grundlinie = 100 mm) und dem mittleren Niveau über die gesamte Grundlinie eines 100 mm langen Einzelmessabschnittes (vgl. Bild 20). Die Grundlinie entspricht idealisiert der Länge des Reifenlatsches (DIN EN 13473-1).

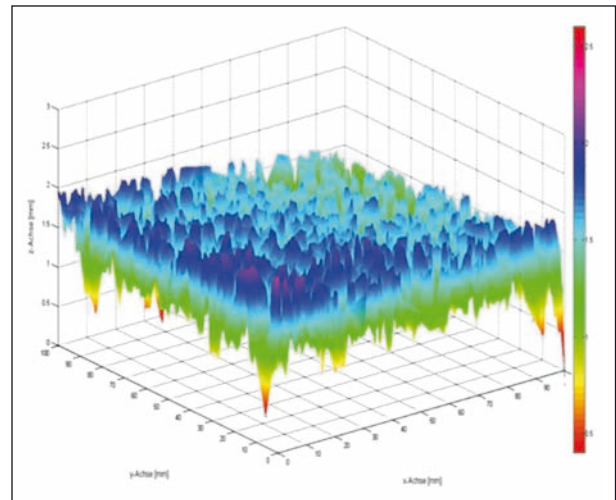


Bild 17: Dreidimensionale Darstellung der Oberflächentextur für den Messbereich von 10 x 10 cm<sup>2</sup>

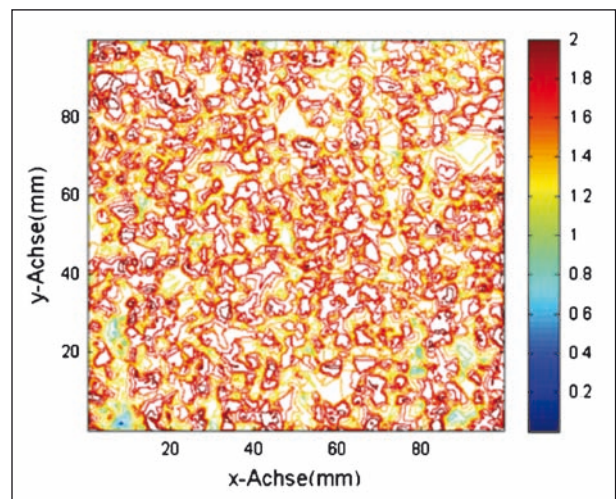


Bild 18: Höhenschnitt der Oberflächentextur für den Messbereich von 10 x 10 cm<sup>2</sup>

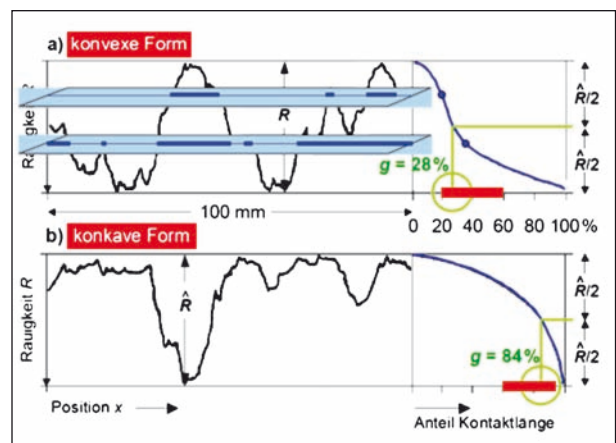
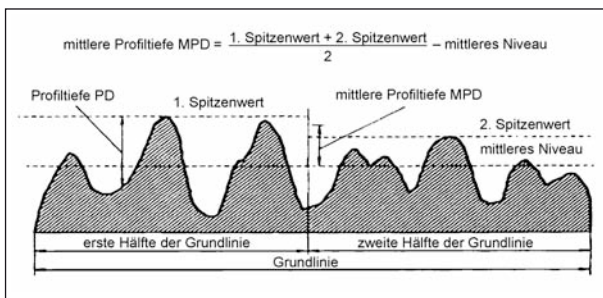
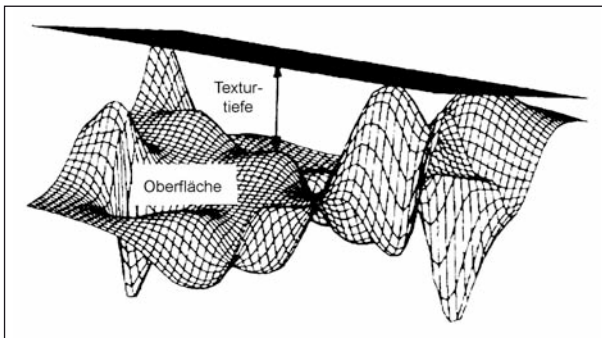


Bild 19: Ableitung des Gestaltfaktors aus der Tragflächenkurve (BECKENBAUER, 2008)



**Bild 20:** Ableitung der mittleren Profiltiefe (MPD) (DIN EN 13473-1)



**Bild 21:** Ableitung der mittleren Texturtiefe (MTD) (DIN EN ISO 13473-1)

### Mittlere Texturtiefe (MTD)

Die mittlere Profiltiefe (MTD) ist in einer dreidimensionalen Darstellung der Oberflächentextur der Abstand von der Texturoberfläche zu einer gedachten Ebene, die durch die drei höchsten Spitzen der Oberfläche gekennzeichnet ist (vgl. Bild 21). Die mittlere Profiltiefe kann entweder nach einem volumetrischen Verfahren ermittelt oder abgeschätzt werden.

Das volumetrische Verfahren bzw. das sogenannte Sandfleckverfahren beruht auf einem bestimmten Volumen an Sand oder Glaskugeln, welches auf der Fahrbahnoberfläche ausgebreitet wird und dessen Kreisfläche unter Berücksichtigung des Volumens des verteilten Materials für die Berechnung der mittleren Texturtiefe verwendet wird (DIN EN ISO 13473-1).

### Geschätzte Texturtiefe (ETD)

Die geschätzte Texturtiefe (Estimated Texture Depth – ETD) stellt, im Vergleich empirischen Sandfleckverfahren, einen aus der Oberflächen-textur berechneten Volumenwert dar.

Dieser Texturparameter kann mithilfe der mittleren Profiltiefe MPD und der empirischen Transforma-

tionsgleichung  $ETD = 0,2 + 0,8 \cdot MPD$  abgeschätzt werden.

### RMS

Der sogenannte Root Mean Square (kurz: RMS) stellt den quadratischen Mittelwert der Ordinatenwerte des Profils innerhalb der Probenlänge dar.

Im Gegensatz zum geometrischen Mittelwert werden hierdurch größere Rauigkeitswerte stärker einbezogen. Dieses bedeutet, dass ausgeprägte Profilsitzen einen stärkeren Einfluss haben als kleinere. Ebene Oberflächen mit lokal auftretenden Rauigkeitselementen, die ggf. zu einer stärkeren Schwingungsanregung des Reifens oder eine lokalen führen könnten, lassen sich somit mit diesem Texturparameter, im Gegensatz zum arithmetischen Mittelwert, besser kennzeichnen.

### Texturprofiltiefe TD<sub>5/95</sub>

Die Summe der Profilkuppenhöhe  $Z_{5\%}$  und der Profiltaltiefe  $Z_{95\%}$  wird als Texturprofiltiefe  $TD_{5/95}$  bezeichnet. Sie wird indirekt aus dem Rauigkeitsprofil bestimmt. Die Profilkuppenhöhe  $Z_{5\%}$  gibt die Ordinate auf der Tragflächenkurve an, die einem 5%-Summenhäufigkeitswert aller Amplitudenwerte des Rauheitsprofils entspricht. Demgegenüber gibt die Profiltaltiefe die Ordinate auf der Tragflächenkurve an, die einem 95%-Summenhäufigkeitswert aller Amplitudenwerte des Rauheitsprofils entspricht (FGSV, 2012).

Berechnet werden der 5%-Summenhäufigkeitswert und der 95%-Summenhäufigkeitswert nach dem Klassierverfahren, bei dem ein ausgewertetes Rauigkeitsprofil in 200 gleichmäßige Abschnitte unterteilt und in eine Summenhäufigkeitsverteilung der Profilor dinaten überführt wird (MÜLLER, BARTOLOMAEUS, 2003; FGSV, 2012).

## 3.4 Bestimmung der Applikationsfläche zwischen Markierung und Fahrbahnoberfläche

Für die Applikation bzw. die Entfernbarkeit der temporären Markierungen ist die neben der Oberflächenbeschaffenheit und der daraus resultierenden Oberflächen-textur weiterhin auch die Applikationsfläche zwischen Fahrbahnmarkierung und

Fahrbahnoberfläche von Bedeutung. Im Bereich dieser „Kontaktfläche“ erfolgt die „Verklebung“ der Markierung mit der Oberfläche mittels geeigneter Primersysteme.

In den nachfolgenden Ausführungen wird daher ein Verfahren vorgestellt, dass auf einfache und schnelle Weise eine qualitative Abschätzung dieser Applikations- bzw. Kontaktfläche ermöglicht.

Das eingesetzte foto-optische Verfahren beruht auf der Zwischenlage einer Kontaktdruckfolie zwischen Fahrbahn- und Reifenoberfläche im Kontaktbereich Reifen-Fahrbahn. Durch vertikale Druckkräfte infolge der Reifenaufgabe auf die Fahrbahnoberfläche wird die Kontaktfolie an den Kontaktpunkten aktiviert, sodass diese später visuell durch eine Rotfärbung der Folie ersichtlich sind. Als foto-optische Folie wird eine Prescale-Kontaktdruckfolie der Firma Fuji verwendet. Diese zweischichtige Folie wird bei einem vertikalen Druck aktiviert. Dieses bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Mikrofarbkugeln innerhalb des „Color-forming layer“ aufgrund des vertikalen Druckes zum Platzen gebracht werden und anschließend durch den „Ent-

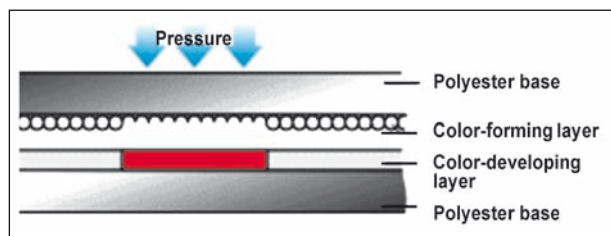


Bild 22: Aufbau und Funktionsweise der Prescale-Druckfolien

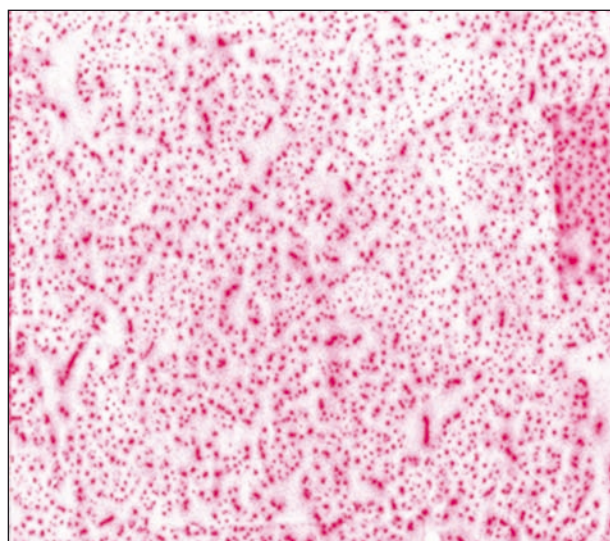


Bild 23: Beispielhafte Darstellung der Applikationsfläche für AC 11 DS Basalt

wickler“ innerhalb des „Color-developing layers“ entwickelt werden.

Die Farbdichte des Abdruckbildes (vgl. Bild 23) verändert sich mit dem aufgewendeten Druckniveau, sodass in dem jeweiligen Druckbereich auch Druckunterschiede festgestellt werden könnten. Eine diesbezügliche Auswertung erfolgt allerdings im Rahmen dieses FE-Projektes nicht, da die Kontaktfolienabdrücke lediglich für eine qualitative Abschätzung der Applikationsfläche herangezogen werden sollen.

### 3.5 Auswertung

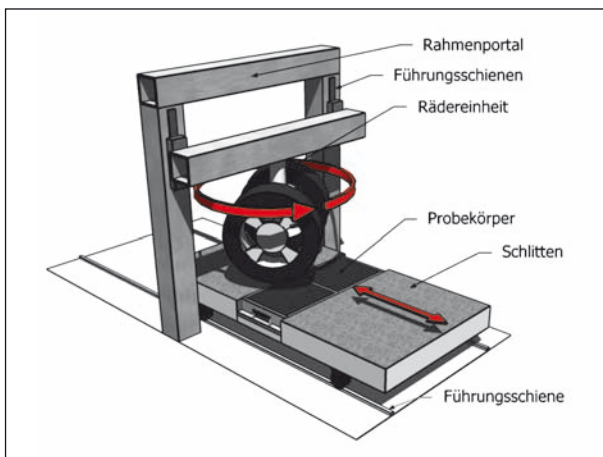
Die Auswertung der Abdrücke im Rahmen des Vorhabens erfolgt mit einem digitalen Fotoanalyseprogramm, welches vom Institut für Straßenwesen Aachen speziell für diesen Anwendungsfall entwickelt wurde. Diese sogenannte ISAC-DPA („Digitale-Photo-Analyse“) ermöglicht die Analyse der Kontaktfläche über die Anzahl der rotgefärbten Pixel innerhalb eines zuvor definierten Auswertebereiches und die weitergehende Auswertung dieser Daten über interne Rechenalgorithmen. Als Ausgabegröße kann sowohl die Gesamtapplikationsfläche als auch eine qualitative Abschätzung der Größenverteilung ausgegeben werden.

### 3.6 Belastungsprüfung mit dem Aachener-Ravelling-Tester (ARTE)

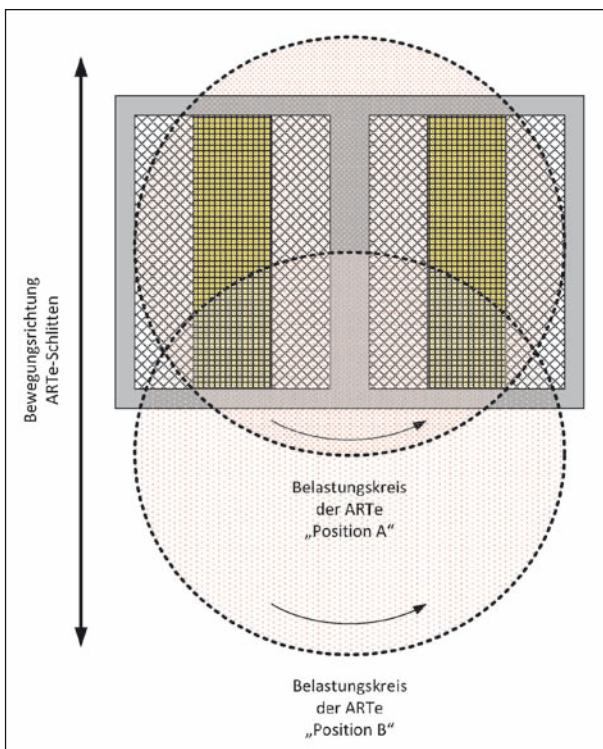
Die Simulation der realen Beanspruchung zur Überprüfung der Haltbarkeit sowie der anschließenden Entfernbareit der Markierung auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen erfolgt am Institut für Straßenwesen mit dem Prüfstand Aachener-Ravelling-Tester (ARTE).

Dieses Prüfverfahren, kurz ARTE genannt, ist ein Prüfstand, der ursprünglich zur Untersuchung des Widerstandes gegen Kornausbrüche bei offenporigen Asphalten am Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen entwickelt wurde. Die Prüfung erfolgt durch zwei, sich mit einer Geschwindigkeit von 59 Umdrehungen pro Minute um eine vertikale Achse drehenden, Pkw-Reifen der Dimension 165/75 R 14 in Kombination mit einem sich horizontal bewegenden Schlitten. Die beiden Prüfplatten mit den Abmessungen 260 x 320 x 40 mm werden auf dem sich horizontal bewegenden Schlitten montiert (vgl. Bild 24). So werden Schub-





**Bild 24:** Skizze der Funktionsweise des Aachener-Ravelling-Testers (ARTe)



**Bild 25:** Belastungsbereiche im Aachener-Ravelling-Tester

und Scherbeanspruchungen durch Fahrzeugreifen simuliert.

Bei einem Abstand der Radmitten von 55 cm beträgt die Umlaufgeschwindigkeit der Pkw-Reifen etwa 1,2 m/s. Weiterhin kann die Polierwirkung der Reifen durch Zugabe von Poliermittel oder Wasser beschleunigt werden. Als Poliermittel kann Quarzmehl oder Quarzsand verwendet werden. Eine konstante Auflast von 200 kg bewirkt einen entsprechenden Anpressdruck. Erste Untersuchungen zeigen, dass dieses Verfahren auch für die Beanspruchung von Markierung einen guten Praxisbezug

Auflast:	200 kg
Zugabemedium	Wasser und/oder Poliermittel oder trocken getrennt steuerbar
Bewegungsablauf	getrennt steuerbar Geschwindigkeit variabel
Format der Probekörper:	26 x 32 x 4 [cm] (L x B x H) oder 52 x 32 x 4 [cm]
Mischgut der Probekörper	SMA, AC, PA, MA, Beton
Bereifung	Standard-Pkw (Continental), variabel

**Tab. 6:** Konfigurationen des ARTe

aufweist, die einzelnen Prüfeinstellungen müssen hierzu allerdings noch angepasst werden.

Die Probekörperoberflächen werden kreisförmig „poliert“, sodass im vorliegenden Fall eine 360°-Belastung der temporären Fahrbahnmarkierung erreicht wird. Die Randbereiche bzw. Ecken der Probekörper werden nicht belastet. Daher sind die Markierungen in Längsrichtung mittig zu applizieren.

Innerhalb einer Prüfung werden zwei Probekörper mit den Abmessungen L x B x H von 26 cm x 32 cm x 4 cm in den horizontal verfahrenen Schlitten eingespannt und mit den um die vertikale Achse rotierenden Reifen belastet. Bewertungskriterium im Rahmen des Vorhabens ist die visuelle Erscheinung der temporären Markierungen nach der Prüfung, insbesondere, ob und in welchem Maße Markierungsteile abgerissen bzw. abgetragen wurden.

In Tabelle 6 sind die Standardkonfiguration des Prüfstands ARTe zusammengestellt:

## 4 Definition möglicher Einflussgrößen und Ableitung einer Prüfmatrix

Die Dauerhaftigkeit und Entfernbareit von Markierungsfolien ist neben der Verkehrsbelastung abhängig von der Beschaffenheit und den Eigenschaften der drei interagierenden Komponenten: Folie, Primer und Fahrbahnoberfläche. Dieses bedeutet, dass der Haftverbund zwischen Markierung und Oberfläche nicht nur durch den Kleber und Primer des eingesetzten Markierungssystems bestimmt wird, sondern vielmehr auch durch die Eigenschaften der Straßenoberfläche.

Hier spielen die Baustoffe auf der einen (d. h. insbesondere Gesteinsart und Bindemittel) und auf der anderen Seite die Oberfläche an sich (d. h. Oberflächentextur, ggf. vorhandener Bindemittelfilm) eine entscheidende Rolle.

Zur Ermittlung aller für die Haftung relevanten Parameter werden daher zunächst die Materialkennwerte verschiedener Folien und gebräuchlicher Deckschichtarten ermittelt und zusammengestellt.

## 4.1 Einfluss der Straßenoberfläche

Aus vorhergehenden Untersuchungen ist bereits ein Zusammenhang zwischen Straßenoberfläche und Haltbarkeit von Markierungsfolien bekannt (KILLING/HIRSCH, 2007).

Dabei spielt insbesondere die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche eine maßgebliche Rolle, die wiederum von dem eingesetzten Baustoff beeinflusst wird. Hier ist grundsätzlich zwischen Asphaltoberflächen und hydraulisch gebundenen Oberflächen, d. h. Betonoberflächen, zu unterscheiden.

### 4.1.1 Asphaltoberflächen

Im Allgemeinen wird das Gemisch aus Gesteinen und Bitumen als Asphalt bezeichnet. Die Gesteinsarten, die Korngrößenverteilung, die Bindemittelsorte und -menge sowie die Einbautechnik und Einbaubedingungen beeinflussen die Textur der Oberfläche. Die Beanspruchung aus Verkehr (Radüberrollungen) und Witterungen beeinflussen/bestimmen darüber hinaus die Texturentwicklung der Oberfläche im Laufe der Lebensdauer (SCHULZE, 2011).

Abstumpfungmaßnahmen, die gemäß ZTV Asphalt-StB 07 (FGSV, 2007b) zur Erhöhung der Anfangsgriffigkeit vermehrt eingesetzt werden, beeinflussen weiterhin die Oberflächentextur. Obwohl das Material (d. h. das Abstumpfungsmaterial) nur temporär in der Deckschicht gebunden wird, beeinflusst das Material sowie die mit der Zeit durch Herauslösen des Materials entstehenden Vertiefungen/Strukturierungen die Mikro- und Makrotextur der Oberfläche (SCHULZE, 2011, FGSV 2007b).

Die einzelnen Gesteinskörner des Asphaltes sind nach der Herstellung mit Fertiger und Walze zunächst vollkommen mit Bitumen umhüllt. Die Mikrotextur auf den Gesteinskörnern wird zumeist erst nach einer gewissen Belastung durch Verkehr und

Witterung und den hierdurch induzierten Abtrag des Bitumenfilms zum Tragen (daher ist bei Neubaustrassen anfänglich zumeist eine Geschwindigkeitsreduzierung bei Nässe zu finden). Diese Mikrotextur beschreibt Rauigkeitselemente mit Wellenlängen kleiner 0,5 mm und ist für die Aktivierung der Reibungskräfte zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche verantwortlich. Darüber hinaus wird vermutet, dass ein direkter Einfluss der Mikrotextur auf die Applikation, d. h. die Interaktion zwischen Oberfläche, Primer, Kleber und Markierungssystem (sowohl dauerhafte als auch temporäre Markierungen) besteht (SCHULZE, 2011).

Demgemäß ist der Einfluss des Oberflächenzustandes (Neuzustand oder nach Belastung) insbesondere direkt nach der Herstellung (Zustand mit vollkommen bitumentumhüllten Gesteinskörnern), ist im Rahmen der Untersuchung zu untersuchen. Hierdurch ist der Einfluss der Bindemittelumhüllung sowie der durch die Belastung freigelegten Mikrotextur der einzelnen Gesteinskörner im Kontext der Applikationsgüte der temporären Markierungen zu quantifizieren. Beispielsweise würde sich ein Vergleich neuer, d. h. mit einem Bitumenfilm versehenen und belasteter Asphalte, d. h. mit freigelegter Mikrotextur, für die o. g. Analyse anbieten.

Im Gegensatz zur Mikrotextur der einzelnen Gesteinskörner ist die Makrotextur der Fahrbahnoberfläche direkt nach dem Asphalteinbau wirksam. Sie beschreibt Rauigkeitselemente mit einer Wellenlänge zwischen 0,5 bis 50 mm und bestimmt mit Bezug auf die Reifen-Fahrbahn-Reibung primär die Drainage des Wassers aus dem Kontaktbereich zwischen Reifen und Fahrbahn. Auch ein indirekter Einfluss auf die Applikationsgüte von Fahrbahnmarkierungen wird hier vermutet. Beispielsweise könnte eine hohe Fließfähigkeit des Primers (d. h. niedrige Viskosität) und die Abführung des Primers von der Kontaktebene zwischen Markierung und Fahrbahn durch eine große Makrotextur die Applikationsgüte negativ beeinflussen. Dies gilt es im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen zu analysieren.

Aus bautechnischer Sicht wird die Makrotextur durch den Größtkorndurchmesser und die Korngrößenverteilung bestimmt. Grundsätzlich ist bei abnehmender Sandkomponente und zunehmendem Größtkorndurchmesser mit einer größeren Makrotextur zu rechnen (SCHULZE, 2011). Beispielsweise weisen offenporige Beläge einen minimalen Sandanteil sowie eine daraus resultierende große



Makrotextur auf. Dies beeinflusst ebenfalls die Griffigkeit (insbesondere die Drainage) und auch die Applikationsgüte.

Neben den o. g. bautechnischen Einflussgrößen, d. h. der Ausbildung von Mikro- und Makrotextur und den Belastungen infolge Verkehr und Witterung spielen für die Güte der Applikation auch die gewählten Baustoffe und Materialien eine Rolle.

Asphalte werden grundsätzlich in offenporige (Offenporige Asphalte), dichte (Asphaltbetone) und semidichte Walzasphalte (Splittmastixasphalte) sowie Gussasphalte unterschieden. Die Konzeption und Zusammensetzung der unterschiedlichen Materialien sind in den einschlägigen Normen, der TL Asphalt-StB 07 bzw. ZTV Asphalt-StB 07 und der TL Beton-StB bzw. der ZTV Beton-StB verankert.

Die zweckmäßig einzusetzenden Asphaltmischgutarten und Asphaltmischgutsorten sind in Abhängigkeit von der zu erwartenden Beanspruchung in den ZTV Asphalt-StB 07 (2007) zusammengestellt. Die Belastung ist durch die Einteilung in Bauklassen wiedergegeben, was sich direkt im Aufbau der Straßenkonstruktion sowie in der Auswahl der Baustoffe niederschlägt. Nicht nur die Asphaltart und -sorte werden hierdurch vorgegeben, sondern auch in Kombination mit der TL Asphalt-StB 07 die verwendeten Baustoffe, Baustoffkombinationen und Zusammenstellungen (Bitumen).

Bauklasse	Asphaltdeckschicht aus			
	Asphaltbeton	Splittmastixasphalt	Gussasphalt	Offenporiger Asphalt
SV, I	-	SMA 11 S	MA 11 S	PA 11
II	AC 11 DS		SMA 8 S	
III				MA 5 S
IV	AC 11 DN	(SMA 8 N)	(MA 11 N)	-
V	AC 8 DN		(MA 8 N)	
VI	AC 8 DL	(SMA 8 N)	(MA 5 N)	
		(SMA 5 N)		
Rad-, Gehw.	AC 5 DL	-	(MA 5 N)	

Tab. 7: Zweckmäßig einzusetzende Asphalte (nach FGSV ZTV Asphalt-StB 07, 2007)

Die im vorliegenden Fall für den Einsatz temporärer Fahrbahnmarkierung maßgeblichen Bauklassen, die Bauklassen SV und I, sind für die höchsten Beanspruchungen, wie sie beispielsweise auf Bundesautobahnen oder Bundesstraßen vorzufinden sind, ausgelegt.

Demzufolge kommen für Deckschichten auf Strecken mit hoher bis sehr hoher Belastung die folgenden Asphalte bzw. Mischgutarten in Frage:

- Splittmastixasphalt (SMA 11 S oder SMA 8 S),
- Gussasphalt (MA 11 S, MA 8 S, MA 5 S),
- Offenporiger Asphalt (PA 11 oder PA 8).

In Ergänzung zu den o. g. Asphaltarten soll in den vorliegenden Untersuchungen auch ein Asphaltbeton AC 11 D S, der insbesondere auf älteren Straßen mit höheren Belastungen noch vorzufinden ist, in die Untersuchungen mit einbezogen werden. Daher wird auch diese Asphaltart nachfolgend kurz erläutert.

### Asphaltbeton (AC)

Ein Asphaltbeton (vgl. Bild 26) wird aus einer der Betontechnologie abgeleiteten Sieblinie zusammengesetzt. Hieraus resultiert die Bezeichnung „Beton“ in der Namensgebung. Für den Einsatz in einer Asphaltdeckschicht sind nur gebrochene Gesteinskörnungen zu verwenden. Dies resultiert zum einen aus Standfestigkeitsaspekten und zum anderen aus Griffigkeitsaspekten. Die Standfestigkeit wird durch die stetige Sieblinie und hohlraumarme Zusammensetzung erreicht.

Der Einsatz von Asphaltbeton ist nach den ZTV Asphalt-StB 07 für die Bauklassen II bis VI vorgesehen. Für die hochbelasteten Straßen der Bau-

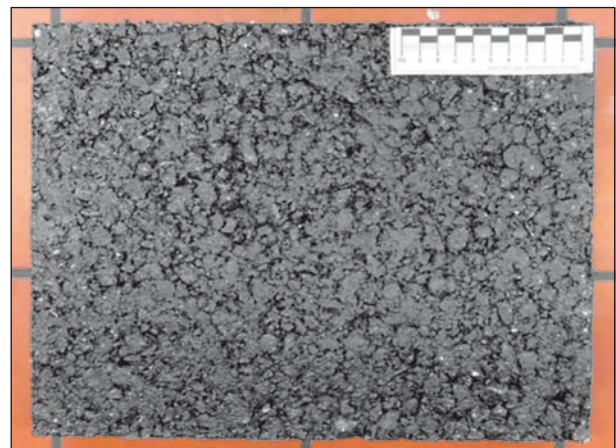


Bild 26: Asphaltbetondeckschicht AC 11 D S

klasse I und SV sollte Splittmastix-, Gussasphalt oder Offenporiger Asphalt vorgesehen werden. Eine Betrachtung in den vorliegenden Untersuchungen wird daher als sinnvoll erachtet.

### Splittmastixasphalt (SMA)

Der Splittmastixasphalt (vgl. Bild 27) kann als Alternative zum Asphaltbeton eingesetzt werden und muss die gleichen Aufgaben erfüllen. Der Einsatz von SMA ist prädestiniert für Straßen mit einer hohen Belastung, d. h. der Bauklassen SV bis I.

Grundsätzlich besteht SMA aus einem hohen Anteil (60-80 M.-%) gebrochener grober Gesteinskörnungen (Splitt > 2,0 mm) und einer Mastix (die Masse aus Bitumen und Füller); feine Gesteinskörnungen (Sand 0,063-2,0 mm) sind nur mit geringen Anteilen enthalten. Um die hohe Standfestigkeit des SMA für den Einsatz auf hochbelasteten Straßen zu erreichen besteht das Gesteinsgemisch aus einer Ausfallkörnung, d. h. ein bestimmter Korngrößenbereich ist nicht oder nur sehr gering im Gesteinskörnungsgemisch vertreten. Dadurch wird eine sehr gute Lastabtragung erreicht.

### Offenporiger Asphalt (PA)

Unter dem Begriff „Offenporiger Asphalt“ werden Asphalte verstanden, die im verdichteten Zustand einen hohen Anteil an Hohlräumen besitzen (vgl. Bild 28). Während bei üblichen Asphaltdeckschichten der Hohlraumgehalt in einer Größenordnung von ca. 3 bis 8 Vol. % liegt, müssen die Offenporigen Asphalte einen Hohlraumanteil von 22 bis 28 Vol.-% im verdichteten/eingebauten Zustand aufweisen.

Für die Schaffung des hohen Hohlraumgehaltes wird eine Sieblinie mit Ausfallkörnung, ein sogenanntes „Einkorn-Gemisch“ verwendet. Hierdurch ergibt sich im Vergleich zu einem Asphaltbeton bzw. einem Splittmastixasphalt eine charakteristische Sieblinie (vgl. Bild 29).

In den TL Asphalt-StB 07 (2007) und den ZTV Asphalt-StB 07 (2007) wurde der Offenporige Asphalt als Regelbauweise aufgenommen und kann bei den Bauklassen SV sowie I bis III eingesetzt werden.

### Gussasphalt (MA)

Gussasphalt (Mastic Asphalt „MA“, vgl. Bild 30) ist gemäß den TL Asphalt-StB 07 ein dichtes Asphalt-

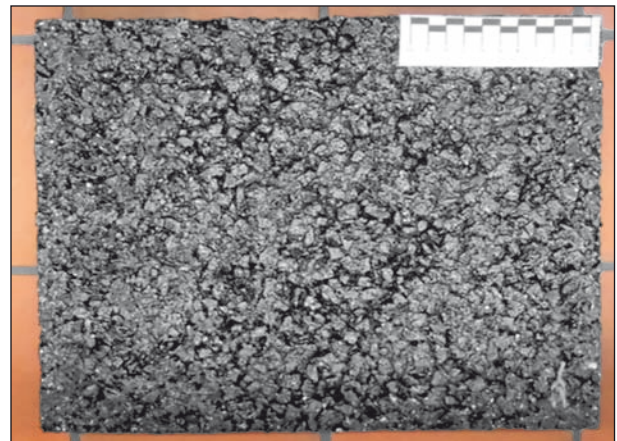


Bild 27: Splittmastixasphaltdeckschicht SMA 11 S

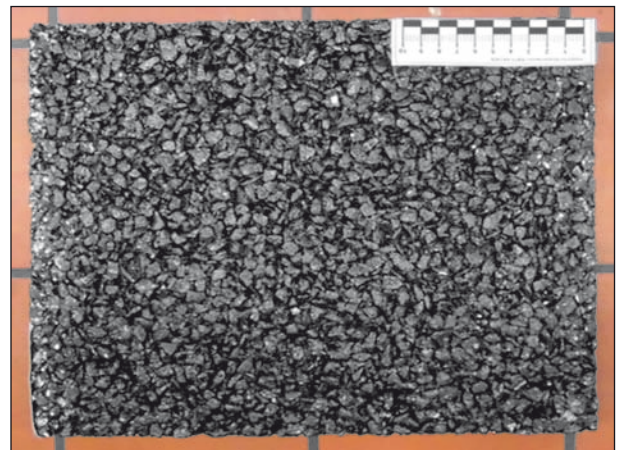


Bild 28: Offenporige Asphalt PA 11

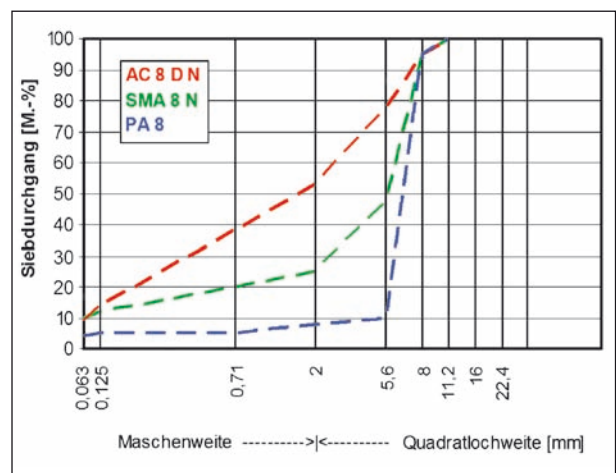
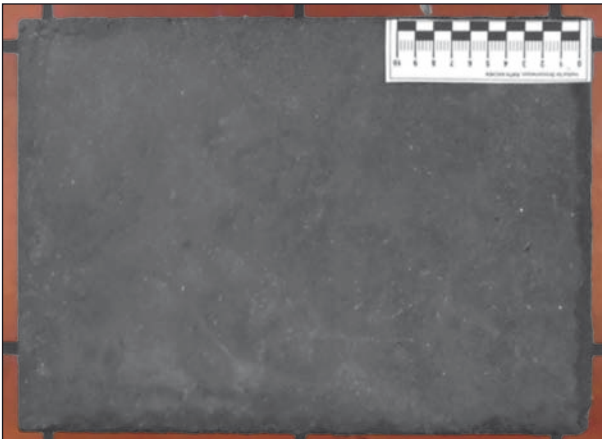


Bild 29: Vergleich typischer Sieblinien von Asphaltbeton, Splittmastixasphalt und Offenporigem Asphalt

mischgut aus groben und feinen Gesteinskörnungen, Füller und Bindemittel. Gussasphaltemischgut wird nur als Deckschicht verwendet. Der grundlegende Unterschied zu den Walzasphalten besteht darin, dass Gussasphalt eine vollkommen dichte Masse ist, also keinerlei Hohlräume besitzt.





**Bild 30:** Gussasphalt

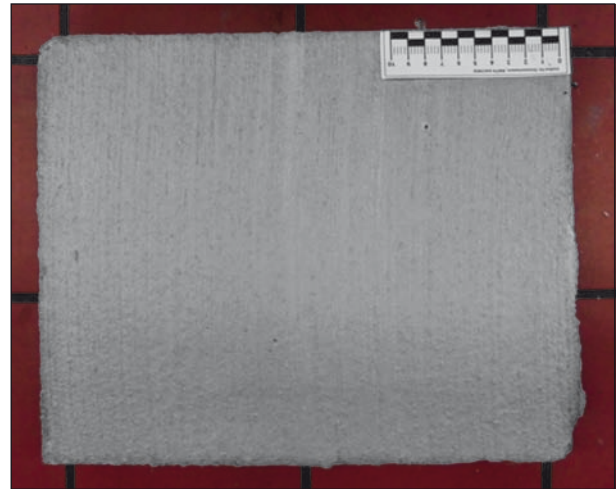
Demgemäß erfolgt hier, im Unterschied zu den zuvor genannten „Walzasphalten“ (Asphaltbeton, Splittmastixasphalt und Offenporiger Asphalt), die Lastabtragung über die Bitumen-Füller-Mastix. In den TL Asphalt-StB 07 wird gefordert, dass der Bindemittelgehalt so hoch zu wählen ist, dass alle im Mineralstoffgemisch vorhandenen Hohlräume ausgefüllt sind und zusätzlich ein geringer Bindemittelüberschuss vorhanden ist. Es wird daher ein extrem hoher Anteil an Füller (ca. 25 M.-%) zur Bindung des Bindemittels benötigt. Daraus resultiert, dass der Gussasphalt fließfähig ist (TL Asphalt-StB 07, 2007).

Auf Brücken wird fast ausschließlich Gussasphalt verwendet, da keine Verdichtung erforderlich ist, welche die Brückenkonstruktion durch die schweren Walzenzüge zusätzlich belasten würde.

Gussasphalt ist außerdem auch die Standardoberfläche zur Eignungsprüfung von Markierungsmaterial in der Rundlaufprüfanlage der BAST.

#### 4.1.2 Betonoberflächen

Neben den Deckschichten aus Asphalt werden im Fernstraßenbau auch Fahrbahnen aus Beton, ein Gemisch von Gesteinskörnungen, Zement und Wasser. Je nach Herstellungsverfahren ist eine Oberfläche aus Beton durch einen „gewissen“ Mörtelspiegel gekennzeichnet. Dieser wird durch unterschiedliche Verfahren, beispielsweise mittels eines Jutetuchs oder durch entsprechende Oberflächenbehandlungen (Nachbehandlungsmaßnahmen), strukturiert. Dies ist für die Ausbildung einer ausreichenden Makrostruktur erforderlich, um auch bei Nässe eine ausreichende Griffigkeit sicherstellen zu können. Durch Verkehrs- und Witterungseinflüs-



**Bild 31:** Strukturierte Betonoberfläche (texturiert mit Jutetuch)

se wird der Mörtel abgebaut. Dies führt zu einem Freilegen der groben Gesteinskörnungen. Bei einer neu hergestellten Betonfahrbahn weist die strukturierte Mörtelschicht eine ausgeprägte Mikrostruktur auf, die maßgeblich durch die eingesetzten feinen Gesteinskörnungen und deren Korngrößenverteilungen bestimmt wird (SCHULZE, 2011).

Über die Liegezeit unterliegt sowohl die Mikro- als auch Makrostruktur durch den Abbau der Mörtelschicht einer deutlichen Veränderung. Dieser Abbau (bzw. die Dauerhaftigkeit der Mörtelschicht) und damit die zeitliche Entwicklung der Oberflächentextur werden durch die Betonzusammenstellung (Zementsorte, w/z-Gehalt, Zusatzmittel, Zusatzstoffe, etc.) sowie die Einbautechnik und Nachbehandlung bestimmt (SCHULZE, 2011).

Aufgrund der hohen Tragfähigkeit, des hohen Verformungswiderstands (keine Spurrinnen) und der längeren Instandsetzungsintervalle finden Betondecken hauptsächlich Anwendung beim Autobahn- und Bundesstraßenbau.

Bei der Herstellung von Betondecken wird die Oberfläche zunächst geglättet und anschließend texturiert (Ausbildung einer ausreichenden Makrostruktur). Dies wird üblicherweise unmittelbar nach dem Einbau, Verdichten und Glätten entweder durch Ziehen oder Schleppen von geeigneten Hilfsmitteln in den Oberflächenmörtel des frischen Betons eingepreßt. Beispielsweise erfolgt dies durch Abziehen der Oberfläche mit einem nachgezogenen Jutetuch oder einem Stahlbesenstrich (vgl. Bild 31).

Die Waschbetonbauweise ist eine spezielle Bauweise, bei der der Mörtel bereits beim Einbau/bei

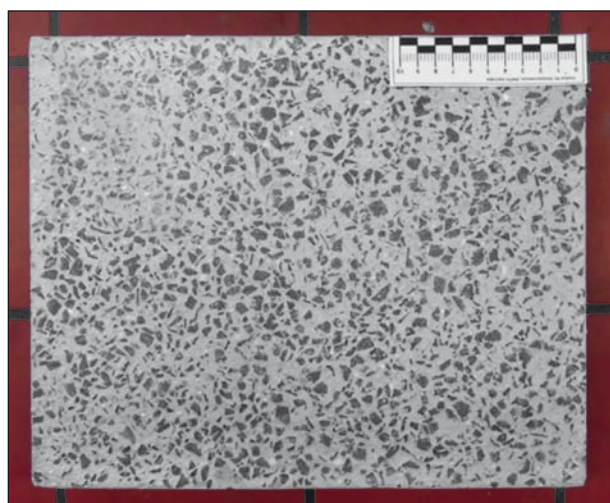


Bild 32: Waschbetonoberfläche

der Herstellung durch geeignete Nachbehandlungsmaßnahmen gezielt entfernt wird (vgl. Bild 32). Dies wird beispielsweise durch maschinelles Ausbürsten realisiert.

Seit Anfang 2006 ist die Waschbetonoberfläche in Deutschland mit dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 5/2006 (BMVBS, 2006) als Standard-Betonbauweise anerkannt und löst die bisherige Standardbauweise ab. Für die Eigenschaften und Herstellung des Waschbetons gelten das Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Fahrbahndecken aus Beton (M OB, 2009), das ARS Nr. 14/2006 sowie die ZTV Beton-StB 07 (SCHULZE, 2011).

#### 4.2 Einfluss der Oberflächentextur der Straßenoberfläche

KILLING/HIRSCH (2007) sowie PETRY et al., (2010) konnten bereits einen signifikanten Einfluss der Oberflächentextur auf den Verschleiß der temporären Markierungsfolien nachweisen. Die Abnutzung der Markierung steht in direktem Zusammenhang mit der Textur der Oberfläche, auf die die Folien appliziert werden. Je ausgeprägter die Textur der Fahrbahn, desto schneller und stärker wird das Markierungssystem beschädigt.

Als Oberflächentextur (vgl. Bild 33) wird die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche im Wellenlängenbereich von wenigen Mikrometern bis einigen Dezimetern bezeichnet. Bei der Textur ist hauptsächlich zwischen der Makrotextur bzw. Grobrauheit (dem Profil) und der Mikrotextur bzw. Feinrauheit (dem Schärfegrad bzw. der Schärfe

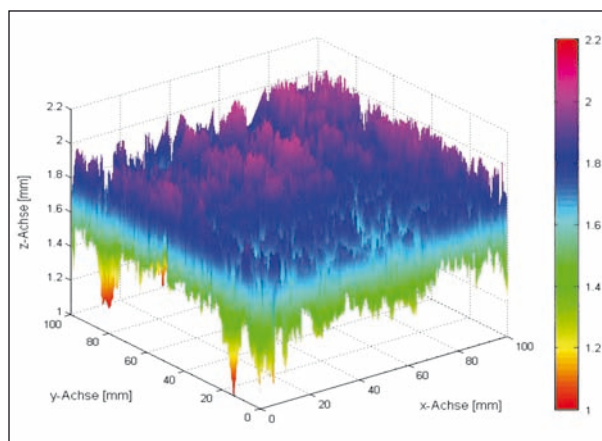


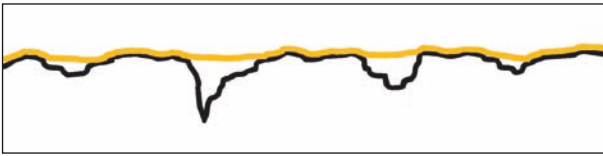
Bild 33: Dreidimensionale Darstellung einer Fahrbahnoberfläche (Detailausschnitt: 100 x 100 mm)

der Gesteinskörner) zu unterscheiden. Zur Makrotextur zählen Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,5 mm bis 50 mm. Die Textur der Fahrbahnoberfläche wird dabei durch Indikatoren, wie beispielsweise die maximale Rautiefe oder den Gestaltfaktor  $g$  beschrieben, die eine genaue Charakterisierung der Textur erlauben. Grundlage dieser Indikatoren sind geeignete Verfahren, die eine Abtastung der Oberflächentextur ermöglichen.

#### 4.3 Einfluss der Applikationsfläche zwischen Fahrbahn und temporärer Markierung

Eine Fahrbahnoberfläche ist, wie bereits dargestellt, nicht vollkommen eben. Vielmehr ist die Oberfläche durch eine Textur gekennzeichnet. Diese Textur führt zu einem nicht vollständigen Kontakt der Markierung mit der Oberfläche. Dies bedeutet, dass die Applikation nicht vollflächig, sondern nur punktuell auf einer reduzierten Fläche erfolgt. Die bei der Radüberfahrt bzw. bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen auftretenden Kräfte müssen über die Applikationspunkte in den Untergrund eingeleitet werden. Übersteigen die eingeleiteten Kräfte pro Flächeneinheit die maximale Klebkraft des Primers, erfolgt ein Ablösen der temporären Markierung.

Daher ist für die Applikation bzw. die Entfernbareit der temporären Markierungen neben der Oberflächenbeschaffenheit und der daraus resultierenden Oberflächentextur weiterhin auch die Applikationsfläche zwischen Fahrbahnmarkierung und Fahrbahnoberfläche von Bedeutung. Im Bereich



**Bild 34:** Ausbildung der Applikationspunkte zwischen Fahrbahnoberfläche und Markierung

dieser „Kontaktfläche“ erfolgt die „Verklebung“ der Markierung mit der Oberfläche mittels geeigneter Primersysteme.

#### 4.4 Einfluss der Gesteinsart

Die Gesteinsarten, die zur Herstellung von Fahrbahnen zum Einsatz kommen, unterscheiden sich u. a. hinsichtlich des Gehaltes an Siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ). Gesteine mit hohem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt werden als „sauer“ bezeichnet. Die so genannten „basischen“ Gesteine weisen einen niedrigen Gehalt an  $\text{SiO}_2$  auf. Da der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt die Haftung des Bindemittels am Gestein beeinflusst, ist auch von einem Einfluss der Gesteinsart auf die Haftung der Folien auszugehen. Um den Einfluss des  $\text{SiO}_2$ -Gehaltes auf die Haltbarkeit der Markierung zu untersuchen, wird die Gesteinsart innerhalb einer Mischgutart, d. h. an einer Oberfläche variiert.

Der  $\text{SiO}_2$ -Gehalt des Gesteins wird nicht im Labor bestimmt, sondern qualitativ durch Festlegung einer bestimmten Gesteinsart im Mischgut berücksichtigt.

#### 4.5 Einfluss der Materialeigenschaften der Markierungsfolien

Die Kennwerte der Markierungsfolien werden basierend auf den Angaben der Hersteller zusammengestellt. Die Folien unterscheiden sich hinsichtlich folgender Parameter:

- Gestaltung der Folienoberfläche (strukturiert oder glatt),
- Art des eingesetzten Klebers,
- Verwendung von Primer,
- Art des Primers,
- Schichtaufbau,
- Schichtdicke (Materialdicke) aller Schichten inkl. Kleber,
- Art des integrierten Gewebes,

- Verkehrsklassen,
- verkehrstechnische Eigenschaften (Tag- und Nachtsichtbarkeit, Griffigkeit).

Die Kennwerte der Folien, die in dieser Untersuchung näher betrachtet werden sollen, sind in der „Prüfmatrix“ in Tabelle 9 zusammengefasst. Die physikalischen Eigenschaften wie beispielsweise die Zugfestigkeit im Neu- und im Gebrauchszustand der Folien können z. B. in Zugversuchen bestimmt werden. Die Ergebnisse der Zugversuche sollen den Abzugsversuchen, die an belasteten Probekörpern durchgeführt werden (vgl. Kapitel 7.4), gegenübergestellt werden. Aus dieser Betrachtung sollen Aussagen abgeleitet werden, ob einzelne Folien durch die Verkehrsbelastung schon soweit beschädigt und strukturell geschwächt sind, dass die notwendigen Abzugskräfte nicht mehr von der Folie aufgenommen werden können, sodass eine schnelle Demarkierung nicht mehr durchgeführt werden kann.

#### 4.6 Ableitung einer Prüfmatrix

Zur Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen Straßenoberfläche, Markierungssystem und Verkehrsbelastung im Hinblick auf die Haltbarkeit und die Entfernbarkeit der Markierungsfolien, wird eine repräsentative Auswahl von Fahrbahnoberflächen und Foliensystemen ausgewählt und in einer Prüfmatrix aufgestellt. Auf diese Weise ist es möglich alle relevanten Kombinationen der Deckschicht- und Foliennennwerte abzudecken und systematisch zu untersuchen.

##### 4.6.1 Auswahl von Oberflächen

Auf die Eigenschaften der unterschiedlichen Mischgutarten, die zur Herstellung von Deckschichten im Fernstraßenbau eingesetzt werden und die für das Laborprogramm hergestellt werden sollen, wurde bereits in Kapitel 4.1 (Einfluss der Straßenoberfläche) eingegangen.

Zur Erstellung der Prüfmatrix ist die Festlegung einer repräsentativen Auswahl an unterschiedlichen Oberflächen erforderlich. Die Probekörper sollen daher aus gebräuchlichen Mischgutarten hergestellt werden. Auf der anderen Seite ist bei der Auswahl des Probekörpermaterials auf eine große Bandbreite verschiedener Oberflächentexturen zu achten, um die Abhängigkeit des Haftver-



bundes von Markierung und Oberflächengeometrie möglichst differenziert zu bestimmen.

### **Einfluss der Asphaltart und -sorte**

Für Deckschichten auf Bundesautobahnen wird in Nordrhein-Westfalen aufgrund der günstigen Auswirkungen auf die Lärmimmissionen sehr häufig ein Splittmastixasphalt mit einem Größtkorn von 8 mm (SMA 8 S) eingebaut. Innerhalb der Mischgutart soll keine Variation der Korngröße erfolgen, da die Untersuchung der Asphaltart im Vordergrund steht.

Weitere verbreitete Deckschichtmischgüter für höher belastete Strecken sind Offenporiger Asphalt, Asphaltbeton, Waschbeton und Oberbeton. Gussasphalt wird aufgrund der starken Lärmimmission nur noch auf Brücken eingebaut und ist daher von geringer Bedeutung. Im Laborprogramm sollen deshalb Gussasphaltprobekörper der RPA der BAST eingesetzt werden, um die Referenz zu dem Prüfverfahren der Eignungsprüfung von Markierungsmaterial herzustellen.

### **Einfluss eines Bitumenfilms auf Asphaltoberflächen**

Bei Asphaltoberflächen im Neuzustand sind die Gesteine an der Oberfläche noch durch einen Bitumenfilm umhüllt. Durch die Einwirkung des Verkehrs wird der Bitumenfilm nach und nach abgetragen. Um die Haltbarkeit und die Entfernbarkeit der Folien sowohl auf neuen als auch auf Bestands-oberflächen zu untersuchen, werden für eine Mischgutart zwei zusätzliche Varianten von Probekörpern hergestellt. Für die Abbildung der neuen Oberfläche werden Probekörper mit vorhandenem Bitumenfilm verwendet. Für die Realisierung von Oberflächen unter Verkehr wird der Bitumenfilm vor Applikation der Folien durch sandstrahlen entfernt und anschließend poliert. Diese Vorgehensweise ist geeignet um eine „gebrauchte“ Fahrbahnoberfläche im Labor zu erzeugen.

### **Einfluss der Gesteinsart bei Asphalten**

Der Einfluss der Gesteinsart auf die Haftung der Folien soll ebenfalls untersucht werden. Hier sind saure und basische Gesteine zu unterscheiden.

Saure Gesteine sind z. B. Granit und Grauwacke. Als basisch gelten dagegen z. B. Diabas und Basalt. Das saure Gestein Granit ist zwar aufgrund seiner helleren Farbe, das zu einer hellen Straßen-

oberfläche beiträgt zu bevorzugen, wurde jedoch aufgrund der Marktverfügbarkeit durch eine Grauwacke ersetzt. Als basisches Gestein wird ein Basalt bevorzugt, da dieser aufgrund der höheren Polierresistenz besser für die Entfernung des Bitumenfilms auf den Probekörpern und damit zur Herstellung einer Oberfläche „unter Verkehr“ geeignet ist.

### **Einfluss von Mörtel auf Betonoberflächen**

Hinsichtlich der Betonoberflächen können zwei gebräuchliche Betonarten unterschieden werden: Waschbeton (Standardbauweise seit Anfang 2006) und Oberbeton mit „Mörtelspiegel“. Beim Waschbeton wird der Mörtel aus der frischen Oberfläche ausgebürstet, sodass das grobe Gestein an der Oberseite freiliegt. Bei einem herkömmlichen Oberbeton wird die Oberflächentextur durch Abziehen z. B. mit Kunstrasen erzeugt. Dabei bleibt der Mörtel an der Oberfläche erhalten.

### **Auswahl von Oberflächenvarianten**

Die Probekörper werden durch das Institut für Straßenwesen hergestellt bzw. beschafft. Die Referenzoberfläche wird von der BAST geliefert. Folgende acht Fahrbahnoberflächen sollen im Einzelnen betrachtet werden:

- PA 8 mit Bitumenfilm,
- SMA 8 S mit Bitumenfilm,
- AC 11 D S mit Bitumenfilm,
- AC 11 D S ohne Bitumenfilm, saures Gestein,
- AC 11 D S ohne Bitumenfilm, basisches Gestein,
- MA (Referenzoberfläche der BAST),
- Waschbeton (ohne Mörtel an der Oberfläche),
- Oberbeton mit Mörtelspiegel (Oberfläche mit Besenstrich texturiert).

### **4.6.2 Auswahl der Markierungsmaterialien**

Als Grundlage für die Eingrenzung der Produkte und die Auswahl geeigneter Folien dient die Freigabeliste der BAST für Markierungssysteme, die den Anforderungen gemäß der ZTV-M-02 (2002) entsprechen.

Für die vorliegende Forschungsfrage werden Folien bevorzugt, die für den Einsatz in AID auf

Bundesfernstraßen geeignet sind. Da die Verkehrsbelastung ein maßgebliches Kriterium für die Beanspruchung der Markierungsmaterialien darstellt, sollen nur Folien mit der Zuordnung in die hohen Verkehrsklassen (P6 und P7) betrachtet werden. In der Übersicht (Tabelle 8) sind alle Hersteller von

Hersteller	Verkehrsklassen				
	P2	P4	P5	P6	P7
Advance Traffic Markings	x	x x	x	x	
Snoline spa.	x	x	x x	x x x	x x x x
Volkman & Rossbach GmbH & Co. KG			x	x x x	
Trelleborg Industri AB		x x	x x	x x x x	
3M Deutschland GmbH	x		x	x x x	x
Brite-Line Europe GmbH		x x	x x x	x x x	x x
Limburger Lack				x	
Diciotto srl	x		x	x	
Feichtner & Bossert KG	x				

Tab. 8: Zusammenstellung der Hersteller von temporärer Markierung nach der Freigabeliste der BASt

vorübergehenden Markierungsfolien zusammengestellt, deren Systeme ein Prüfzeugnis der BASt erhalten haben. Aus der Tabelle geht darüber hinaus hervor, welche Verkehrsklassen die geprüften Folien erreicht haben.

Die Zusammenstellung in Tabelle 8 verdeutlicht, dass nur bei drei der neun aufgeführten Hersteller Folien der Verkehrsklasse P7 in der Produktpalette vertreten sind. Die Auswahl der Markierungsmaterialien kann daher auf Produkte der folgenden drei Hersteller eingegrenzt werden:

- Snoline spa,
- 3M Deutschland GmbH,
- Brite-Line Europe GmbH.

Da es sich bei den Foliensystemen dieser Hersteller um gängige Produkte handelt, die in Arbeitsstellen auf Bundesfernstraßen sehr häufig zum Einsatz kommen, werden für das anstehende Laborprogramm die in Tabelle 9 aufgeführten Markierungsfolien dieser drei Hersteller ausgewählt. Die Zusammenstellung enthält darüber hinaus die wesentlichen Kenngrößen der einzelnen Produkte.

### Festlegung für die Prüfmatrix

Basierend auf den Vorüberlegungen erscheint eine umfangreiche Variation der zu untersuchenden Oberflächen sinnvoll, um die gesamte Bandbreite der vielfältigen Straßenoberflächen geeignet abzudecken. Auf der anderen Seite kann festgestellt werden, dass in Deutschland nur eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Markierungsfolieneingesetzt wird. Um die tatsächlichen Gegebenheiten

Hersteller	Produkt	Typ	P	Breite [cm]	Materialart	Struktur	Griffigkeit	Dicke [mm]	Applikation	
									Gewicht	T [°C]
Hersteller A	Variante 1	II	7	12-30	Dickschicht-Folie, Kautschuk-Basis	profiliert	> 55 SRT	ca. 2,0	90 kg	≥ 10 °C
	Variante 2	II	6		Folie, gummibasiert	profiliert	> 55 SRT	ca. 2,0	90 kg	≥ 10 °C
Hersteller B	Variante 3	II	7		Gewebefolie	profiliert	≥ 50 SRT	2,00	100 kg	≥ 4 °C
	Variante 4	II	6		Gewebefolie	profiliert	≥ 55 SRT	2,40	100 kg	≥ 4 °C
	Variante 5	II	6		Gewebefolie	glatt	≥ 50 SRT	1,5	100 kg	≥ 4 °C
Hersteller C	Variante 6	II	6	10-60	Gewebefolie	glatt	≥ 45 SRT	1,80	nicht angegeben	≥ 5 °C
	Variante 7	II	7		Gewebefolie	profiliert	≥ 55 SRT	2,20	nicht angegeben	≥ 5 °C

Tab. 9: Übersicht Auswahl der Markierungsmaterialien

				Prüfkörper	001-021	022-042	043-063	064-087	088-111	112-135	136-159	160-183
				Herstellung:	ISAC	ISAC	ISAC	ISAC	ISAC	BAST	ISAC	ISAC
				Material:	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Beton	Beton
				Mischgutart:	AC D	PA	SMA	AC D	AC D	MA	-	-
				Mörtel:	-	-	-	-	-	-	nein	ja
				Bitumenfilm:	ja	ja	ja	nein	nein	-	-	-
				Gestein:	-	-	-	sauer	basisch	-	-	-
Hersteller	Foliename	Typ	Oberfläche	Probekörperkennzeichnung								
A	Variante 1	P7	profiliert	001-003	022-024	043-045	064-066	088-090	112-114	136-138	160-162	
A	Variante 2	P6	profiliert	004-006	025-027	046-048	067-069	091-093	115-117	139-141	163-165	
B	Variante 3	P7	profiliert	007-009	028-030	049-051	073-075	096-099	121-123	145-147	169-171	
B	Variante 4	P6	profiliert	010-012	031-033	052-054	076-078	100-102	124-126	148-150	172-174	
B	Variante 5	P6	glatt	013-015	034-036	055-057	079-081	103-105	127-129	151-153	175-177	
C	Variante 6	P6/P7	glatt	016-018	037-039	058-060	082-084	106-108	130-132	154-156	178-180	
C	Variante 7	P6/P7	profiliert	019-021	040-042	061-063	085-087	109-111	133-135	157-159	181-183	

Tab. 10: Prüfmatrix

möglichst zutreffend abzubilden sollen 8 Oberflächen mit 8 verschiedenen Folienprodukten untersucht werden.

Ein Hersteller gibt für eine seiner Folien in der Produktinformation an, dass sie nicht für den Einsatz auf Offenporigem bzw. auf neuem Asphalt geeignet ist. Eine Untersuchung dieser Folie auf diesen Oberflächen ist deshalb nicht sinnvoll und wird daher nicht durchgeführt.

Daraus ergibt sich die Prüfmatrix in Tabelle 10. Insgesamt werden 61 verschiedene Varianten, d. h. aufgrund der dreifachen Belegung 183 Probekörper, betrachtet.

## 5 Länderabfrage

Um die Erfahrungen aus der Praxis in die Grundlagenstudie einzubeziehen, wurde ein Fragebogen erstellt, der bundesweit den Landesbetrieben zugeschickt wurde. Hauptaugenmerk der Befragung lag auf der Sammlung von Erfahrungen zur Haltbarkeit und Entfernbarkeit von Markierungsfolien für verschiedene Arbeitsstellen, um so die Zusammenhänge zwischen der Art des Markierungssystems, der Straßenoberfläche und der Verkehrsbelastung aus Anwenderperspektive zu bestimmen. Insgesamt konnte ein Rücklauf von 83 Fragebögen verzeichnet werden.

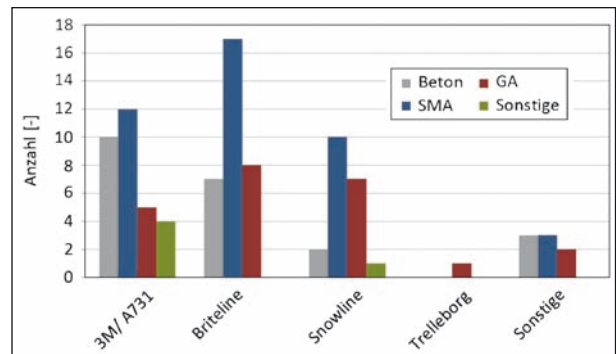


Bild 35: Folienhersteller nach Fahrbahnbelag

Bei den verwendeten Foliensystemen handelt es sich zumeist um Produkte der Hersteller Snoline spa., 3M Deutschland GmbH und Brite-Line Europe GmbH (vgl. Bild 35). Alle anderen Hersteller spielen auf dem deutschen Markt nur eine untergeordnete Rolle.

Hinsichtlich der eingesetzten Folientypen ergibt die Auswertung der Fragebögen, dass Typ-II Folien mit Abstand am häufigsten eingesetzt werden (vgl. Bild 36). Dieser Trend trifft für alle Straßenoberflächen gleichermaßen zu.

Die Haltbarkeit der Folien wird auf allen Belägen überwiegend als gut eingeschätzt (vgl. Bild 37). Besonders positiv schneidet nach Auffassung der befragten Meistereien der Splittmastixasphalt (SMA) ab.



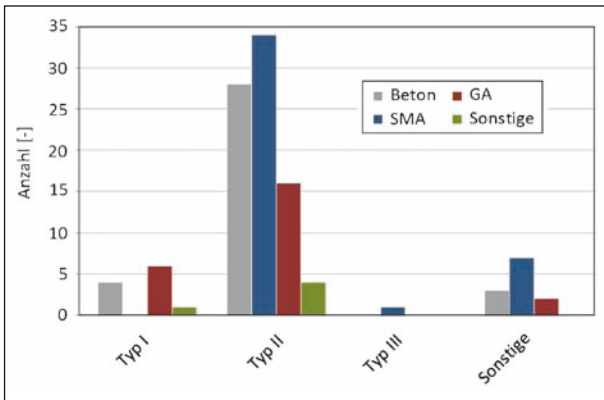


Bild 36: Folientypen getrennt nach Fahrbahnbelägen

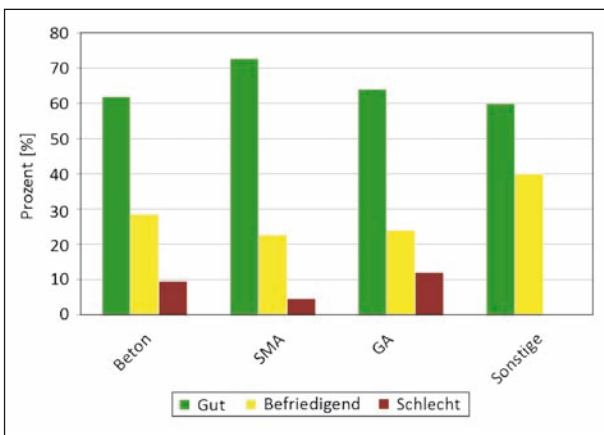


Bild 37: Haltbarkeit der Folien nach Fahrbahnbelägen

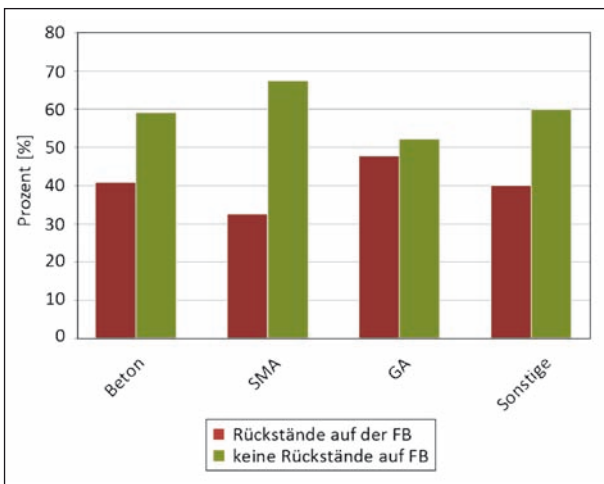


Bild 38: Rückstände nach Fahrbahnbelag

kann die Markierungsfolie rückstandsfrei entfernt werden (vgl. Bild 38), aber in etwa 40 % der Fälle verbleiben Rückstände auf der Fahrbahn. Es kann jedoch festgestellt werden, dass die Entfernbarkeit auf Gussasphalt (GA) besonders erschwert ist. Die besten Ergebnisse im Hinblick auf die Vermeidung von Markierungsrückständen weist die Splittmastixoberfläche (SMA) auf.

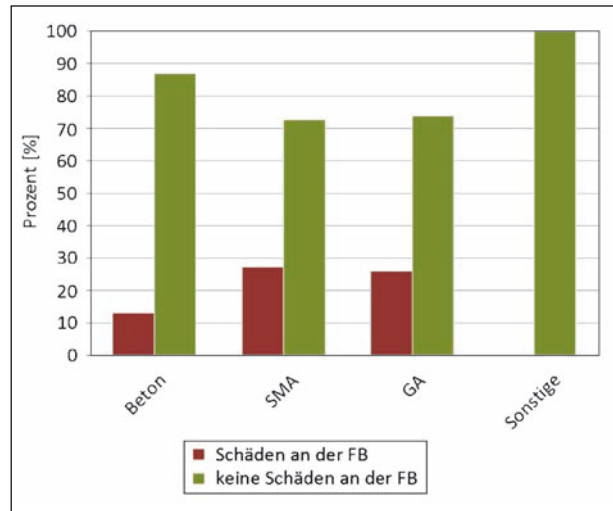


Bild 39: Fahrbahnschäden nach Fahrbahnbelag

Besonders häufig verbleiben nach der Demarkierung Primer bzw. Primerreste auf der Fahrbahn. Auf Splittmastixasphalt werden diese Rückstände vergleichsweise oft festgestellt.

Fahrbahnschäden aufgrund von Demarkierungsarbeiten treten auf Asphaltoberflächen in ca. 1/3 der Fälle auf. Auf Betonoberflächen sind Beschädigungen dagegen sehr viel seltener (< 10 %) zu verzeichnen (vgl. Bild 39).

Zudem wurde genannt, dass die Markierungen im Bereich der rechten Randmarkierung sowie im Überleitungsbereich stark beansprucht werden und auch nur schwer zu entfernen sind. Oftmals sind die Markierungen nur von Hand (z. B. mit einem Spachtel) oder mit Wasserfräsen zu entfernen.

## 6 Ermittlung der Belastung durch Verkehrserhebung

Die Beanspruchung von temporärer Markierung in Arbeitsstellen erfolgt in erster Linie durch eine vertikale Belastung durch die Überrollungen der Fahrzeuge. Verursacht durch Überleitungen, Fahrstreifeneinzüge oder eingeschränkte Fahrstreifenbreiten kommt es im Arbeitsstellenbereich häufiger zu Lenkbewegungen, Brems- und Beschleunigungsvorgängen, welche starke Schub- und Schlupfbeanspruchungen erzeugen, die die Markierung zusätzlich belasten und somit ebenfalls eine wesentliche Rolle beim Verschleiß der Markierungsfolien spielen.

## 6.1 Beanspruchung und Belastung temporärer Markierung

Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass die Beanspruchung der vorübergehenden Markierung in Arbeitsstellen vor allem von folgenden verkehrlichen und geometrischen Parametern beeinflusst wird:

- Fahrstreifenbreite,
- Fahrzeugkollektive (Fahrzeugbreiten, Schwerverkehrsanteil),
- DTV,
- Bereich innerhalb der Arbeitsstelle (Innenbereich oder Überleitung),
- Verkehrsführung sowie
- das Vorhandensein von transportablen Schutzeinrichtungen.

Die genaue Quantifizierung der einzelnen Einflussgrößen ist aber sehr schwierig, da jede Arbeitsstelle spezielle Besonderheiten aufweist. So ist bspw. die Fahrstreifenbreite alleine kein ausreichendes Indiz für die Anzahl der Überrollungen, sondern immer im Zusammenhang mit den gesamten Platzverhältnissen zu sehen. Steht unmittelbar hinter der Markierung eine transportable Schutzeinrichtung halten die Verkehrsteilnehmer eher etwas Abstand zur Markierung, befindet sich hinter der Markierung noch befestigte Fläche (vgl. Bild 40) wird die Markierung, vor allem am rechten Fahrbahnrand, fast durchgängig vom SV überfahren.

## 6.2 Einrichtung von Arbeitsstellen

Zur Durchführung von Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen auf Straßen ist die Einrichtung von Arbeitsstellen notwendig. Man unterscheidet dabei Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD) und längerer Dauer (AID). Unter AkD sind Arbeitsstellen zu verstehen, die nur kurzzeitig eingerichtet werden; temporäre Fahrbahnmarkierungen werden hier nicht eingesetzt.

Der Einsatz temporärer Markierungen ist auf Arbeitsstellen längerer Dauer begrenzt (RSA, 1995).

Eine weitere Unterscheidung der Arbeitsstellen längerer Dauer ergibt sich aus der Verkehrsführung. Hier unterscheidet man zwischen:



Bild 40: Beispiel Baustelleninnenbereich

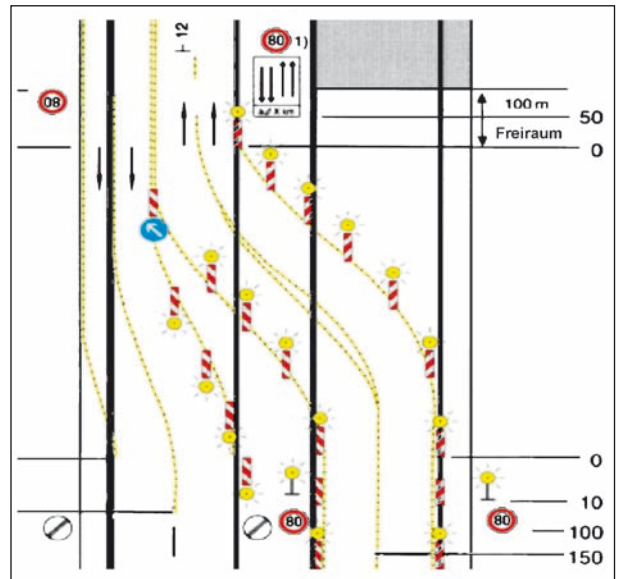


Bild 41: Überleitungsbereich (RSA, 1995)

- Verkehrsführung ohne Überleitung,
- Verkehrsführung mit Überleitung.

Im Überleitungsbereich (vgl. Bild 41) werden ein oder mehrere Fahrstreifen auf die Fahrbahn der Gegenrichtung überführt. Werden die Fahrspuren auf der eigenen Fahrbahn auf Behelfsfahrstreifen weitergeführt, so bezeichnet man den Beginn dieses Bereiches als Verschwenkungsbereich (vgl. Bild 42). Der Bereich mit gleichbleibender Verkehrsführung ist der (Baustellen-)Innenbereich.

Die Ausbildung der Überleitungen und Verschwenkungen hängt stark von der örtlichen Geometrie und der ausführender Firma ab. I. d. R. sind Überleitungen mit Trennlinse (Bild 43) ausgebildet, gelegentlich aber auch (Bild 44) ohne was oftmals zu Konfliktsituationen führen kann.

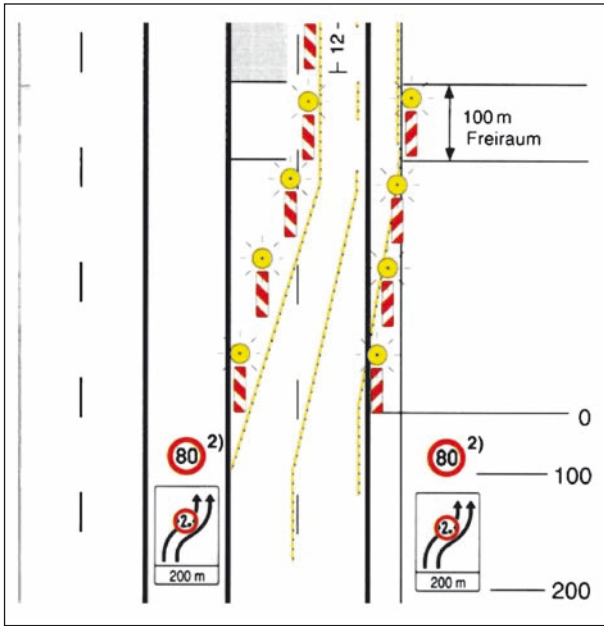


Bild 42: Verschwenkungsbereich (RSA, 1995)



Bild 43: Überleitung mit Trennlina



Bild 44: Überleitung ohne Trennlina

### Verkehrsführung in Arbeitsstellen

Nach RSA (95) ergeben sich in Abhängigkeit der Anordnung und Anzahl von Überleitungen und Verschwenkungen eine Vielzahl unterschiedlicher Verkehrsführungen (vgl. Bild 45).

Zur Unterscheidung von gleichen Ziffernfolgen werden zusätzlich folgende Kennzeichnungen verwendet:

- n: Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn werden nicht von der Arbeitsstelle betroffen
- s: Verkehr wird unter Mitbenutzung des Standstreifens geführt

Die Mindestbreiten der Behelfsfahrbahnstreifen richten sich sowohl nach der Verkehrsführung als auch nach der Länge der Arbeitsstelle. Es wird dabei zwischen zwei Varianten der Fahrstreifenausbildung unterschieden (vgl. Tabelle 11). Zu beachten ist

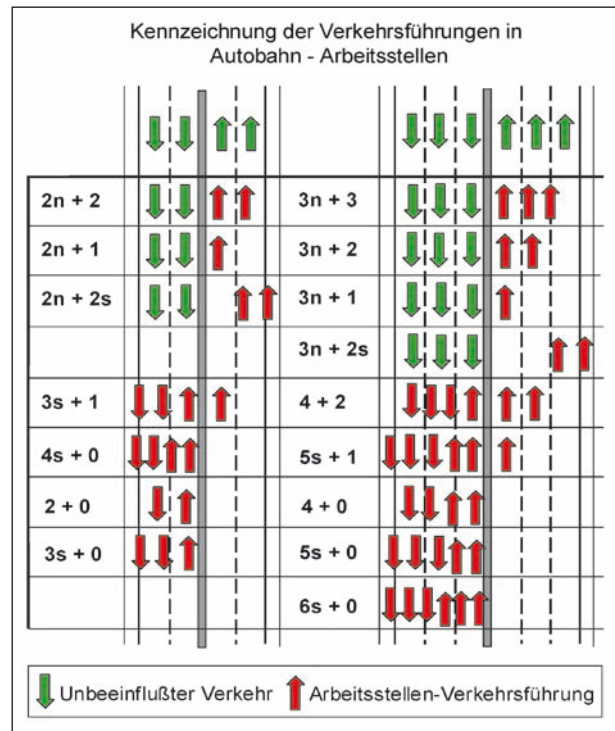
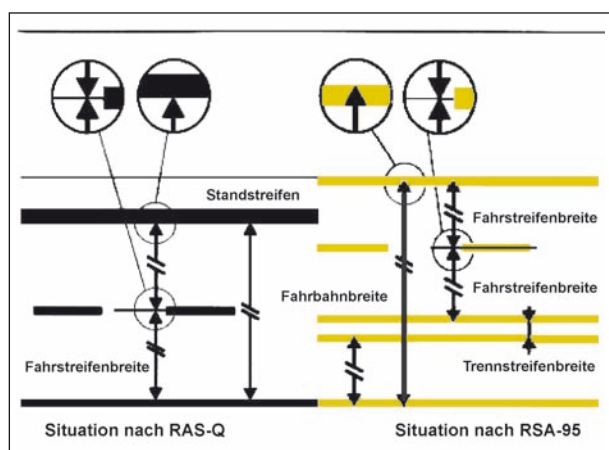


Bild 45: Darstellung der Verkehrsführungen in Autobahn-Arbeitsstellen

Fahrzeugbreite	Länge der Arbeitsstelle [km]		
	≤ 6	6-9	> 9
beschränkt auf bis zu 2,00 m (Z 264)	2,50 m (3,25 m)	3,00 m (3,25 m)	3,25 m
unbeschränkt	3,25 m (3,00 m)		

Tab. 11: Mindestbreite von Behelfsfahrbahnstreifen in Abhängigkeit der Arbeitsstellenlänge (RSA, 1995)





**Bild 46:** Gegenüberstellung: Breitendefinition nach RAS-Q und RSA-95 (SCHÖNBORN/SCHULTE, 1999)

dabei, dass die Fahrstreifenbreiten in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen i. d. R. verringert werden.

Nach den RSA (95) wird die Breite der Baustellenmarkierungen in die Breite der Behelfsfahrstreifen mit eingerechnet. Außerhalb der Arbeitsstelle zählen hingegen die Breiten der Fahrbahnmarkierungen gemäß RAS-Q (1996) nicht zur Fahrstreifenbreite (vgl. Bild 46). Insgesamt ist daher der Verkehrsraum in der Arbeitsstelle geringer als auf der freien Strecke und Markierungen dürfen z. T. auf überfahren werden.

Oftmals werden für die Überholfahrstreifen in Arbeitsstellen Mindestbreiten von 2,50 m (RSA, 1995) gewählt, verbunden mit einem Durchfahrverbot für Fahrzeuge mit einer Breite von über 2,00 m (Zeichen 264 StVO). Durch die Veränderung der Fahrzeugflotte in den letzten 20 Jahren, hin zu immer breiteren Fahrzeugen, führen diese Mindestbreiten mittlerweile zu Problemen im Baustelleninnenbereich; Markierungen werden häufiger überfahren und Lkw können nicht mehr überholt werden.

Neben 2+2- und 3+1-Verkehrsführungen ist die auf Autobahnen maßgebende Verkehrsführungsform die 4s+0-Verkehrsführung. Durch die Sperrung einer kompletten Fahrbahn und die Überleitung der Fahrzeuge auf die andere Richtungsfahrbahn, können die notwendigen Instandsetzungs- oder Umbauarbeiten schnell und kostengünstig durchgeführt werden. Etwas seltener werden 3s+1-Verkehrsführungen eingesetzt. Sie bieten sich unter anderem dann an, wenn Arbeiten an nur einem Fahrstreifen nötig sind oder die vorhandenen Fahrbahnbreiten die Sperrung einer Richtungsfahrbahn nicht zulassen.

Im Hinblick auf die Belastung der Baustellenmarkierungen sind Arbeitsstellen mit Überleitung als der maßgebende Beanspruchungsfall anzusehen, da aufgrund der Baustellengeometrie (z. B. Fahrstreifenbreite) die Zahl der Überrollungen vermutlich deutlich größer ist, als in anderen Verkehrsführungen.

### 6.3 Verkehrserhebungen

Wie bereits in Kapitel 6.1 erläutert, wird die Beanspruchung temporärer Markierungen insbesondere durch die verkehrlichen Größen der Strecke (z. B. Verkehrsaufkommen und Schwerverkehrsanteil sowie Zusammensetzung des Fahrzeugkollektivs) und geometrische Parameter der Arbeitsstellen (z. B. Fahrstreifenbreite, Arbeitsstellenbereich und Verkehrsführung) bestimmt. Die Verkehrserhebungen in dieser Untersuchung dienen daher der Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den o. g. Kennwerten. Hierauf aufbauend kann dann die Quantifizierung der Beanspruchung für die maßgebenden Parameterkombinationen erfolgen.

Aus den zuvor vorgestellten Zusammenhängen ergeben sich eine Reihe von Kriterien, die bei der Auswahl der für die Erhebung geeigneter Arbeitsstellen zu berücksichtigen sind, um die tatsächliche Anzahl an Überrollungen von temporären Fahrbahnmarkierungen zu ermitteln.

Von Interesse sind vor allem Arbeitsstellen auf Autobahnen mit einer 4s+0-Verkehrsführung, da diese gemäß den Angaben der Baubetriebsplanung (BMVSB BBP 2011 und BMVBS BBP 2012) mit Abstand am häufigsten vertreten sind und da aufgrund der meist beengten Fahrstreifen mit einer sehr hohen Überrollungsrate sowohl im Innenbereich als auch im Überleitungsbereich zu rechnen ist. Die Verkehrsführung 3s+1 hat ebenfalls eine hohe Relevanz für dieses Forschungsvorhaben, da diese Form der Arbeitsstellengestaltung ebenfalls vergleichsweise häufig auftritt und somit für die Erarbeitung eines praxisbezogenen Klassifizierungssystems und für die Schaffung eines Bewertungshintergrunds von großer Bedeutung ist. Weitere Formen der Verkehrsführung in Arbeitsstellen treten weit seltener auf und bleiben deshalb im Rahmen dieser Untersuchung unberücksichtigt.

Zur Abschätzung der tatsächlichen Überrollungen von vorübergehender Markierung werden daher 14 Arbeitsstellenbereiche (Verschwenkungen und

Baustelleninnenbereiche) über jeweils 4 Stunden mittels Videobeobachtungen erhoben und analysiert. Erfasst werden dabei die Überfahrten der rechten und linken Markierung in Fahrtrichtung sowie der Mittelmarkierung, getrennt nach Pkw und Lkw, sowie die Gesamtverkehrsbelastung, die Fahrstreifenanzahl und -breite.

Diese 14 Arbeitsstellenbereiche können allerdings nur ein kleines Spektrum aller praxisrelevanten Kombinationen aus Verkehrsführung, Fahrstreifenbreite, Vorhandensein einer transportablen Schutzeinrichtung u. v. m. abbilden. Eine exakte Prognose, wie oft die Markierung überfahren wird, kann so nicht gegeben werden.

Um die Überfahrten aller Bereiche einer Arbeitsstelle ohne Verdeckungen durch den laufenden Verkehr (insb. des Lkw-Verkehrs) beobachten zu können, muss die Erhebung von einem erhöhten Standort erfolgen. Daher ist bei der Wahl der Messstellen, neben der Verkehrsführung, das Vorhandensein einer geeigneten Brücke, die den zur Erfassung ausgewählten Bereich überquert, ausschlaggebend. Dies stellt sicher, dass Messgeräte und Videokameras ordnungsgemäß aufgestellt werden können und alle relevanten Bereiche gut einsehbar sind.

In Tabelle 12 ist die Anzahl der erfassten Arbeitsstellenbereiche für die beiden gewählten Verkehrsführungen zusammengestellt.

Für die anstehende Auswertung der Erhebungen, werden zunächst die wesentlichen Überfahrungsgebiete der Markierung definiert. Für jeden dieser Bereiche werden anschließend die Gesamtverkehrsbelastung und die Überfahrten getrennt nach Pkw bzw. Lkw ermittelt. Da die genaue Anzahl der Achsen der Lkw nicht bestimmt werden kann, wird überschlägig von fünf Achsen (entsprechend fünf Überrollungen) je Lkw ausgegangen. Für jeden Pkw werden zwei Überfahrten angesetzt. Die höheren Belastungen durch den Lkw-Verkehr (vgl. 4te-Potenz-Gesetz) ist hier noch nicht berücksichtigt worden.

In Bild 47 wird beispielhaft der Innenbereich und in Bild 48 ein Überleitungsbereich dargestellt.

Arbeitsstellenbereich	Verkehrsführung	
	4s+0	3s+1
Innenbereich	5	1
Überleitung	7	1

Tab. 12: Anzahl der beobachteten Arbeitsstellenbereiche

Aus der Verkehrsführung und den durchgeführten Messungen vor Ort werden die Fahrstreifenbreiten innerhalb der Arbeitsstellen bestimmt. In Anlehnung an die RSA (95) werden im Hinblick auf das zu entwickelnde Klassifizierungssystem folgende Kategorien der Fahrstreifenbreiten unterschieden:

- schmal: 2,50 m-2,60 m,
- mittel: 2,61 m-3,00 m,
- breit: 3,01 m-3,75 m.

Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen dieser Erhebungen aufgrund des begrenzten Umfangs nur Standardfälle erfasst werden können. So kann bspw. nicht analysiert werden, wie sich das Vorhandensein von transportablen Schutzeinrichtungen auf die Überfahrten und somit auf die Lebensdauer von Markierungen auswirken.

Im Detail konnte anhand der Videoanalysen der DTV sowie der prozentuale Anteil von Fahrzeugen, getrennt nach Pkw und Lkw, ermittelt werden, der die Markierung (links/Mitte/rechts) in einem festgelegten Bereich überfahren hat. Auf Basis dieser Ergebnisse konnten Abschätzungen vorgenommen werden, wie oft die Markierung bei bestimmten Randbedingungen und Verkehrsbelastungen überfahren wird. Die so ermittelten Faktoren dienen als Berechnungsgrundlage für das im Folgenden beschriebene Bewertungssystem.



Bild 47: Innenbereich einer 4s+0-Verkehrsführung



Bild 48: Überleitung in eine 4s+0-Verkehrsführung

## 6.4 Entwicklung eines Bewertungssystems

Es gilt für die Praxis ein Bewertungssystem zu entwickeln, welches sowohl die zu erwartenden verkehrlichen als auch die vorherrschenden geometrischen Merkmale der Arbeitsstelle widerspiegelt, und einen Richtwert für die Haltbarkeit der Markierungsfolie liefert.

### 6.4.1 Ermittlung der relevanten Parameter

Um den Umgang mit dem Bewertungssystem in der Praxis so einfach wie möglich zu gestalten bietet sich ein Entscheidungsdiagramm an, welches folgende Aspekte berücksichtigt:

- geometrische Parameter (z. B. Anzahl und Führung von Fahrstreifen, Fahrstreifenbreite),
- verkehrliche Parameter (DTV, SV-Anteil),
- Dauer der Arbeitsstelle,
- Vorhandensein von Schutzeinrichtungen,
- Eigenschaften der Straßenoberfläche,
- Leistungsklasse der Markierungsfolie.

Nach dem Festlegen der einzelnen Parameter in dem Entscheidungsdiagramm, kann die voraussichtliche Überrollungszahl der einzelnen Markierung für jeden Bereich ermittelt und eine Empfehlung für die zu verwendende Folienklasse in Abhängigkeit der Lage innerhalb des Fahrstreifens gegeben werden. So kann es zu unterschiedlichen empfohlenen Folientypen innerhalb einer AID kommen, je nachdem ob der rechte oder linke Fahrbahnrand betrachtet wird.

### 6.4.2 Geometrische Parameter

Die Anzahl der Fahrstreifen hat einen erheblichen Einfluss darauf wie oft eine Markierungsfolie, vor allem in Mittellage belastet wird. Insbesondere im Verschwenkungsbereich bei zwei vorhandenen Fahrstreifen wird die Mittelmarkierung höher belastet als die Markierungsfolie im Randbereich.

Die Belastung des Randbereiches hingegen ist weniger abhängig von der Anzahl der Fahrstreifen, als vielmehr davon, ob und welche Arten von Schutzeinrichtungen vorhanden sind bzw. ob dem Verkehrsteilnehmer über die Randbegrenzung hinaus weitere befahrbare Fläche zur Verfügung steht. Im Zuge der Verkehrsbeobachtungen (Belastungs-

ermittlung) zeigte sich deutlich, dass vor allem der Schwerverkehr, sofern möglich, einen Teil der Fahrbahn außerhalb der Markierung nutzt, um dem Pkw-Fahrer auf dem Überholstreifen mehr Platz zu geben. Daraus resultiert eine höhere Anzahl an Überrollungen der Randmarkierung.

### 6.4.3 Verkehrliche Parameter

Neben dem DTV spielt vor allem der Schwerverkehrsanteil eine große Rolle. Dieser wurde aber in der Vergangenheit nicht umfassend bei der Bewertung der Beanspruchung berücksichtigt. Die Beanspruchung, die durch die Überfahrt eines Lkw-Reifens entsteht ist deutlich höher als bei einer Pkw-Überfahrt (vgl. Bild 49).

Im Gegensatz zu der temporären Markierung lässt sich der Oberbau einer Straße mit dem Bemessungskonzept der RStO (2012) dimensionieren. Hierzu werden zuerst die Beanspruchungen bestimmt.

Bei der Bemessung wird nur die Schwerverkehrsbelastung berücksichtigt, da Untersuchungen gezeigt haben, dass ein 10-t-Achsübergang die Straße so schädigt, wie  $10^4$ -1-t-Achsübergänge (4te-Potenz-Regel). Somit wird die bemessungsrelevante Beanspruchung definiert als die Summe der gewichteten äquivalenten 10-t-Achsübergänge.

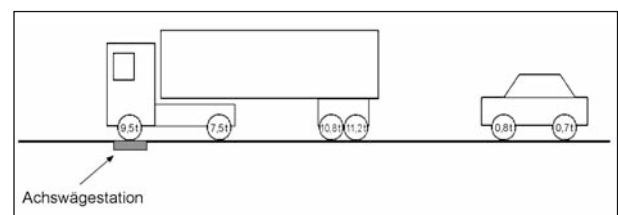


Bild 49: Belastung der Markierung durch Lkw und Pkw

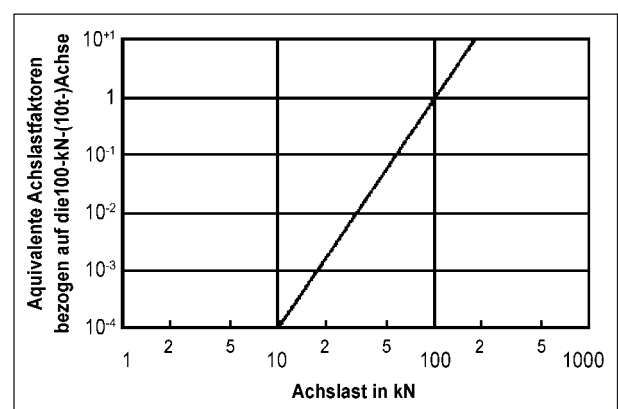


Bild 50: Äquivalente Achslasten nach AASHO-road-test

Legt man die 4te-Potenz-Regel zugrunde verringert eine 10-t-Achslast die Befahrbarkeit ebenso stark wie  $10^4$ -1-t-Achslasten.

Die 4te-Potenz-Regel ist zwar nicht ohne weiteres auf die Markierung übertragbar, deutlich wird aber der hohe Einfluss des Schwerlastverkehrs. D. h., auch bei der Ermittlung der Lebensdauer von Markierungen sollten die höheren Beanspruchungen durch den Schwerverkehr berücksichtigt werden.

#### 6.4.4 Dauer der Arbeitsstelle

Die während der Laborversuche gewonnene Erkenntnis, dass es bei gleichen Markierungsfolien zu, wenn auch geringen, Unterschieden im Zerstörungsbild kommen kann, lässt darauf schließen, dass eine Einteilung der zu erwartenden Liegedauer nur in Monaten Sinn ergibt. Eine taggenaue Vorhersage, entspricht außerdem nicht den Gegebenheiten einer Arbeitsstelle und führt unter Umständen zur falschen Wahl einer Markierungsfolie.

Aus der Erfahrung über die verschiedenen Zeiträume einer Arbeitsstelle bieten sich daher folgende Einteilungen an:

- Dauer < 3 Monate,
- Dauer 3-6 Monate,
- Dauer > 6 Monate.

Die hier gewählte Einteilung stimmt auch in etwa mit der zeitlichen Einteilung der Arbeitsstellen gemäß ZTV M (2013) überein (vgl. Tabelle 13).

#### 6.4.5 Eigenschaften der Straßenoberflächen

Die in Kapitel 7.3 und Kapitel 7.5 vorgestellten Laborversuche zeigen den großen Einfluss der Straßenoberfläche sowohl auf die Liegeeigenschaften als auch auf die spätere Entfernbarkeit der Markierungsfolien. Zwar zeigen die verschiedenen Markierungsfolien auf den gleichen Straßenoberflächen unterschiedliche Eigenschaften, allerdings zeigen alle Markierungsfolien auf unterschiedlichen Straßenoberflächen in Relation zueinander gleiche Verhaltensmuster.

### 6.5 Bestimmung der Faktoren

Im Zusammenspiel mit den aus der Verkehrserhebung gewonnenen Daten bezüglich der Überrollungen und den Erkenntnissen der Laborversuche

müssen mehrere Faktoren bestimmt werden, um eine realistische Bewertung zu ermöglichen. Im Einzelnen sind das folgende Faktoren:

- Faktor für die verschiedenen Straßenoberflächen,
- Faktor für das Vorhandensein von Schutzeinrichtungen,
- Anzahl der Reifen pro Überfahrt.

Bewertet wurden die Achsübergänge, d. h. 2 Achsen für Pkw und im Mittel 5 Achsen für Lkw. Die höchsten Belastungen treten in Arbeitsstellen längerer Dauer für Mittelmarkierungen im Bereich der Überleitung sowie im Innenbereich auf. Bei breiten Fahrstreifen (Breite größer 3,00 m) überwiegen die Belastungen am rechten Fahrbahnrand.

#### 6.5.1 Erläuterung der Faktoren

Anhand der Ergebnisse der Belastungsprüfung aus Kapitel 7.3 wurde für die verschiedenen Straßenoberflächen folgende Rangfolge gewählt:

- Gussasphalt (Faktor 1,0),
- Asphaltbeton (Faktor 0,9),
- Splittmastixasphalt (Faktor 0,8),
- Offenporiger Asphalt (Faktor 0,75),
- Beton (Faktor 0,7).

Die Rangfolge orientiert sich dabei am Zerstörungsbild, wobei Gussasphalt die geringsten Zerstörungen aufwies (vgl. Bild 65 und Bild 67), allerdings auch nicht mit realen Fahrbahnoberflächen vergleichbar ist.

Das Vorhandensein von Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand fließt über einen weiteren Faktor in die Berechnung ein. Dabei wird eine höhere Anzahl von Überrollungen erreicht, wenn keine Schutzeinrichtungen vorhanden sind und somit eine höherwertige Markierungsfolie empfohlen.

Neben dem höheren Gewicht von Lkw gegenüber den Pkw spielt auch noch die größere Anzahl an Reifen, die die Markierungen bei einer Überrollung belasten eine entscheidende Rolle. So wird bei einem Pkw von zwei Reifen pro Überrollung ausgegangen wohingegen beim Lkw von 5 Reifen ausgegangen wird. Eine genaue Vorhersage kann allerdings mit einem derartigen Tool nicht erfolgen, da die Überfahrung der Markierung immer vom indivi-



duellen Verhalten der Verkehrsteilnehmer abhängig ist und dieses nur schwer prognostizierbar ist. Das Tool soll daher nur eine Hilfestellung für die Abschätzung der vermutlichen Beanspruchung der Folie sein. Die Auswahl der Folien für die entsprechende AID sollte von den jeweiligen Experten vor Ort getroffen werden.

### 6.6 Ablauf des Bewertungssystems anhand eines Beispiels

Die vorangegangenen Erläuterungen sollen nun anhand eines Beispiels die Handhabung in der Praxis zeigen. Die Eigenschaften der Arbeitsstelle werden zuerst in die Eingabemaske eingetragen. Dabei stehen jeweils mehrere vorgefertigte Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung. So kann z. B. die Anzahl der Fahrstreifen, von 1 FS bis 3 FS, oder die vorhandene Straßenoberfläche ausgewählt werden. Frei wählbar ist einzig der DTV. Einen Überblick der Eingabemaske zeigt Bild 52.

Anhand der ausgewählten Daten durchläuft das Tool den Entscheidungsbaum (Bild 51) und liefert im Anschluss eine Empfehlung für einen passenden Markierungsfolientyp (Bild 53).

Im Vergleich hierzu enthalten die neuen ZTV M (2013) etwas pauschalere Vorgaben zur Auswahl einer geeigneten Markierung. Unter Beachtung der lichttechnischen Vorgaben sind vorübergehende

Markierungen in Abhängigkeit der Liegedauer auszuwählen.

Zudem sollen gemäß ZTV M (2013) bei erhöhter Beanspruchung der Markierung (z. B. bei hohem SV-Anteil oder geringen Fahrstreifenbreiten) höhere Verkehrsklassen gewählt werden (anstelle P 5 bzw. P 6 die Verkehrsklasse P 6 bzw. P 7). Ab einer mittleren Verkehrsbelastung von 5.000 Fzg/24h und/oder einer Liegedauer, die sich mindestens über 2 Winterperioden erstreckt, sind Markierungssysteme der Verkehrsklasse P 7 mit einer Schicht-

Eingabemaske	
Fahrstreifen	2
Breite	< 5,75
Schutzeinrichtung	TSE nicht vorhanden
DTV	90.000
SV-Anteil	10 - 20 %
Dauer der AID	3 - 6 Monate
Oberfläche	offenporiger Asphalt
Lage innerhalb der Baustelle	Innenbereich

Bild 52: Eingabemaske des Bewertungstools

Resultat	Markierungstyp		
	Markierungsfolie linker Fahrbahnrand	Markierungsfolie Fahrbahnmitte	Markierungsfolie rechter Fahrbahnrand
< 5,75	P6	P 7	P 7
> 5,75	P 4	P 6	P 7

Bild 53: Empfehlung der zu verwendenden Markierungstypen

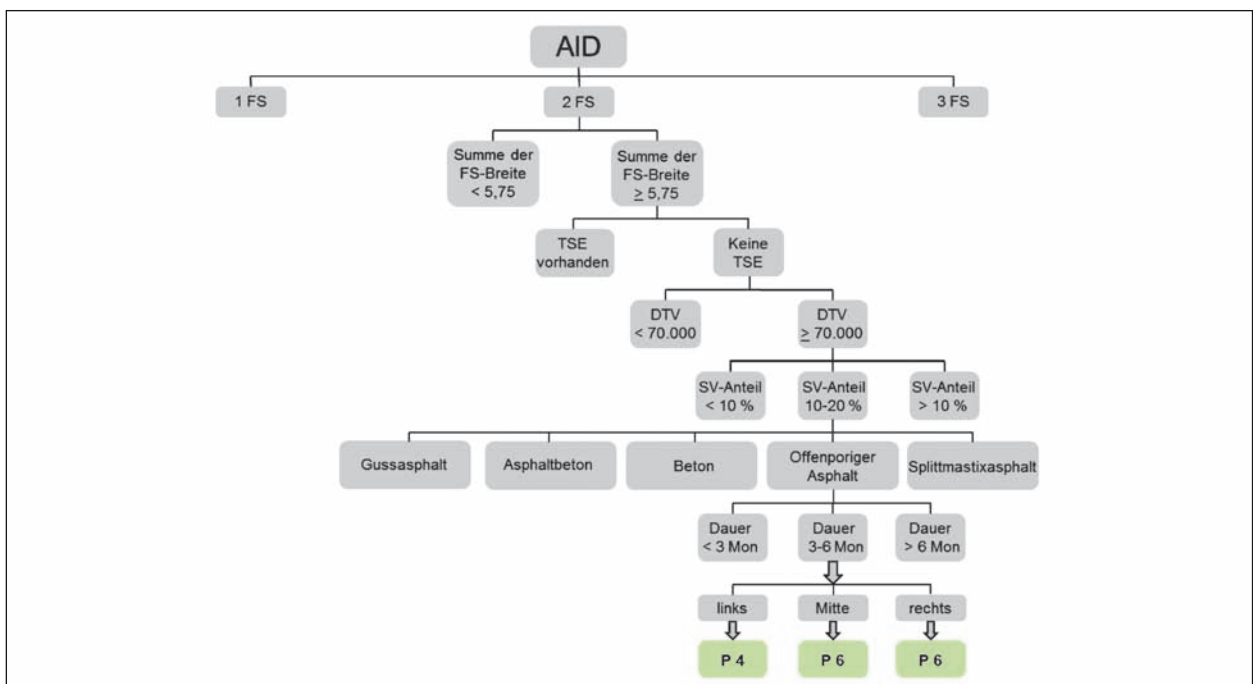


Bild 51: Entscheidungsbaum für ein Fallbeispiel



Liegedauer	14-90 d	91-180 d	> 180 d
Verkehrsklasse	P 5	P 6	P 7

Tab. 13: Auswahl der Verkehrsklasse (ZTV M, 2013)

dicke von 2,0 mm oder Agglomeratmarkierungen der Verkehrsklasse P 7 zu verwenden (ZTV M, 2013) (Tabelle 13).

Für das in Bild 52 dargestellte Beispiel wäre gemäß neuer ZTV M (2013) in jedem Fall für alle Bereiche, unabhängig von der Fahrstreifenbreite, eine Markierung der Verkehrsklasse P 7 zu verwenden, da die Verkehrsbelastungen deutlich über 5.000 Fzg/24h und Fahrstreifen liegen.

## 7 Labortechnische Prüfung der Dauerhaftigkeit und Entfernbarkeit temporärer Markierung

Die labortechnische Prüfung der Dauerhaftigkeit sowie der Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierungen in Abhängigkeit unterschiedlicher Applikationsoberflächen soll auf Basis einer Belastungssimulation mit dem Aachener-Ravelling-Tester erfolgen. Hierdurch soll die „reale Belastung“, die beim Einsatz in Arbeitsstellen längerer Dauer (AID) vorliegt, insbesondere Schub- und Scherbelastungen im Überleitungsbereich, nachvollzogen und labortechnisch nachgebildet werden. Die notwendigen Prüfparameter sind hierzu vorab zu definieren. Eine optimale, d. h. dem realen Zustand nachempfundene, Prüfungsperformance ist anzustreben.

Die Dauerhaftigkeit der Markierung wird auf der einen Seite visuell nach der Prüfung bestimmt, auf der anderen wird anhand von Abzugsversuchen die Entfernbarkeit bzw. die Applikationsgüte nach der Belastung geprüft.

### 7.1 Probekörperherstellung und Applikation der temporären Markierungen

Die Applikation der im Rahmen dieses Vorhabens zu untersuchenden temporären Fahrbahnmarkierungen soll zum einen auf BAST-Prüfkörpern (fein abgestreuter Gussasphalt, wurden dem AN zur Verfügung gestellt) und zum anderen auf „realen“ Fahrbahnoberflächen erfolgen (vgl. Kapitel 4.6).

Die Herstellung der Prüfkörper (bzw. der Applikationsoberflächen) sowie die Applikation werden nachfolgend erläutert.

#### 7.1.1 Probekörper- bzw. Prüfkörperherstellung

Die Herstellung der Asphaltprüfkörper mit den Abmassen 32 x 26 x 4 cm erfolgte mit dem Walzsegmentverdichter gemäß den TP Asphalt-StB, Teil 33 – Herstellung von Asphaltprobeplatten im Laboratorium mit dem Walzsegmentverdichter. Die Herstellung erfolgte weggeregelt bis zu einer Höhe der Probekörper im verdichteten Zustand von 40 mm.

Das benötigte Material wurde im Rahmen von Einbauversuchen auf der Einbaustrecke für anderweitige FE-Projektes des Institutes entnommen und für die Herstellung der Prüfkörper verwendet. Somit konnten „reale Mischgutzusammensetzungen“ gemäß TL Asphalt-StB 07 bzw. ZTV Asphalt-StB 07 im Rahmen dieses Projektes verwendet werden. Die hierdurch erreicht Homogenität des verwendeten Mischgutes kann demgemäß als gut bezeichnet werden.

#### 7.1.2 Applikation der temporären Fahrbahnmarkierungen auf die Prüfkörper

Die Applikation der ausgewählten Markierungsfolien (vgl. Prüfmatrix in Kapitel 4.6.2) auf die verschiedenen Probekörper wurde nach den einschlägigen Herstellerangaben bzw. den Applikationsempfehlungen der Hersteller durchgeführt.

Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, dass die Applikation bei trockenen Wetterverhältnissen und Außentemperaturen im Bereich von +10 °C bis +20 °C erfolgte. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Applizierung der Markierungsfolien auf die Probekörper einer Prüfgruppe innerhalb eines Tages zwar angestrebt wurde, aber nicht bei allen Probekörpern realisiert werden konnte. Daraus resultierende Beeinträchtigungen infolge unterschiedlicher Witterungsbedingungen, die die Liegeeigenschaften der Folien beeinträchtigen könnten, sind aber dennoch auszuschließen. Hier wird bei vergleichbaren Umgebungsbedingungen von einer qualitativ gleichwertigen Applikationsgüte der unterschiedlichen Systeme ausgegangen. Dies wird auch bei der in-situ-Applikation vorausgesetzt und kann auch im vorliegenden Fall erwartet werden.



**Bild 54:** Aufbringen des Primers mit Lammfellrolle



**Bild 57:** Trennen der einzelnen Prüfkörper



**Bild 55:** Manuelles Vorandrücken der Markierung auf den Oberflächen-Prüfkörpern



**Bild 56:** Maschinelles Andrücken mit einem Folienandruckgerät (100 kg Auflast, 3-maliges-Überrollen)

Nach dem Vorandrücken der Markierung per Hand erfolgte eine dreimalige Überrollung der Probekörper durch ein Folienandruckgerät, mit einer Auflast von ca. 100 kg. Dies entspricht ebenfalls den Vorgaben der einzelnen Hersteller (vgl. Kapitel 2.4.6).

Die Probekörper wurden vor der weiteren Prüfung für einen Zeitraum von mindestens 48 Stunden bei einer konstanten Temperatur von 25 °C sowie vor Umwelteinflüssen geschützt gelagert.

## 7.2 Definition von Prüfparametern für die Belastungsversuche

Die mit der Rundlaufprüfanlage der BAST simulierte Beanspruchung und der dadurch erzeugte Verschleiß der temporären Markierung sind nur bedingt auf die realen Gegebenheiten innerhalb von Arbeitsstellen übertragbar. Aber auch über die Ergebnisse der RPA soll eine Aussage hinsichtlich Dauerhaftigkeit von Fahrbahnmarkierungen unter Verkehrsbelastungen vorgenommen werden. Gemäß DIN 13197 (2011) ist die Prüfung im Verschleißsimulator aber nicht mit Feldversuchen oder der Praxis gleichzusetzen. DIN EN 13197, 2001). Diese dient vor allem der (Verschleiß-)Prüfung der lichttechnischen Eigenschaften bzw. der Griffigkeit unter Verkehrsbelastung in-situ mit simulierter Belastung.

Zur Simulation der tatsächlichen Belastung unter Laborbedingungen soll daher der Prüfstand ARTe des Instituts für Straßenwesen eingesetzt werden. Der Prüfstand bildet wie zuvor erläutert nicht nur die Überrollungen durch den Verkehr ab, sondern setzt die Markierungen gleichzeitig einer großen Schub- und Schlupfbeanspruchung aus, die den schrägen Überfahrungen (z. B. in der Überleitung) oder den Brems- und Beschleunigungsvorgängen in Arbeitsstellen entsprechen. Die Belastung mit der derzeitigen Standardkonfiguration (vgl. Kapitel 3.6) ist für die zeitraffende Simulation von Kornausbrüchen offenporiger Beläge ausgelegt und somit „zu stark“ für eine realistische Belastung von Markierungsfolien.

Daher sind für die Belastungssimulation im Rahmen dieses Vorhabens Vorversuche zur Definition von geeigneten Prüfparametern durchzuführen. In

diesem Zusammenhang sind insbesondere äußere Einflüsse auf die Markierung bzw. die Lebensdauer der Markierung zu untersuchen und zu spezifizieren. Als äußere Einflüsse werden diesbezüglich die polierende Wirkung von Poliersanden/-mehlen und Wasser verstanden. Auch der Einfluss des Reifennendrucks und die daraus resultierende veränderte Reifenaufstandsfläche waren näher zu betrachten (eine Erhöhung des Reifendrucks führt zu einer geringeren Aufstandsfläche und somit zu einer vergrößerten Flächenlast, d. h. einer lokal größeren Belastung). Eine Veränderung der vertikalen Auflast der Reifen ist dagegen im Rahmen des Vorhabens nicht zu realisieren, da dies einen nahezu vollständigen Umbau der Prüfmaschine zur Folge gehabt hätte.

Die o. g. Tastversuche umfassten daher eine Variation der folgenden Parameter:

- Dauer eines Belastungszyklus (15 bis 30 min),
- der Poliermittelzugabe (Poliermittel ja/nein),
- der Wasserzugabe (ja/nein),
- Reifendruck (1,5-2,0 bar).

Resultierend aus den o. g. variierten Parametern wurden zur Festlegung der endgültigen Prüfparameter der ARTe nachfolgende Testreihen mit unterschiedlichen Einstellungen durchgeführt:

Testreihe 1:

Reifendruck 2,0 bar, ohne weitere Zugaben,

Testreihe 2:

Reifendruck 1,5 bar, ohne weitere Zugaben,

Testreihe 3:

Reifendruck 1,5 bar, mit Wasserzugabe,

Testreihe 4:

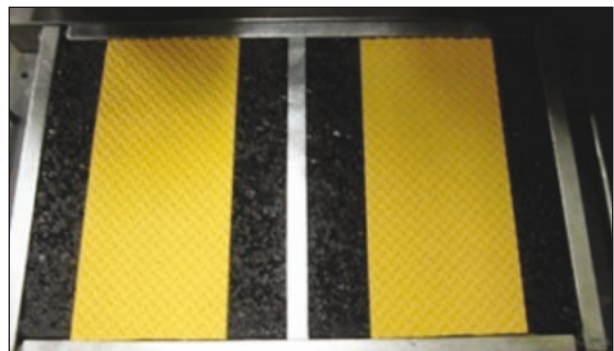
Reifendruck 2,0 bar, Zugabe von Quarzsand (mittlere Korngröße = 0,42 mm) als Poliermittel.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, kamen stets Asphaltprobekörper selber Sorte (SMA 8 S) und Markierungsfolien gleichen Typs und Herstellers (Typ P7) zum Einsatz (vgl. Bild 58). Die Applikation der temporären Markierungen wurde an einem Tag durchgeführt um die äußeren Rahmenbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, ...) beim Applizieren der Folie konstant zu halten.

Weiterhin wurden eine konstante Belastungsgeschwindigkeit von 59 Umdrehungen/min sowie eine Prüfdauer von 15 Minuten gewählt. Als Belastungs-



**Bild 58:** Prüfstand mit applizierter Markierungsfolie



**Bild 59:** Unbelastete Probekörper (vor der Prüfung)

reifen wurde ein handelsüblicher Pkw-Reifen (165/75 R14) verwendet. Der in Testreihe 4 verwendete Quarzsand hat eine durchschnittliche Korngröße von 0,42 mm.

Die Vorversuche zur Definition von geeigneten Prüfparametern zeigen, dass die Kanten der Markierungsfolie bei einem verringerten Reifendruck von nur 1,5 bar (Abweichung gegenüber dem Standardreifendruck von 2,0 bar) sehr stark angegriffen werden. Dies ist ggf. auf die vergrößerte Aufstandsfläche der Reifen zurückzuführen, die zwar in einer größeren Belastungsfläche und somit einer geringeren Flächenlast, d. h. einer geringeren lokalen Belastung, resultiert, aber daneben auch zu einem Anstieg der Eindringtiefe des Reifengummis/-profils in die Oberfläche führt. Auch kommt es zu stärkeren Walkbewegungen des gesamten Reifenkörpers. Dies führt zu einer größeren abscheidenden Wirkung an den Markierungsändern, die in einer größeren Beschädigung bei einem Reifennendruck von 1,5 bar resultiert (vgl. Bild 60 und Bild 61).

Im Vergleich hierzu konnten in Bezug auf die Randbereiche der Markierungen mit einem Reifendruck von 2,0 bar homogenere Ergebnisse erzielt werden, die auch mit den Belastungsbildern aus der Praxis vergleichbar erscheinen.



Unter Vernachlässigung des zuvor geschilderten Einflusses des Reifeninnendruckes auf die Randbereiche der Markierungen, erscheint allerdings ein höherer Reifendruck in einer größeren „flächenmä-



**Bild 60:** Belastete Probekörper Testreihe 1 (Reifendruck 2,0 bar ohne weitere Zugabe von Wasser und/oder Poliermittel)



**Bild 61:** Belastete Probekörper Testreihe 2 (Reifendruck 1,5 bar ohne weitere Zugabe von Wasser und/oder Poliermittel)



**Bild 62:** Belastete Probekörper Testreihe 3 (Reifendruck 1,5 bar sowie Wasserzugabe, ohne Zugabe von Poliermittel)

ßigen“ Beschädigung der Markierung zu resultieren. Der erhöhte Reifendruck führt bei gleicher Fahrbahnoberfläche zu einer geringeren Reifenaufstandsfläche und somit zu einer größeren Flächenlast, d. h. einer größeren lokalen Belastung der Markierung. Die Beschädigungen der Fläche nehmen zu.

Weiterhin wirkt eine Zugabe von Wasser bei der Prüfung wie ein „gewisser“ Schmierfilm auf der Folie. Die Reibung wird deutlich reduziert und die Markierung wird weniger stark beansprucht (vgl. Bild 61 und Bild 62). Die Oberflächenbilder der Markierung sind nach erfolgter Belastung nicht mit der Praxis vergleichbar.

Durch die Zugabe von Sand (mittlere Korngröße von 0,42 mm) als Poliermittel wird eine deutlich gesteigerte Abrasionswirkung durch die Polierbeanspruchung bewirkt. Dies resultiert in einer größeren Beschädigung der Markierung. Diese Wirkung der Poliermittel auf Fahrbahnoberflächen ist bereits aus Untersuchungen von [WANG, 2013] bekannt und ist mit Einschränkungen auch auf die vorliegenden Untersuchungen zu übertragen. Demgemäß hat das Polieren mit Sanden einen maßgeblichen Einfluss auf die Oberflächentextur (sowohl Mikro- als auch Makrotextur). Auch eine starke Abrasionswirkung ist hier festgestellt worden.

Die Kanten der Markierungsfolie werden in höchstem Maße beansprucht und es kann zu einem Einreißen der Folie kommen. Dies führt unweigerlich zum Abreißen der gesamten Folie – auswertbare Ergebnisse, insbesondere im Hinblick auf die Entfernbarkeitsprüfungen sind in diesem Fall nicht zu realisieren. Obwohl die Belastung der Markierung mit Poliersanden am ehesten mit den Polierbedin-



**Bild 63:** Belastete Probekörper Testreihe 4 (Reifendruck 2,0 bar sowie Sandzugabe, ohne Zugabe von Wasser)

gungen in-situ vergleichbar ist (auch hier sind Sande, etc. auf der Fahrbahnoberfläche vorhanden, insbesondere im Baustellenbereich) erfolgt im Hinblick der Prüfung der Entfernbarkeit keine derartige Polierbeanspruchung.

Die Variation der Belastungsdauer zeigt unabhängig von der Zugabe von Wasser und/oder Poliermittel den größten Einfluss auf das Polierergebnis. Hier wurden Variationen im Bereich von 15 bis 30 Minuten durchgeführt. Die Probekörper jeder Testreihe wurden nach einer Belastungsdauer von 15 Minuten einer visuellen Begutachtung unterzogen. Im Anschluss erfolgte ein weiterer Belastungszyklus von 15 Minuten. Hierbei stellte sich heraus, dass der zweite Belastungszyklus zu einer quasi exponentiellen Zunahme der Beschädigungen der Fahrbahnmarkierung führt. Kleine Einrisse oder Beschädigungen, die bereits nach einer Polierdauer von 15 Minuten zu verzeichnen waren, pflanzten sich im Laufe der weiteren Prüfung großflächig fort, bis zu einem Abriss der Markierung. Dies entspricht in keiner Weise dem Zustand in-situ.

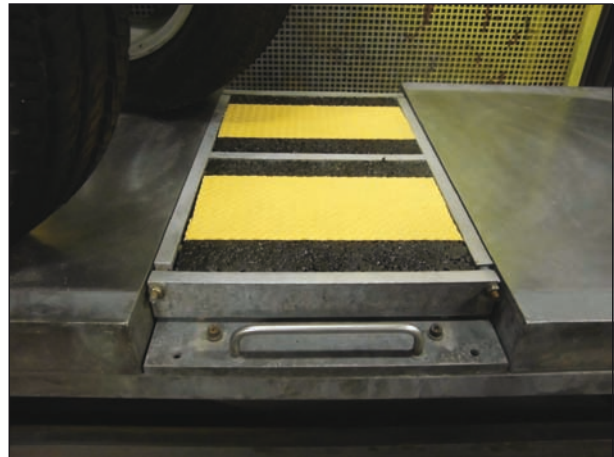
Unter Berücksichtigung der erzielten Ergebnisse werden die folgenden Belastungsversuche bei einem Reifendruck von 2,0 bar und ohne Zugabe von Wasser und/oder Sand durchgeführt. Als Prüfdauer wird eine Belastungszeit von 15 Minuten gewählt. Diese gewählte Belastung durch die ARte entspricht nicht vollständig den realen Belastungen, ist aber im Rahmen des Vorhabens, insbesondere im Hinblick der geplanten Abzugsversuche, nicht anders zu realisieren.

### 7.3 Simulation einer realitätsnahen Belastung

Im Rahmen der Hauptversuche bzw. der Simulation einer realitätsnahen Belastung der Fahrbahnmarkierungen, wurde die Applikation der ausgewählten Markierungsfolien, wie in Kapitel 7.1 nach den einschlägigen Herstellerangaben durchgeführt. Als Prüfparameter wurden die in Kapitel 7.2 erarbeiteten Parameter verwendet.

#### 7.3.1 Vorgehensweise

Die Prüfung erfolgte mit mindestens zweifacher Belegung. Dabei wurden immer zwei Probekörper einer Variante gleichzeitig geprüft um ggf. vorhandene Beeinträchtigungen der einen Variante durch die andere Variante ausschließen zu können (vgl.



**Bild 64:** Einbau der Probekörper in dem Prüfstand ARTe

Bild 64). In Einzelfällen kam es zu großen Abweichungen der beiden eingebauten Probekörper hinsichtlich des Oberflächenbildes. In diesen Fällen wurde ein weiterer Probekörper der Belastung ausgesetzt, um das Referenzbild zu ermitteln. Der jeweilige Probekörper, welcher von diesem Referenzfall abwich, floss nicht in die weiteren Untersuchungen ein.

#### 7.3.2 Erkenntnisse aus den Belastungsprüfungen

Bereits nach dem Ende der Simulation lassen sich erste Aussagen über Unterschiede infolge der verschiedenen Markierungsfolien und Probekörpereigenschaften treffen. Dies beruht auf der visuellen Begutachtung der Probekörper im Anschluss an die Prüfung.

So zeigte sich im Verlauf der Prüfungen, dass Markierungsfolien, die nur eine geringe Haftung aufwiesen, sich bereits innerhalb der ersten Minuten von den Probekörpern lösten, wo hingegen spätere Ablösungen nicht mehr auftraten.

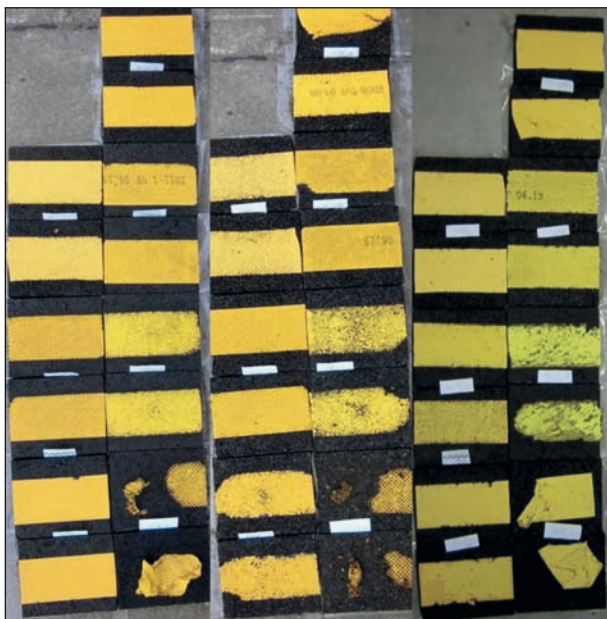
Die Oberflächenbilder der verschiedenen Probekörper sind im Folgenden nach einer 15-minütigen Beanspruchung dargestellt.

Zunächst sind die drei Varianten „Asphalt mit Bitumenfilm“ abgebildet, die das Kollektiv der frisch hergestellten Deckschichten aus Asphalt abbilden sollen (vgl. Bild 65). Aufgezeigt sind auf der linken Seite die Asphaltbeton-Variante (AC 11 D S, mit Bitumenfilm, basisches Gestein), in der Mitte die OPA-Variante (PA 8, mit Bitumenfilm) und auf der rechten Seite die Splittmastixasphalt-Variante (SMA 8 S, mit Bitumenfilm). Hier ist visuell erkennbar,

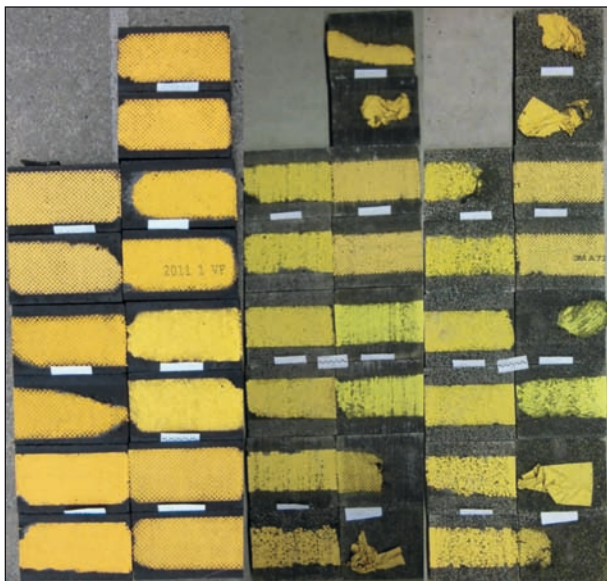


dass einige temporäre Markierungen eine bessere Applikationsgüte aufweisen als andere. Es sind Beschädigungen der Kanten sowie erste kleiner Risse ersichtlich (vgl. Markierungen in Bild 65).

Bild 66 zeigt die Markierungen, die auf der Referenzerfläche (GA) der RPA appliziert wurden, sowie auf den wassergestrahlten Betonoberflächen (Besenstrich und Waschbeton). Auch hier sind bei einigen Markierungsvarianten umfangreiche Beschädigungen, beispielsweise in Form von Kantschäden, ersichtlich. Insgesamt sind auf der Referenzerfläche gegenüber den Asphalten und den



**Bild 65:** Übersicht der Probekörper AC 11 DS (mit Bitumenfilm) (links), OPA (Mitte) und SMA 8 (rechts)



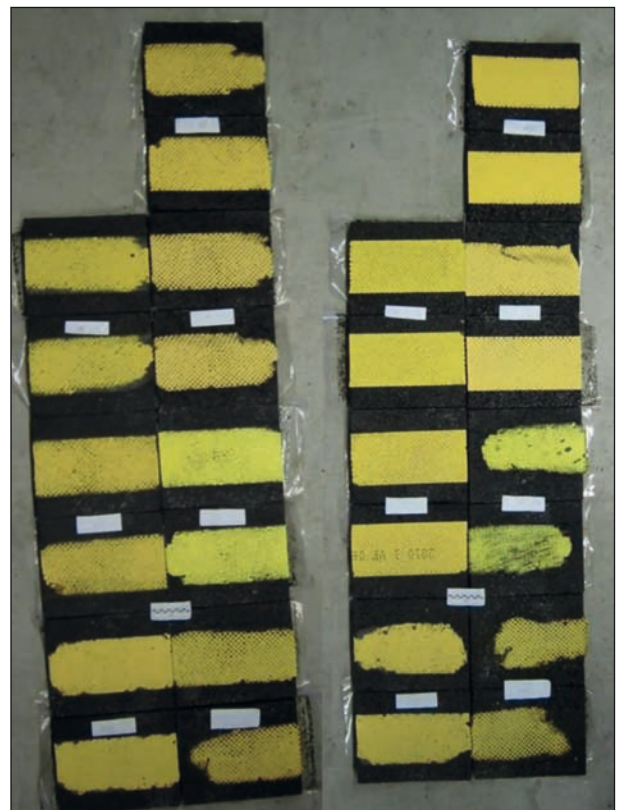
**Bild 66:** Übersicht der Probekörper GA (BAST) (links), Beton mit Besenstrich (Mitte) und Waschbeton (rechts)

Betonoberflächen geringere Beschädigungen ersichtlich. In Bild 67 sind abschließend die Proben AC 11 DS ohne Bitumenfilm dargestellt.

Folgende Schlüsse lassen sich nach Abschluss der Simulation über alle Probekörper ziehen:

- Asphalt- und Betonoberflächen liefern unterschiedliche Ergebnisse,
- die Oberfläche hat starken Einfluss auf die Haftung und Haltbarkeit der Folie,
- Verschiebungen führen seltener zur Zerstörung der Folie,
- einmal beschädigte Folie neigt zum schnelleren Verschleiß,
- profilierte Folie ist haltbarer als nicht-profilierter Folie.

Bei der Gegenüberstellung aller Probekörper zeichnet sich insgesamt ein homogenes Gesamtbild hinsichtlich ähnlicher Schadensmuster bei gleichen Folien- und Oberflächentypen ab. Die gewählten Einstellungen zur Beanspruchung der Folien in der ARTe sind daher geeignet um ein praxisnahes Schadensbild zu simulieren.



**Bild 67:** Übersicht der Probekörper AC 11 DS (basisch) und AC 11 DS (sauer), jeweils ohne Bitumenfilm

## 7.4 Analyse der Oberflächenparameter der untersuchten Applikationsoberflächen

Neben der Simulation einer praxisnahen/realitätsnahen Beanspruchung der temporären Markierungen, sollte im Rahmen des Vorhabens auch eine Analyse der unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen sowie deren Einfluss auf die Applikationsgüte betrachtet werden.

Es ist bereits aus Voruntersuchungen, wie beispielsweise KILLING/HIRSCH (2007) sowie PETRY et al. (2010), bekannt, dass die Oberflächenstruktur der Applikationsfläche einen Einfluss auf die Güte der Applikation auf der einen Seite auf die Entfernbarekeit auf der anderen Seite besitzt.

Im Rahmen dieses Vorhabens soll daher die Textur der unterschiedlichen Oberflächen eingehender betrachtet werden. Dies erfolgt mit dem in Kapitel 3.2 beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der Oberflächentextur. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das Verfahren „nur“ eine Bewertung von Oberflächen mit einer Strukturtiefe von ~ 4,5 mm erlaubt. Oberflächen mit einer darüber hinaus gehenden Strukturtiefe lassen sich nur eingeschränkt bewerten. Daher sind insbesondere die nachfolgend dargestellten Ergebnisse hinsichtlich der Texturparameter des Offenporigen Asphalt nur eingeschränkt verwertbar. Im vorliegenden Fall kann bei einem maximalen Größtkorndurchmesser von 11,2 mm von Strukturierungstiefen von bis zu 10 mm ausgegangen werden (abhängig von der Mischgutzusammensetzung gemäß TL Asphalt-StB 07 und dem verwendeten Größtkorn).

Auch wird nur ein geringer Anteil der Gesamtfläche durch das vorliegende Verfahren bewertet (Texturbewertung erfolgt nur auf einer Fläche von 10 x 10 cm). Es können also nur lokale Aussagen getroffen werden, die ggf. nicht mit dem Erscheinungsbild der ganzen Oberfläche korrespondieren. Dieses sollte durch eine visuelle Kontrolle und eine daraus abgeleitete Auswahl des Messbereiches verhindert werden. Dennoch ist dies nicht vollständig auszuschließen.

Weiterhin sind die Ergebnisse der hydraulisch gebundenen Oberflächenvarianten nicht direkt vergleichbar mit denen der Asphaltoberflächen.

### Maximale Rautiefe

Wie aufgrund der Mischgutzusammensetzung zu erwarten ist, zeigen die Asphaltbetone gegenüber

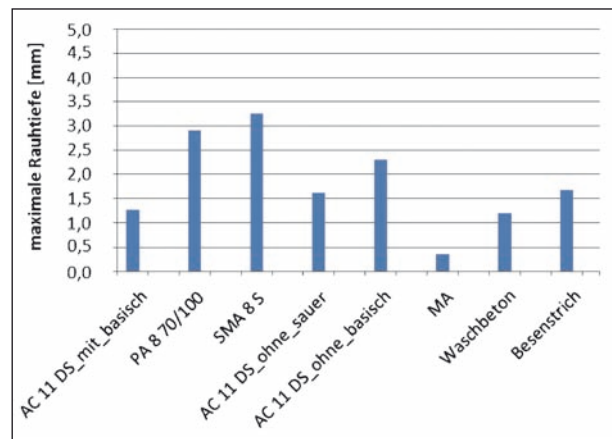


Bild 68: Beurteilung der maximalen Rautiefe der Oberflächen

dem Splittmastixasphalt und dem Offenporigen Asphalt eine geringer ausgeprägte maximale Rautiefe (vgl. Bild 68). Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die maximale Rauheit des OPA aufgrund des eingeschränkten Messbereichs des Texturmessgerätes nicht in voller Höhe bestimmt worden ist. Das Profil wurde quasi an der Unterseite abgeschnitten. Tiefere Strukturen wurden so nicht erfasst.

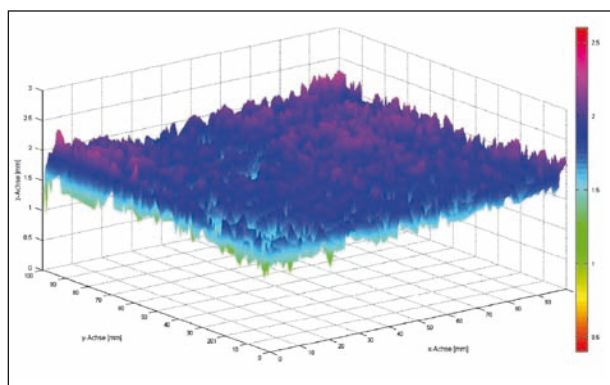
Es ist weiterhin ersichtlich, dass die Rautiefe der „polierten Asphaltbetone“ ohne Bindemittelfilm an der Oberfläche größer ist als die maximale Rautiefe der nicht „polierten“ Varianten. Durch die Polierwirkung der Reifen wurde das Bindemittel sowie die an der Oberfläche befindlichen Feinanteile „ab- bzw. herauspoliert“.

Die Referenzoberfläche, der fein-abgestreute Gussasphalt, weist eine gegenüber allen Oberflächenvarianten deutlich kleinere maximale Rautiefe auf (vgl. Bild 69 und Bild 70).

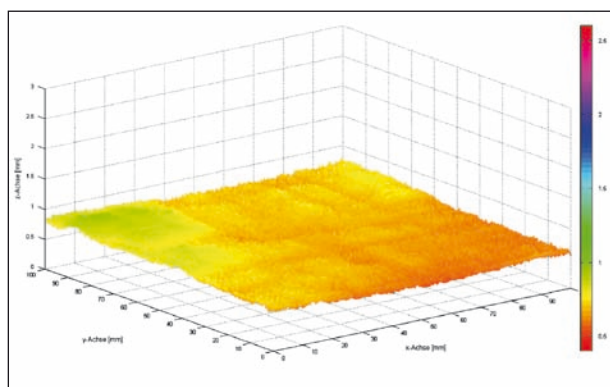
Die Oberflächentextur der Referenzoberfläche ähnelt damit der Textur eines Sandpapiers bzw. Schleifpapiers und bildet damit den Zustand realer Straßen nur eingeschränkt ab.

### Bewertung der Makrotextur

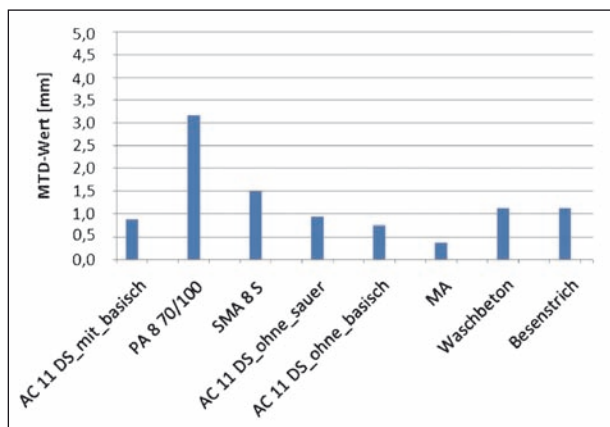
Die aus den oberen Bewertungen abgeleiteten Zusammenhänge spiegeln sich weiterhin auch in der Makrotexturbewertung wieder. Diese kann als Mittelwert über die gesamte Messfläche anhand der Oberflächentextur berechnet oder mit dem Sandfleckverfahren experimentell bestimmt werden. Die Bewertung der Makrotextur mit dem Sandfleckverfahren, d. h. die Bestimmung des MTD-Wertes, zeigt, dass wiederum die Asphaltbetone gegenüber



**Bild 69:** Dreidimensionale Darstellung der Oberflächentextur eines Asphaltbetons



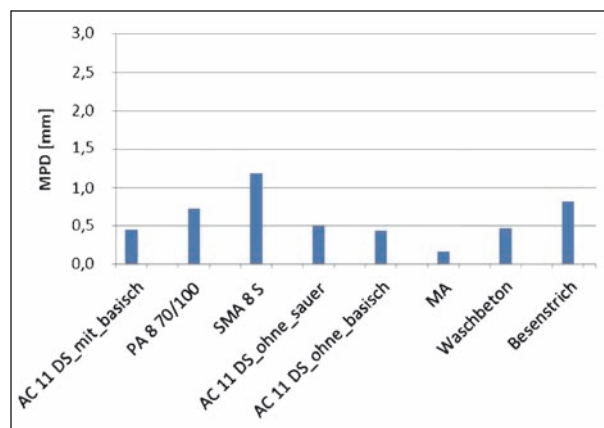
**Bild 70:** Dreidimensionale Darstellung der Oberflächentextur der Referenzoberfläche



**Bild 71:** Bestimmung des MTD-Wertes mit dem Sandfleckverfahren (Bewertung der Makrotextur der Oberfläche)

dem Splittmastixasphalt und dem PA eine geringere Makrotexturtiefe aufweisen (vgl. Bild 71).

Weiterhin überragt die Makrotexturtiefe des OPA in deutlichem Maße alle anderen Oberflächenvarianten. Im Vergleich zu den realen Oberflächenvarianten zeigt die Referenzoberfläche wiederum ein deutlich abweichendes Ergebnis. Die aus der Oberflächentextur berechneten MPD-Werte zeigen ein



**Bild 72:** Bestimmung des MPD-Wertes aus der Oberflächentextur (Bewertung der Makrotextur der Oberfläche)

ähnliches Bild (vgl. Bild 72). Allerdings ist auch hier die Bewertung des OPAs aus zuvor genannten Gründen zu hinterfragen.

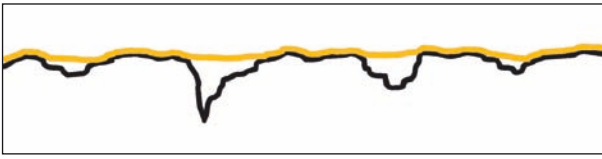
### Kontaktfläche zwischen Markierung und Oberfläche

Als mögliche Einflussgröße auf die Applikationsgüte wurde neben den Texturkenngrößen auch die Kontaktfläche zwischen Markierung und Fahrbahnoberfläche bestimmt. Die Kontaktfläche oder die Applikationsfläche steht für die „Verklebung“ der Markierung auch der Oberfläche zur Verfügung. Da die Oberfläche, wie bereits oben dargestellt, eine gewisse Rauigkeit aufweist und die Markierung nur begrenzt dieser „Unebenheit im Makro- und Mikrotextrbereich“ folgen kann wird angenommen, dass die Markierung nicht vollflächig verklebt werden kann.

Diese, für die Verklebung zur Verfügung stehende, Oberfläche sollte mit einem foto-optischen Verfahren bestimmt werden. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde allerdings von diesem Verfahren Abstand genommen, da dies nur eine qualitative Bewertung der Kontaktflächen ermöglicht. Insbesondere Bereiche, die keinen vertikalen Druck auf die foto-optische Folie erzeugen sondern Schub, werden hier nicht korrekt abgebildet. D. h. schräge Gesteinsflanken, die ebenfalls als Applikationsfläche zur Verfügung stehen, werden nicht korrekt erfasst.

Daher soll die Kontaktfläche bzw. die verfügbare Klebefläche in Anlehnung an (SCHULZE, 2011) abgeschätzt werden. SCHULZE (2011) teilt die Oberflächentextur in einen Kontaktbereich und einen Drainagebereich, der nicht direkt mit dem Reifen in





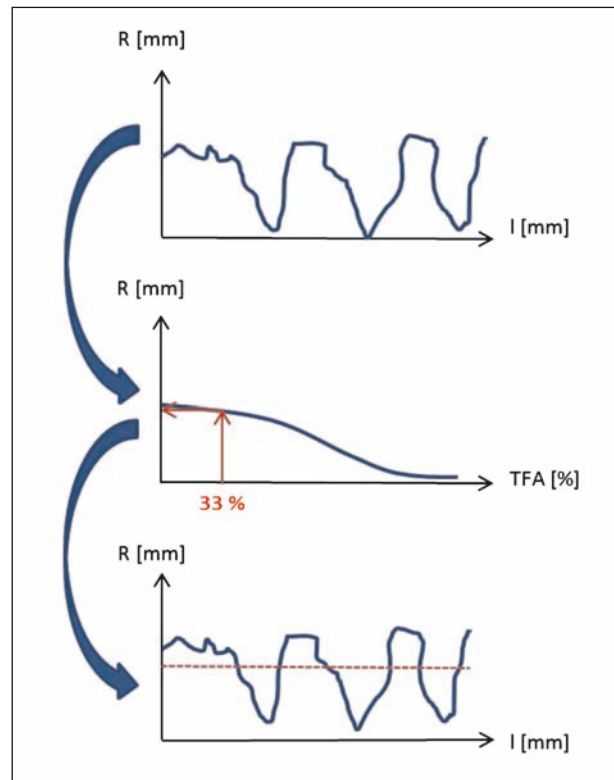
**Bild 73:** Ausbildung der Applikationspunkte zwischen Fahrbahnoberfläche und Markierung

Kontakt steht. Im vorliegenden Fall kann der Kontaktbereich als Klebepbereich bezeichnet werden. Der Drainagebereich kann wiederum als nicht für Verklebung zur Verfügung stehender Bereich erklärt werden.

Zur Berechnung der Trennebene bedient sich (SCHULZE, 2011), der sogenannten Tragflächenkurve, die ebenfalls für die Berechnung des Texturparameters „Gestaltfaktor“ herangezogen wird (vgl. Kapitel 3.3). Anders als bei der Berechnung des Gestaltfaktors wird die sogenannte Verzahnungstiefe, die Tiefe des Kontaktes im Profil, bei einem Tragflächenanteil von 33 % abgegriffen (vgl. Bild 74). Dieser Tragflächenanteil, der gleichzeitig dem Kontaktanteil eines Reifengummis mit der Oberfläche entspricht, wurde durch die empirische Prüfung der Eindringtiefe eines Wehner/Schulze-Prüfgummis in verschiedene Fahrbahnoberflächen (d. h. verschiedene Asphalte) bestimmt (vgl. SCHULZE, 2011). Dies soll vereinfachend auch im vorliegenden Fall erfolgen, sodass Klebepbereiche und Luftbereiche der vorliegenden Asphalte definiert werden können.

Allerdings ist bei dieser Einschätzung zu berücksichtigen, dass ggf. vorhandene Einflüsse durch den Primer bei dieser Analyse nicht berücksichtigt werden können. Hier sind beispielsweise Texturaufüllungen durch den Primer denkbar. Dies würde die Applikationsfläche zwischen Markierung und Oberfläche positiv beeinflussen.

Zu berücksichtigen ist bei dieser Analyse, dass der von (SCHULZE, 2011) übernommene Tragflächenanteil von 33 %, der zur Berechnung der der Kontakt- und Luftbereiche verwendet wurde, nur anhand der Eindringtiefe eines Wehner/Schulze-Messgummis empirisch bestimmt wurde. Eine Übertragung auf die Verzahnung/Applikation von temporären Markierungen ist daher nur eingeschränkt möglich. Auch Berücksichtigt dieser Ansatz nicht die Steifigkeit/Plastizität der unterschiedlichen Markierungsfolien, die ggf. einen Einfluss auf die Eindringtiefe und damit den Kontakt- und Luftbereich haben. Dennoch erlauben dieses Verfah-



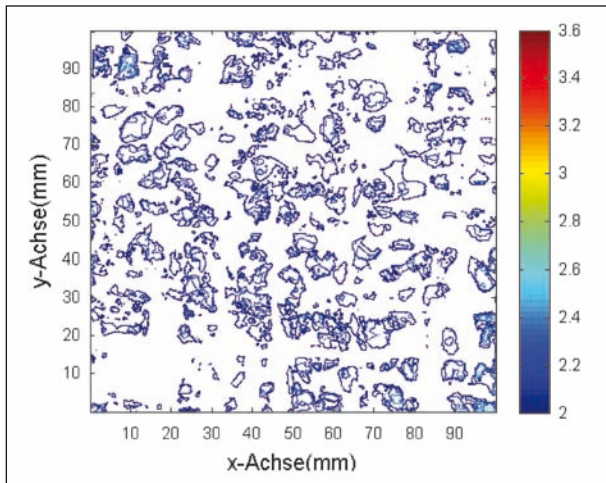
**Bild 74:** Prinzipskizze der Ermittlung des Applikationsbereiches für Fahrbahnmarkierungen (nach SCHULZE, 2011)

ren/diese Annahmen eine Einschätzung der Kontaktmechanismen zwischen Markierung und Oberfläche sowie einen Vergleich der unterschiedlichen Markierungen und Fahrbahnoberflächen.

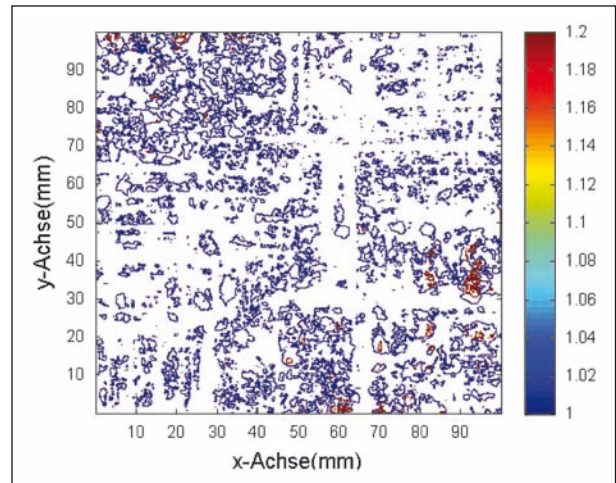
Anfänglich in Betracht gezogenen Verfahren mithilfe Kontaktdruckfolien und gezielter Farbaufbringung, die für eine „exakte“ Bestimmung der Kontaktanteile zwischen Markierung und Oberfläche verwendet werden sollten, haben sich als nicht geeignet herausgestellt. Beispielsweise konnten Einflüsse aus der Druckfolie auf den Kontakt nicht ausgeschlossen werden.

In Bild 75 und Bild 78 sind exemplarisch die Applikations- und Drainagefläche eines SMA dargestellt. Es wird ersichtlich, dass nur ein geringer Anteil der Oberfläche überhaupt mit der Fahrbahnmarkierung in Kontakt steht. Die Trennebene zwischen Applikationsfläche und Drainagefläche liegt im vorliegenden Fall bei einer Rauigkeitstiefe von etwa 1,8-2,0 mm. Weiße Flächen in beiden Bildern kennzeichnen jeweils den nicht berücksichtigten Texturbereich. Im Vergleich zu einer Splittmastixasphaltdeckschicht, die durch eine Ausfallkörnung gekennzeichnet ist, zeigt sich bei einem Asphaltbeton eine deutlich feiner verteilte Applikationsfläche.

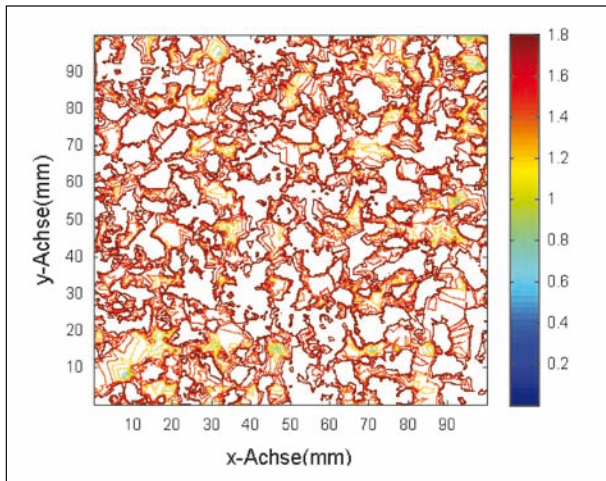




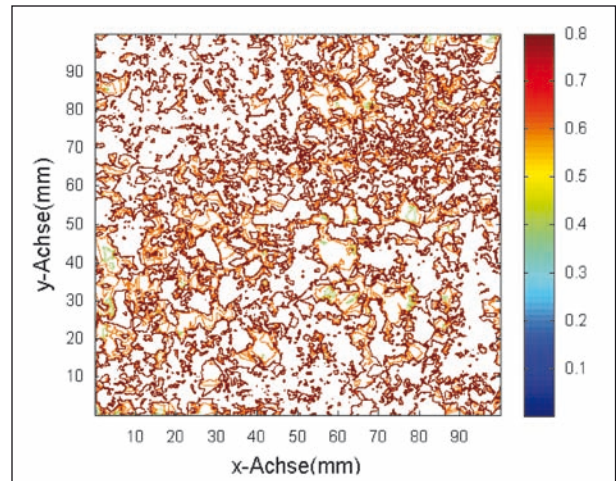
**Bild 75:** Applikationsfläche (für die Verklebung zur Verfügung stehende Fläche) einer Splittmastixasphaltdeckschicht (TFA-Anteil = 33 %)



**Bild 77:** Applikationsfläche (für die Verklebung zur Verfügung stehende Fläche) einer Asphaltbetondeckschicht (TFA-Anteil = 33 %)



**Bild 76:** Drainagebereich (für die Verklebung nicht zur Verfügung stehende Fläche) einer Splittmastixasphaltdeckschicht (TFA-Anteil = 33 %)



**Bild 78:** Drainagebereich (für die Verklebung nicht zur Verfügung stehende Fläche) einer Asphaltbetondeckschicht (TFA-Anteil = 33 %)

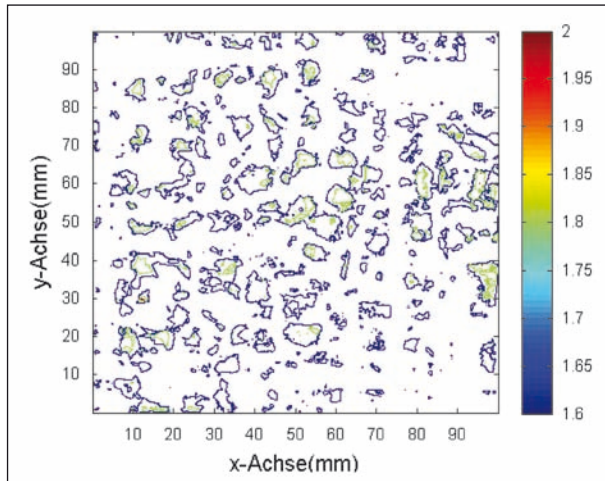
Dies spiegelt sich auch in den Drainagebereichen wieder. Auch diese stellt sich kleinteiliger gegenüber der Splittmastixasphaltdeckschicht dar. Als Drainagebereich wird in diesem Zusammenhang nicht nur das für die Wasserdrainage zur Verfügung stehende Texturvolumen, wie beispielsweise beim Offenporigen Asphalt, verstanden, sondern vielmehr das gesamte nicht in Kontakt stehende Texturvolumen. Insbesondere kleine Volumina, die nicht für die Wasserdrainage geeignet sind, und eingeschlossene Bereiche werden mit eingerechnet.

Analysiert man gleichermaßen die Applikationsfläche und den Drainagebereich eines Offenporigen Asphalt es wird die große Offenporigkeit der Oberflächenstruktur, die bereits bei der Bewertung der

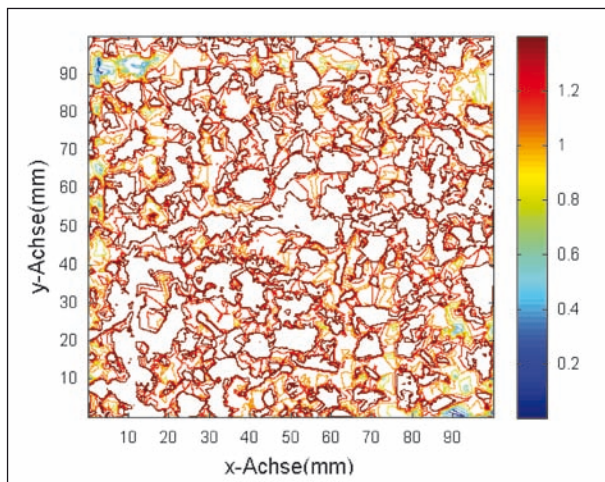
Makrotexturtiefe mit dem Sandfleckverfahren festgestellt wurde, offensichtlich. Dies bedeutet, dass zahlenmäßig relativ wenig Applikationsflächen für die Applikation der Fahrbahnmarkierung zur Verfügung stehen.

Obwohl die kumulierte Applikationsfläche aufgrund der o. g. Vorgehensweise gleich erscheint, ist dennoch mit einer anderen Applikationsgüte zu rechnen. Hier könnten wenig grobe Flächen zu einem stärkeren Hineindrücken der Markierungen in die Oberflächentextur bei der Applikation führen, da die lokalen Zwischenräume zwischen den einzelnen Flächen größer sind und damit die durch die Markierung zu überbrückende Drainagefläche (d. h. die Spannweite zwischen Kontaktfläche 1 und Kontaktfläche 2) ebenfalls größer ist (vgl. Bild 81).

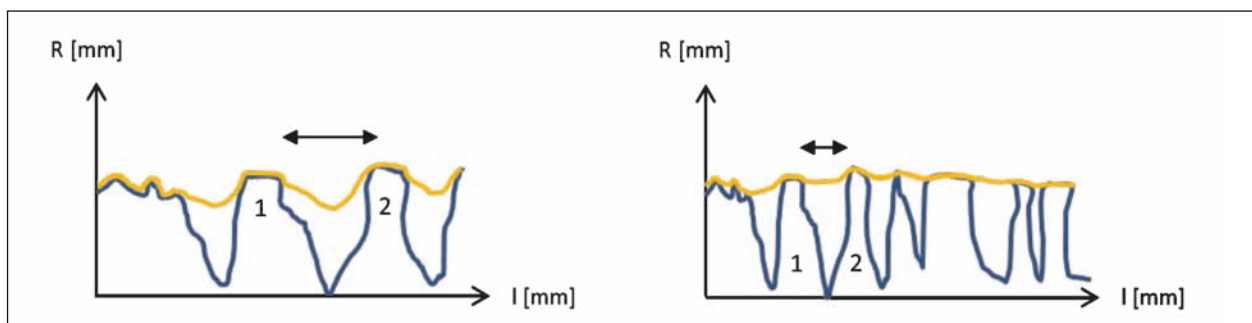
Darüber hinaus könnte diese vergrößerte Überbrückungslänge durch die Markierung zu einer stärkeren Beanspruchung und schlussendlich schnelleren Beschädigung der Markierung unter



**Bild 79:** Applikationsfläche (für die Verklebung zur Verfügung stehende Fläche) einer Offenporigen Asphaltdeckschicht (TFA-Anteil = 33 %)



**Bild 80:** Drainagebereich (für die Verklebung nicht zur Verfügung stehende Fläche) einer Offenporigen Asphaltdeckschicht (TFA-Anteil = 33 %)



**Bild 81:** Einfluss der Eindringtiefe der Markierung von der Struktur und Verteilung der Applikationsflächen (links: grobe Struktur = Kontakt-/Überbrückungslänge sehr groß)

Verkehrsbelastungen führen. Auch eine schlechtere Entfernbareit nach Belastung könnte ggf. hieraus resultieren.

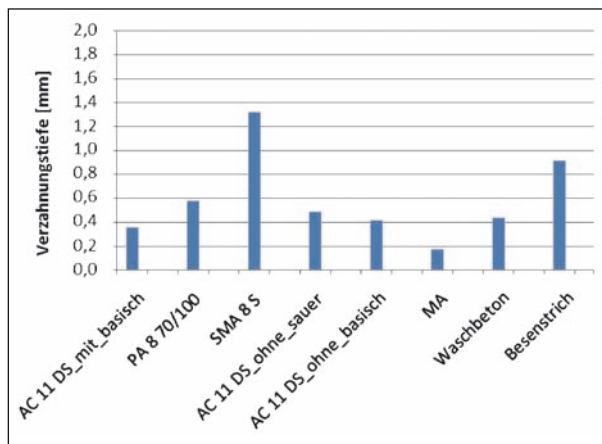
Die o. g. Aspekte können sich tendenziell in einer vergrößerten Verzahnungstiefe der Markierung in die Oberfläche äußern. Diese kann wiederum aus der Oberflächentextur berechnet werden (vgl. Bild 82). Eine Berücksichtigung der Markierungssteifigkeit/Plastizität erfolgt in diesem Ansatz, wie bereits zuvor erläutert, nicht. Auch wäre diese immer in Verbindung mit dem Primer bzw. der Abzugfestigkeit der Markierung zu betrachten. Es wird daher unabhängig von der Markierung von einer konstanten Steifigkeit ausgegangen.

Hierbei wird ersichtlich, dass die Asphaltbetone, trotz einem Größtkorn von 11 mm eine „relativ geringe Verzahnung“ aufweisen. Der Splittmastixasphalt und der Offenporige Asphalt (hier gilt die maximale Messtiefe von 4,5 mm des Texturmessgerätes zu berücksichtigen) zeigen größerer Verzahnungstiefen, obwohl nur eine Größtkorn von jeweils 8 mm vorliegt. Dies ist auf die gröbere Oberflächenstruktur zurückzuführen (vgl. Bild 76 und Bild 79).

Es wird weiterhin ersichtlich, dass der Beton mit Besenstrich ebenfalls eine große Eindringtiefe aufweist. Dies ist aber hier von der verwendeten Bürste sowie der bei der Einbringung des Strichs angewendeten Kraft abhängig. Der Waschbeton weist eine vergleichbare Eindringtiefe wie die Asphaltbetone auf (vgl. Bild 82). Dies ist bereits visuell den dreidimensionalen Texturbildern zu entnehmen und bestätigt sich damit.

In den nachfolgenden Untersuchungen zur Entfernbareit der temporären Fahrbahnmarkierungen gilt es aufbauend auf diesen Ergebnissen die Entfernbareit zu bewerten.

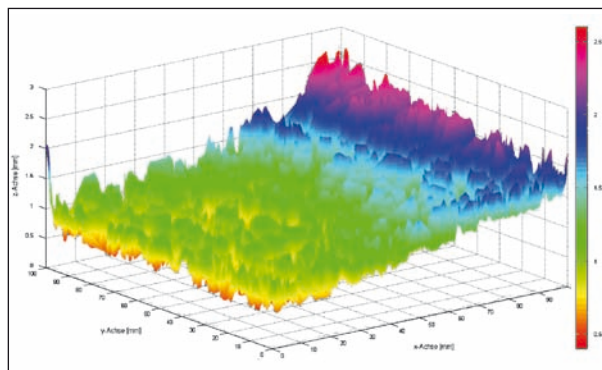




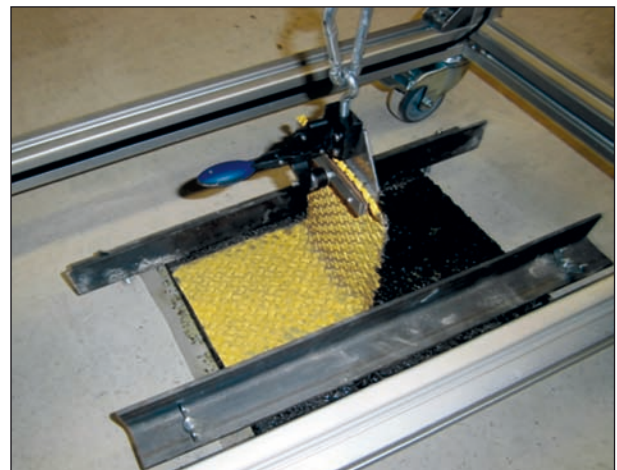
**Bild 82:** Resultierende Verzahnungstiefe der Markierung mit der Oberflächentextur (TFA-Anteil = 33 %)



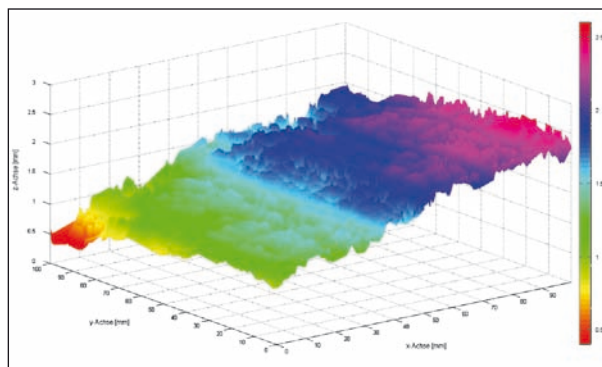
**Bild 85:** Folienabzugsgerät



**Bild 83:** Dreidimensionale Darstellung der Oberflächentextur einer Waschbetonoberfläche



**Bild 86:** Befestigung der Folie und Fixierung des Probekörpers



**Bild 84:** Dreidimensionale Darstellung der Oberflächentextur einer Betonoberfläche mit Besenstrich

## 7.5 Untersuchung der Entfernbareit

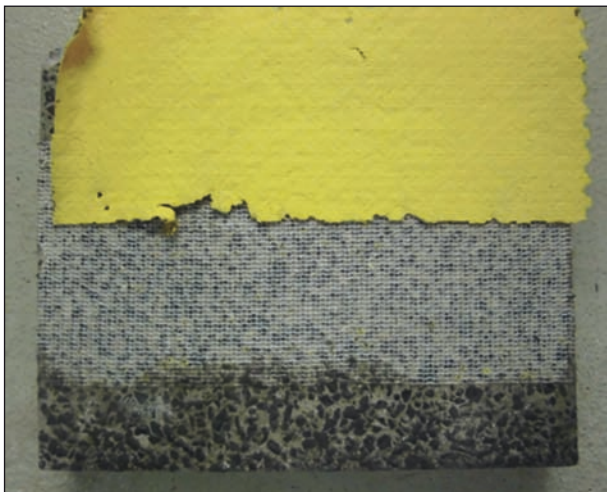
Im Anschluss an die Beanspruchung der Markierung im Prüfstand ARTe, werden die Folien unter definierten Bedingungen von den Prüfkörpern abgezogen. Hierfür wird das unten dargestellte Folienabzugsgerät verwendet (vgl. Bild 85 und Bild 82). Das Gerät wird mithilfe einer Klemme an der abzuziehenden Folie befestigt und zieht diese

dann konstruktionsbedingt unter einem 90°-Winkel von den Probekörpern ab. Es werden elektronisch, sowohl die maximalen und minimalen also auch die mittleren Abzugskräfte ermittelt. Des Weiteren wird die benötigte Zeit festgehalten. Allerdings zeigten die Versuche, dass sich aus der Zeit keinerlei Aussagen über die Entfernbareit oder die benötigten Kräfte ableiten lassen, sodass diese nicht weiter berücksichtigt wird. Um die Prüfparameter konstant zu halten und äußere Einflüsse (Temperatur, Luftfeuchte, etc.) auszuschließen, finden die Versuche nicht im Freien statt und sowohl das Abzugsgerät als auch die Probekörper sind am Boden fixiert.

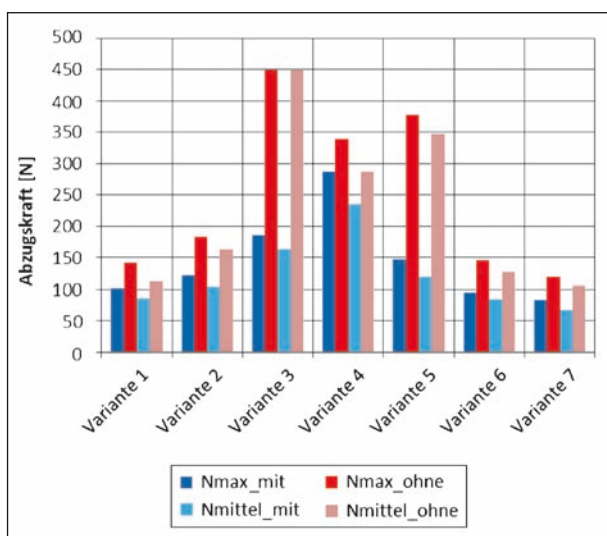
Da sich bei einigen Probekörpern während der Belastungssimulation bereits die Folie abgelöst hatte bzw. größtenteils zerstört wurde, war es nicht möglich von allen Probekörpern einen Abzugsversuch durchzuführen. Dies gilt vor allem bei der Variante 7.

### 7.5.1 Auswertung der Abzugsversuche

Die nachfolgenden Diagramme geben einen Überblick über die ermittelten Abzugskräfte, sortiert nach den verschiedenen Arten der Probekörper. Dabei fällt besonders auf, dass alle Markierungsfolien auf den Gussasphalt-Probekörpern (Referenz der RPA) deutlich höhere Abzugskräfte aufweisen, als auf allen anderen Straßenoberflächen (vgl. Bild 93). Wie aus den Diagrammen ersichtlich, liegen die Abzugskräfte zwischen ca. 40 N und 350 N. Vereinzelt ergeben sich sogar Kräfte von mehr als 450 N. Bei solchen Abzugskräften ist eine rückstandlose Entfernung nicht mehr möglich. Bei diesen Rückständen handelt es sich vornehmlich um die Gitternetzstruktur der Folie, von der sich die Oberbeschichtung beim Abziehen gelöst hatte (vgl. Bild 87).



**Bild 87:** Ablösung der Oberbeschichtung von der Gitternetzstruktur



**Bild 88:** Vergleich der maximalen und mittleren Abzugskräfte bei unbelasteten und belasteten Asphaltoberflächen, Prüfung an Asphaltbeton, basisch

Insbesondere die Varianten 3 und 5 sind davon betroffen.

### 7.5.2 Variantenvergleich

Mithilfe eines Variantenvergleiches sollen verschiedene Einflussgrößen auf die Entfernbarkeit bestimmt werden. Folgende Varianten werden daher gegenübergestellt:

- mit und ohne Bitumenfilm = > neue Fahrbahndecke vs. bereits befahrene Fahrbahndecke,
- sauer vs. basisch = > Einfluss des verwendeten Gesteins,
- Waschbeton vs. Besenstrich = > Einfluss der Textur,
- AC 11 DS basisch (ohne Bitumenfilm) vs. PA 8 vs. SMA 8 S = > Einfluss der Textur,
- Beton vs. Asphalt = > Einfluss der Bauweise.

Die Ergebnisse des Variantenvergleichs sind nachfolgend dargestellt.

#### Mit Bitumenfilm vs. ohne Bitumenfilm

Die Gegenüberstellung der Abziehkräfte auf Probekörpern mit und ohne Bitumenfilm, soll den Vergleich von neu hergestellten und bereits befahrenen Straßenoberflächen am Beispiel von basischen AC 11 DS-Oberflächen darstellen

Hintergrund dieser vergleichenden Analyse ist es, dass der Gebrauchszustand der Oberflächen (Neuzustand oder nach Belastung) maßgeblich die Oberflächentextur Asphalte und damit auch ggf. die Applikationsgüte der temporären Fahrbahnmarkierung beeinflusst. Insbesondere die Mikrotextur, die im Neuzustand zumeist vollständig mit einem Bitumenfilm bedeckt ist, wird durch die Verkehrsbelastung freigelegt und kann erst in diesem Zustand „wirken“.

Für alle verwendeten Markierungsfolien sind die notwendigen Abzugskräfte auf Probekörpern ohne Bitumenfilm deutlich höher als bei neuen Probekörpern mit Bitumenfilm. Dies konnte unter Berücksichtigung o. g. Aspekte erwartet werden, da die freigelegte Mikrotextur der einzelnen Gesteinskörner eine bessere „Verklebung“ der temporären Fahrbahnmarkierungen auf dem Asphalt erlaubt. Die Verzahnung der Markierung mit der Oberfläche scheint hierdurch begünstigt zu werden (vgl. Bild 88).



Für alle Markierungen ist der erforderliche Kraftaufwand auf gebrauchten Probekörpern etwa 50 N höher als bei neuen, nur bei den Varianten 3 und 5 steigt der Kraftbedarf um über 200 N an.

### Sauer vs. basisch

Die vergleichende Analyse saurer und basischer Gesteine erfolgt im „belasteten“ Zustand, d. h. es erfolgt ein „Abpolieren“ des nach der Asphaltherstellung vorhandenen Bitumenfilms an der Asphaltoberseite, sodass die Mikrotextur der Gesteine und die sauren bzw. basischen Eigenschaften der Gesteine im Kontext der Applikationsgüte wirken können (Bild 89).

Die Analyse erfolgt an vergleichbar zusammengesetzten Asphalten (Asphaltbeton AC 11 D S), die gemäß TL Asphalt-StB 07 zusammengestellt und zum einen mit einem basischen Gestein (Basalt) und zum anderen mit einem sauren Gestein (Grauwacke) hergestellt wurden.

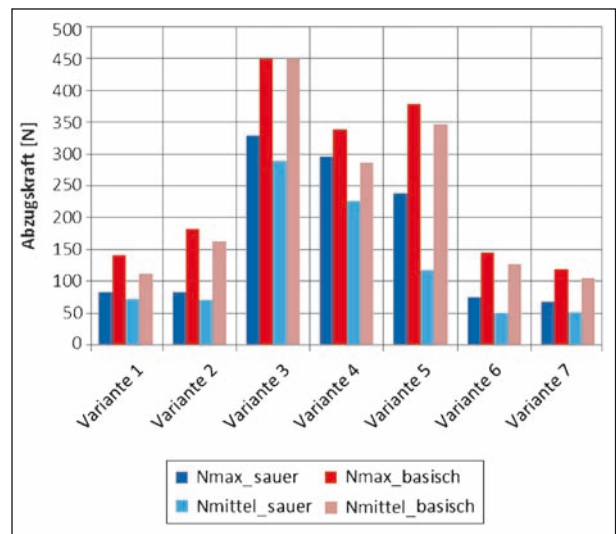
Die Abzugsversuche zeigen, dass tendenziell größere mittlere und maximale Abzugskräfte bei basischem Gestein gegenüber saurem Gestein erforderlich sind (vgl. Bild 89). Je nach Markierung sind die Abzugskräfte um bis zu 50-100 N erhöht. Die Reihung der Markierungen bzw. erforderlichen Abzugskräfte bei den verschiedenen Markierungen bleibt nahezu unverändert.

### Waschbeton vs. Besenstrich

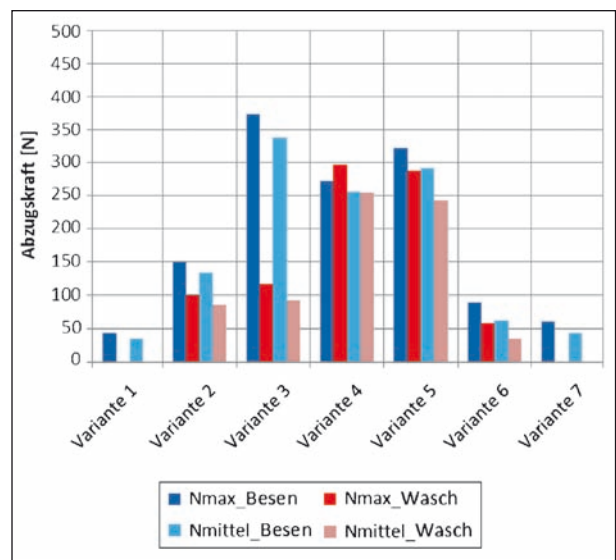
Die beiden Betonvarianten wurden mit derselben Betonrezeptur hergestellt, Unterschiede der beiden Varianten resultieren nur auf der unterschiedlichen Oberflächenbehandlung. Bei den Waschbetonoberflächen wurde der Zementanteil an der Oberfläche zum größten Teil ausgewaschen, sodass die Markierung bzw. der Primer direkten Kontakt zur Körnung hat.

Die Haftung auf Waschbeton ist für alle Markierungsvarianten (ausschließlich Variante 4) geringer als auf der Besenstrichoberfläche (vgl. Bild 90). Für zwei Folienvarianten (1 und 7) konnten keine Abzugskräfte ermittelt werden, da die Markierung die Belastungsversuche nicht überstanden haben.

Insgesamt schwanken die gemessenen Abzugskräfte aber für beide Oberflächen zwischen sehr geringen Werten (ca. 50 N) für die Varianten 1 und 7 und sehr hohen Werten für die Varianten 4, 5 und z. T. 3 mit etwa 300 N.



**Bild 89:** Vergleich der maximalen und mittleren Abzugskräfte bei saurem und basischem Gestein, Prüfung an Asphaltbetonoberflächen vergleichbarer Zusammensetzung ohne Bitumenfilm

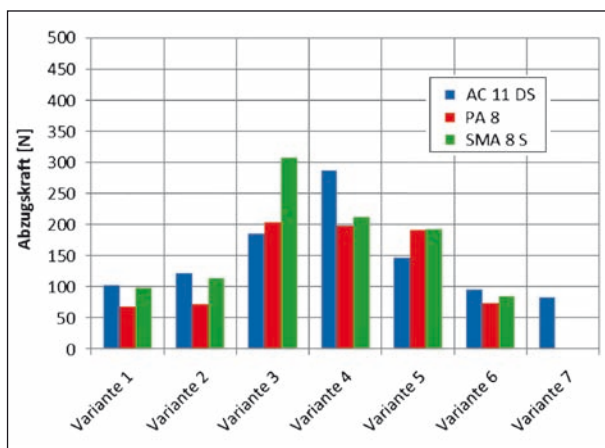


**Bild 90:** Vergleich der maximalen und mittleren Abzugskräfte bei Betonoberflächen mit Besenstrich sowie Waschbetonoberflächen

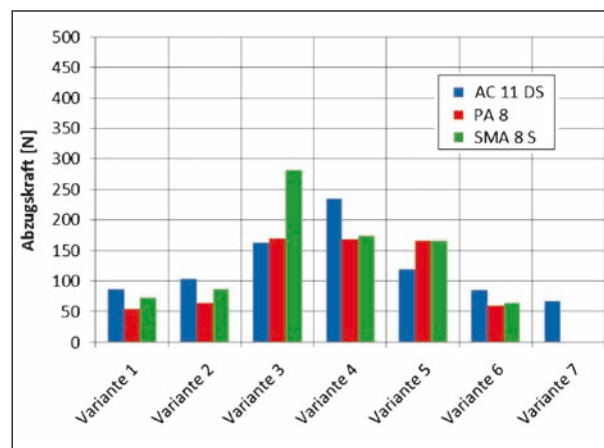
### AC 11 DS basisch vs. PA 8 vs. SMA 8 S

Der Vergleich der drei basischen Asphaltvarianten kann den Einfluss der Oberflächentextur auf neuwertige (mit Bitumenfilm) Oberflächen darstellen. Bei alle getesteten Varianten (bis auf 2 Ausnahmen) lagen die maximalen Abzugskräfte unter 200 N und damit noch im guten Bereich (vgl. Bild 91 und Bild 92).

Variante 7 hat auf PA 8 und SMA 8 S die Belastungsversuche nicht überstanden, sodass keine Entfernbarkeitsversuche durchgeführt werden konnten. Der Vergleich der maximalen Abzugs-



**Bild 91:** Vergleich der maximalen Abzugskräfte von AC 11 D S, PA 8 und SMA 8 S, jeweils geprüft an unbelasteten Asphaltoberflächen



**Bild 92:** Vergleich der mittleren Abzugskräfte von AC 11 D S, PA 8 und SMA 8 S, jeweils geprüft an unbelasteten Asphaltoberflächen

kräfte zeigt hier zudem, dass keine Unterscheidung bzgl. der verwendeten Verkehrsklasse (P6 oder P7) erkennbar ist (vgl. Bild 91).

Die zwei dargestellten Diagramme (Bild 91 und Bild 92) bestätigen den allgemeinen Eindruck, dass die Folien bzgl. der Abzugskräfte eher nach den jeweiligen Herstellern unterschieden werden können und nicht nach den Verkehrsklassen.

### Beton vs. Asphalt

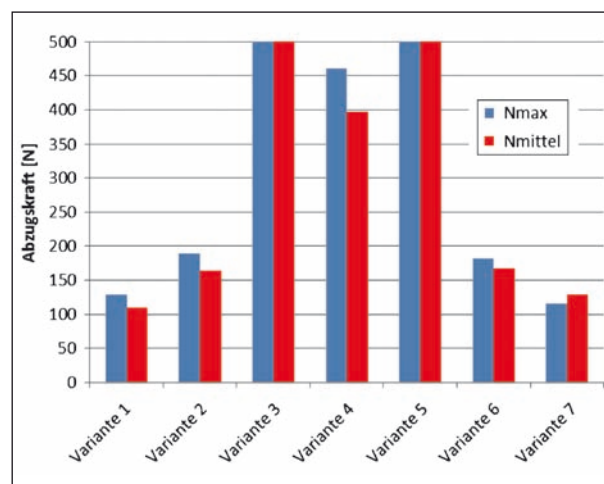
Die Ergebnisse der Abzugsversuche unterscheiden sich deutlich zwischen den Asphalt- und Betonoberflächen.

Bei Hersteller A liegen die maximalen Abzugskräfte auf Asphaltoberflächen im mittleren Bereich (~ 50 N bis 100 N), für Hersteller B im hohen Bereich (150 N bis 500 N) und für Hersteller C im unteren bzw. mittleren Bereich (0 bis 100 N). Für Betonoberflächen kann eine derartige Einteilung nicht vorgenommen werden, da die Ergebnisse auch innerhalb der Hersteller stark schwanken und einige Folien die Belastungsversuche nicht überstanden haben.

Der Vergleich zeigt zudem, dass für eine Prüfung der Entfernbareit von Markierung Asphalt- und Betonprobekörper unabhängig voneinander geprüft werden müssen.

### Vergleichsoberfläche MA

Alle Entfernbareitversuche haben gezeigt, dass auf den Gussasphaltoberflächen, die für die Rundlaufprüfanlage (RPA) der BAST verwendet werden,



**Bild 93:** Gussasphalt (Proben RPA)

die größten erforderlichen Abzugskräfte gemessen wurden. Z. T. konnten die Folien auch gar nicht mehr von der Probe entfernt werden. D. h., die Gussasphaltproben sind aufgrund der homogenen Oberfläche für die Prüfung der lichttechnischen Eigenschaften oder der Griffigkeit in der RPA gut geeignet, aber zur Überprüfung der Entfernbareit von Markierungsfolien eignen sich diese nicht (vgl. Bild 93).

### Unterscheidung nach Folienart

Neben der Differenzierung nach den Einflussparametern der Straßenoberfläche können auch die Abzugskräfte der einzelnen Folien unterschieden werden (vgl. Bild 94 bis Bild 100).

Auch hier werden deutliche Unterschiede sichtbar. Einige Folien weisen für alle betrachteten Oberflächen vergleichbare Abzugskräfte nach. Bei

diesen liegen die maximalen Abzugskräfte in einem homogenen Spektrum, d. h. zwischen dem minimalen und maximalen Wert liegen etwa 100 N.

Bei anderen Folien liegen dieses Deltas zum Teil zwischen 300 N und 400 N. Über eine Variante können keine vergleichenden Aussagen getroffen werden, da für drei verschiedene Oberflächen keine Abzugskräfte ermittelt werden konnten.

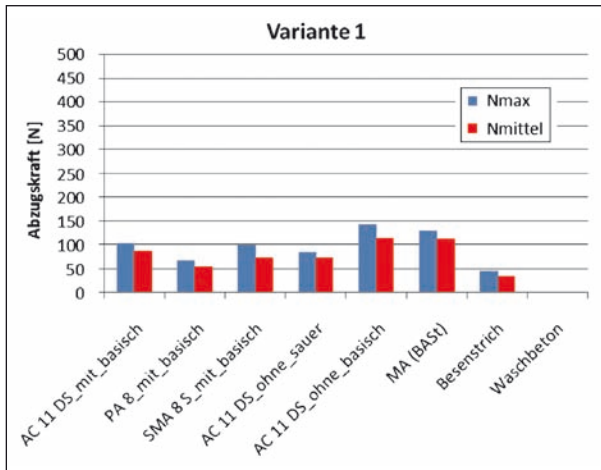


Bild 94: Abzugskräfte für Variante 1

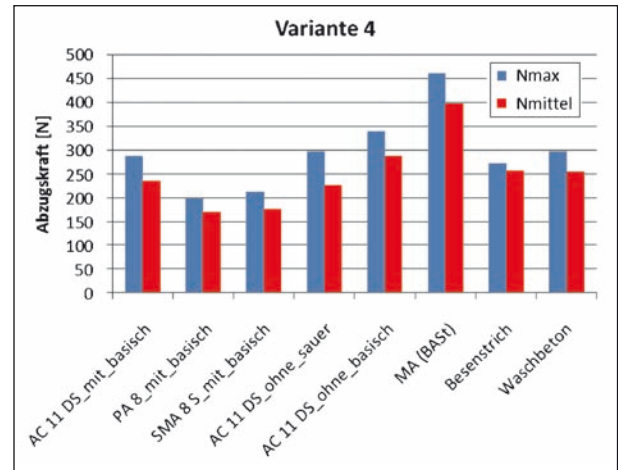


Bild 97: Abzugskräfte für Variante 4

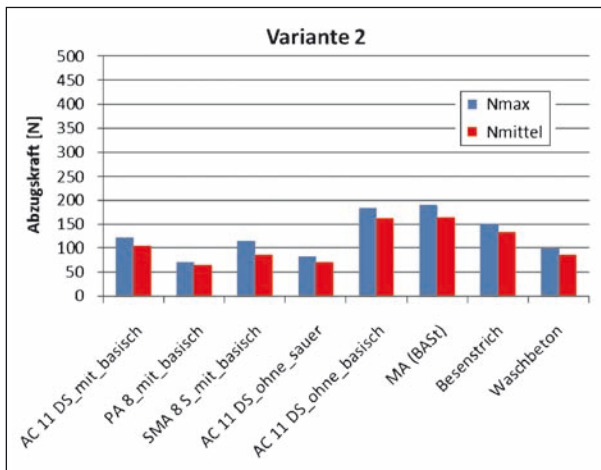


Bild 95: Abzugskräfte für Variante 2

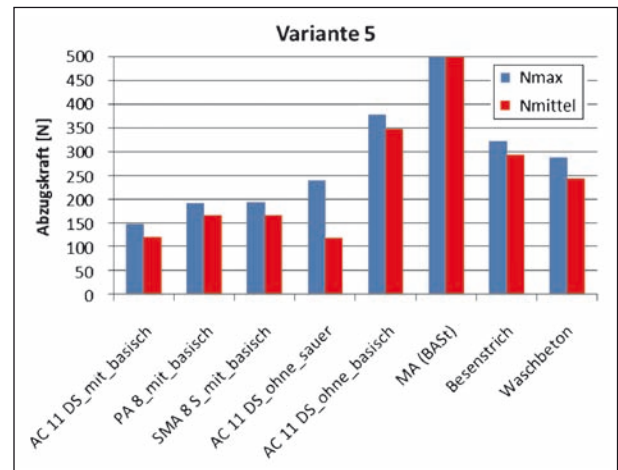


Bild 98: Abzugskräfte für Variante 5

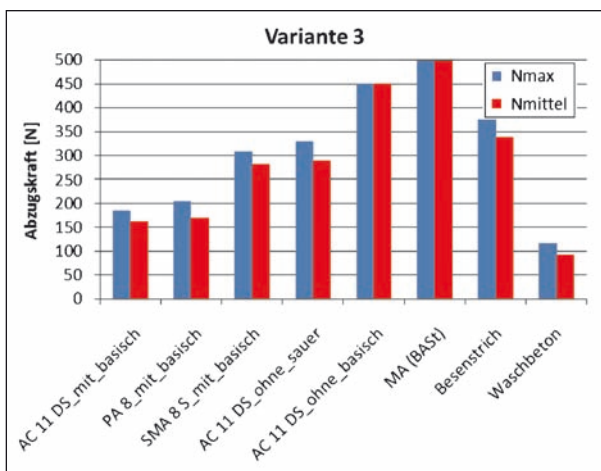


Bild 96: Abzugskräfte für Variante 3

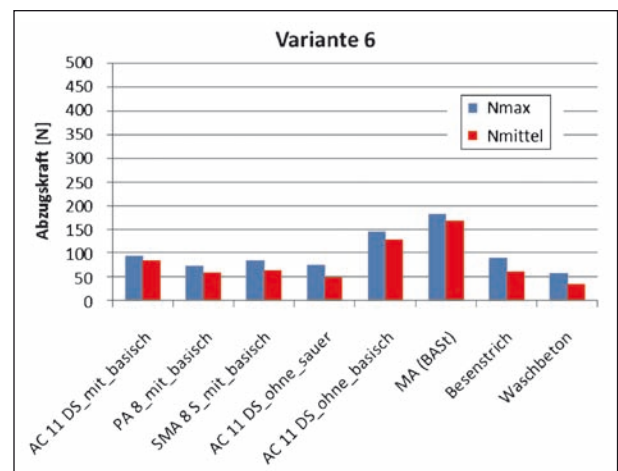


Bild 99: Abzugskräfte für Variante 6

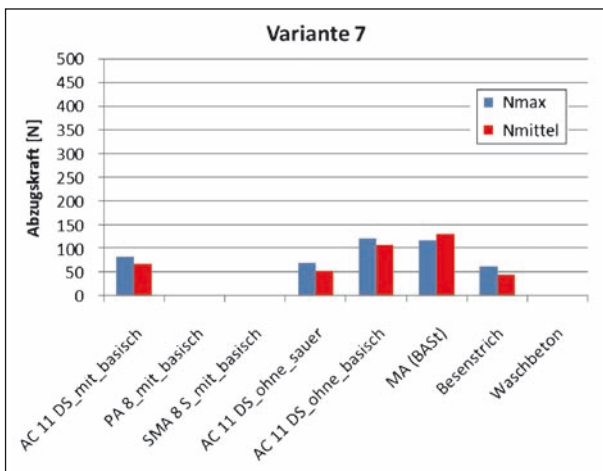


Bild 100: Abzugskräfte für Variante 7

### Unterscheidung nach Foliendicke

Abschließend wurden Folien hinsichtlich der jeweiligen Foliendicke (profilierter und glatte Folien), in Abhängigkeit der Straßenoberfläche, unterschieden (vgl. Bild 101 und Bild 102).

Hinsichtlich der Abzugskräfte lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen profilierten und nicht profilierten Markierungsfolien feststellen. Ein Unterschied ist nur, dass unprofilerte Folien eher zum Durchstanzen neigen als profilierte. Dies lässt sich auf die geringere Dicke der Folie zurückführen.

Neben den oben beschriebenen Abzugsversuchen wurde noch eine zusätzliche Versuchsreihe zum Einfluss der Belastung auf die Entfernbarkeit durchgeführt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Folien, die nicht in der ARTe beansprucht wurden deutlich leichter zu entfernen waren als beanspruchte Folien. Z. T. waren die notwendigen maximalen Abzugskräfte um den Faktor 2,5 geringer (180 N gegenüber 450 N). Zu vermuten ist daher, dass die Klebwirkung durch die Verkehrsbelastung und das Andrücken an die Oberfläche deutlich verstärkt wird.

Als Ergebnis der Abzugsversuche und der visuellen Begutachtung der Probekörper kann festgehalten werden, dass die maximalen Abzugskräfte in drei Klassen eingeteilt werden können:

#### 1. Geringe Haftung

In dieser Klasse liegen die Abzugskräfte bei maximal 50 N. Für Folien, die sich in dieser Klasse befinden ist nicht sichergestellt, dass sie bei starker Beanspruchung auf der Fahrbahn verbleiben (sowohl im Labor als auch in der Praxis).

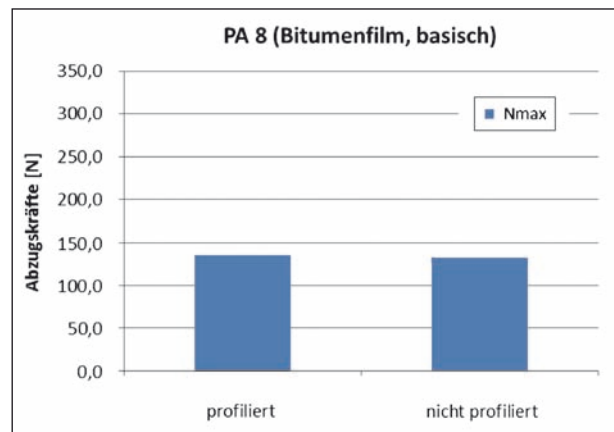


Bild 101: Gegenüberstellung von glatter und profilierter Folie auf PA 8

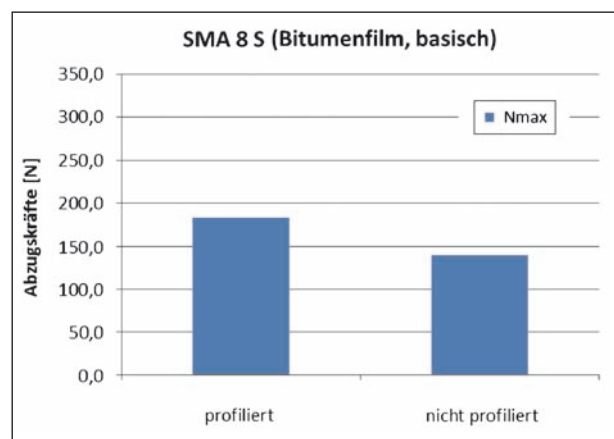


Bild 102: Gegenüberstellung von glatter und profilierter Folie auf SMA 8 S

#### 2. Mittlere Haftung (zu empfehlen)

In dieser Klasse liegen die Abzugskräfte zwischen 50 N und 150 N. Befinden sich Markierungsfolien in diesem Bereich ist sichergestellt, dass sie auch bei starker Belastung auf der Fahrbahn verbleiben und nach Abschluss der Arbeiten noch gut entfernt werden können (sowohl im Labor als auch in der Praxis).

#### 3. Starke Haftung

In dieser Klasse liegen die Abzugskräfte (deutlich) über 150 N. Folien in dieser Klasse verbleiben auch bei sehr hohen Belastungen während der Bauzeit auf der Fahrbahn, können allerdings im Anschluss oftmals nicht ohne größere Rückstände entfernt werden.

### 7.5.3 Analyse der Abzugsversuche unter Berücksichtigung der Texturkennwerte

Neben dem o. g. Variantenvergleich der Entfernbarkeit der temporären Markierungen ist auch eine



Betrachtung der Ergebnisse unter Berücksichtigung der in Kapitel 7.4 erarbeiteten Erkenntnisse hinsichtlich der Oberflächentextur notwendig.

Insbesondere gilt es hier die festgestellten Unterschiede der Makrotextur und der Applikationsfläche sowie die hieraus resultierende Verzahnungstiefe der Markierung mit der Oberfläche näher im Kontext der Entfernbarkeit zu betrachten.

Diesbezüglich zeigt sich, dass die Ergebnisse der Abzugsversuche in zwei maßgebliche Gruppen unterteilt werden können. Die Varianten 1, 2, 6 und 7 (1 und 2 von Hersteller A und 6 und 7 von Hersteller C) zeigen bei allen Oberflächenvarianten ein vergleichbares Verhalten hinsichtlich der Entfernbarkeit (vgl. Kapitel 7.5.2).

Die zweite Gruppe, die Varianten 3, 4 und 5, zeigen demgegenüber ein deutlich verändertes Verhalten – die hier aufzubringenden Abzugskräfte sind bei allen Oberflächen deutlich erhöht. Lediglich bei der Waschbetonoberfläche zeigt sich bei Variante 3 eine Abzugskraft, die auf dem Niveau der Varianten 1, 2, 6 und 7 liegt.

Aufgrund der scheinbaren Unabhängigkeit von den verschiedenen Oberflächenvarianten wird vermutet, dass die verwendeten Primer/Klebesysteme der beiden Gruppen grundsätzlich unterschiedlich sind. Eine gemeinsame Auswertung hinsichtlich der Einflüsse aus der Oberflächentextur erscheint daher nicht sinnvoll. Vielmehr werden die Einflüsse für jede Gruppe getrennt betrachtet.

Weiterhin werden bei dieser Analyse die Einflüsse durch eine Entfernung des Bitumenfilms an der Oberseite nicht betrachtet.

### Analyse Hersteller A + C

Die Analyse der Textureinflüsse auf die Abzugsfestigkeit der Varianten 1, 2, 6 und 7 (Hersteller A + C) zeigt, dass tendenzielle Zusammenhänge bestehen. Insbesondere die Makrotexturbewertung, sowohl der MTD als auch der MPD zeigen, dass eine größere Makrotextur zu tendenziell geringeren Abzugskräften führt (vgl. Bild 103 und Bild 104).

Gleiches Verhalten ist bei der maximalen Rautiefe der Oberfläche und der Verzahnungstiefe festzustellen (vgl. Bild 105 und Bild 106). Auch hier führt eine Zunahme zu einer Abnahme der erforderlichen mittleren Abzugskräfte.

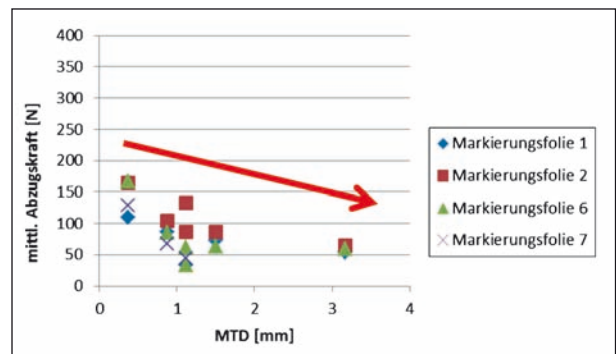


Bild 103: Hersteller A+C: Einfluss der Makrotextur (durch das Sandfleckverfahren bestimmt)

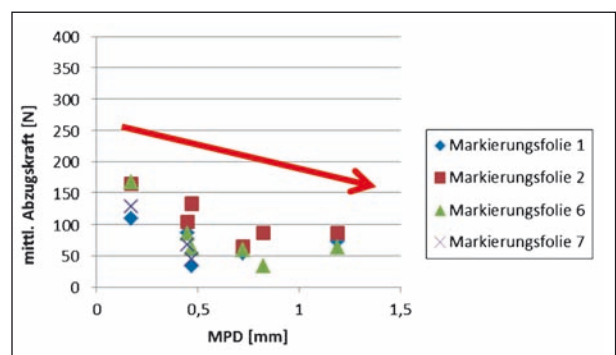


Bild 104: Hersteller A+C: Einfluss der Makrotextur (aus der Textur bestimmt)

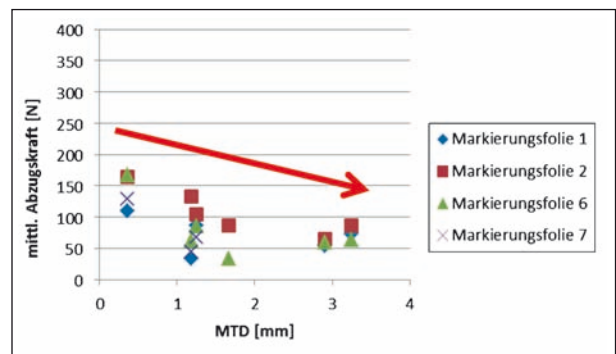


Bild 105: Hersteller A+C: Einfluss der maximalen Rautiefe (aus der Textur bestimmt)

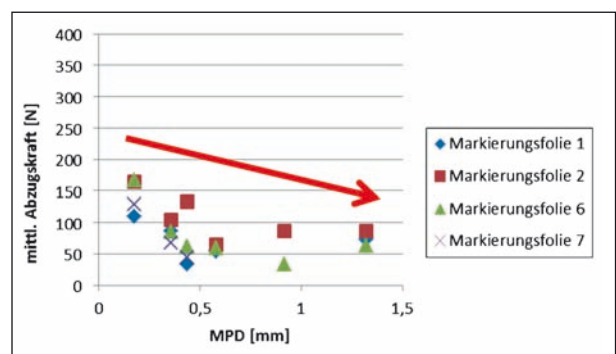
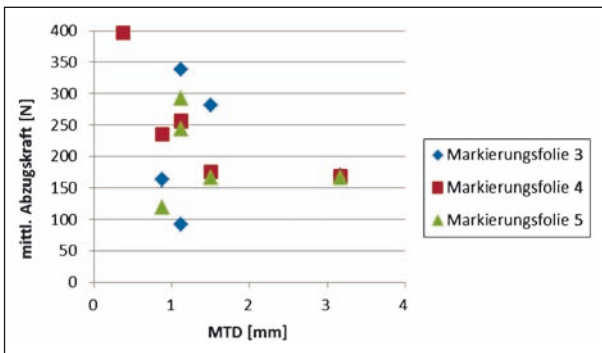


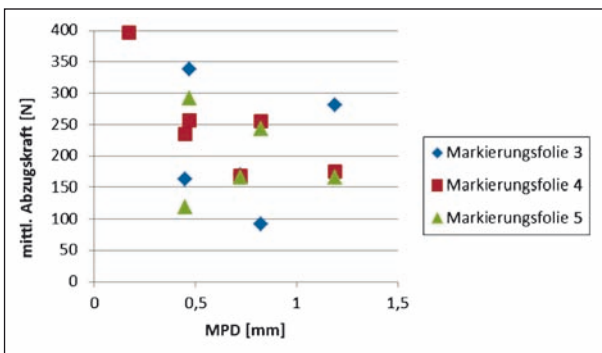
Bild 106: Hersteller A+C: Einfluss der Verzahnungstiefe (aus der Textur bestimmt)

## Analyse Hersteller B

Die Analyse der Textureinflüsse auf die Abzugsfestigkeit der Varianten 3, 4 und 5 (Hersteller B) zeigt grundsätzlich auch eine Tendenz zu geringeren Abzugskräften bei steigender Makrotextur, allerdings sind die Ergebnisse deutlich indifferenter (vgl. Bild 107 und Bild 108). Die Abzugskräfte schwanken bei diesen Folien sehr stark. Ggf. wird hierdurch ein Einfluss der Textur überdeckt.



**Bild 107:** Hersteller B: Einfluss der Makrotextur (durch das Sandfleckverfahren bestimmt)

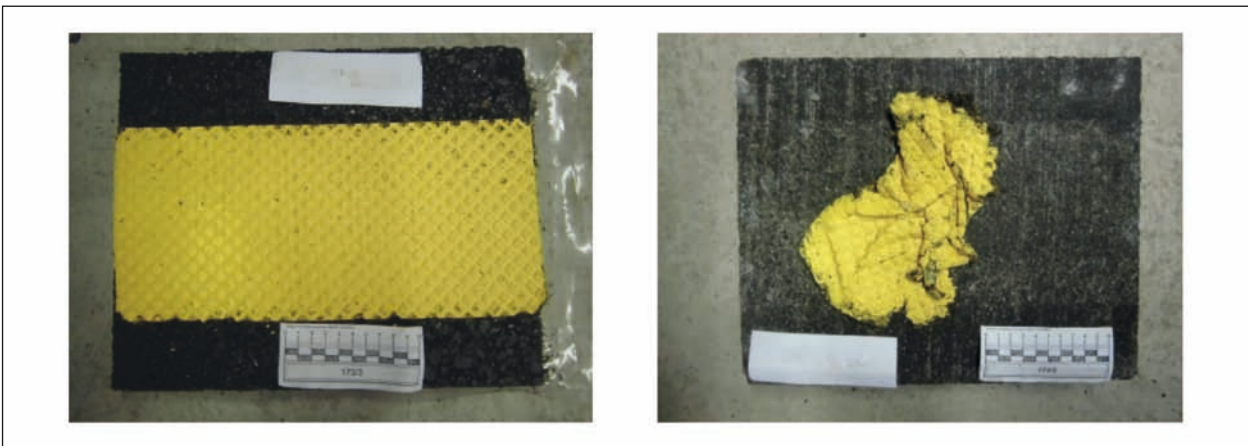


**Bild 108:** Hersteller B: Einfluss der Makrotextur (aus der Textur bestimmt)

## 7.6 Zusammenführung der Ergebnisse

Werden die Ergebnisse der Abzugsversuche mit den Texturdaten verknüpft, können folgende Aussagen getroffen werden:

- Auf neuen Asphaltoberflächen applizierte Folien weisen im Vergleich zu auf belasteten Oberflächen applizierten Folien weniger Beschädigungen auf bzw. neigen zu geringeren Beschädigungen und erfordern geringere Abzugskräfte.
- Betonoberflächen sind hinsichtlich der Haftung deutlich schwieriger zu bewerten als Asphaltoberflächen mit baustofftechnisch vergleichbaren Eigenschaften (vgl. Bild 109).
- Die erforderlichen Abzugskräfte auf Betonoberflächen weisen zwischen den drei Herstellern deutliche Unterschiede auf.
- Der Grenzwert, ab dem Rückstände auf der Fahrbahn verbleiben, liegt bei etwa 350 N.
- Der Grenzwert, bis zu dem Verschiebungen der Markierungsfolie auftreten liegt bei ca. 60 N. Die Referenzplatten (RPA) weisen völlig andere Eigenschaften hinsichtlich der Abzugskräfte und des Zerstörungsbildes auf und sind somit für die Entfernbarkeitsbewertung nicht zu verwenden, um Rückschlüsse für die Praxis zu erhalten. Die Makrotextur der Straßenoberfläche besitzt starken Einfluss auf die Haftung und Haltbarkeit der Folien. Bei 2 von 3 Herstellern nehmen die Abzugskräfte mit einem Anstieg der Makrotextur deutlich ab.
- Zusatzversuche haben gezeigt, dass die simulierte Verkehrsbelastung einen wesentlichen



**Bild 109:** Vergleich von Asphalt- und Betonoberfläche

Einfluss auf die erforderlichen Kräfte zum Entfernen der Markierung hat. Eine Entfernbarekeit ohne vorherige Belastung macht daher keinen Sinn, da die sich die Klebkraft unter Belastung erhöht. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Markierung bei grober Textur beschädigt werden kann, sodass ein Abziehen im Ganzen nicht mehr realisiert werden kann. Ein „dosiertes“ belasten, wie im vorliegenden Vorhaben realisiert, ist daher grundsätzlich anzustreben.

## 7.7 Bewertungssystem

Die übergreifende Beurteilung der Ergebnisse hat gezeigt, dass die Prüfung der Entfernbarekeit von temporärer Markierung nicht bzw. nur mit Einschränkungen in die bis dato standardmäßig durchgeführte und etablierte Prüfsystematik in der RPA bzgl. lichttechnischen Eigenschaften oder der Griffbarkeit integriert werden kann.

Die in diesem Kontext vorhandenen und herausgearbeiteten Einflussgrößen auf die Entfernbarekeit von temporären Markierungen sind mit der vorhandenen Prüfsystematik sowie den eingesetzten Prüfoberflächen (Gussasphalt-Proben, vgl. Ergebnisse der Texturanalysen der betrachteten Untersuchungsoberflächen) nicht bzw. nur eingeschränkt abzubilden. Insbesondere die Oberflächentexturierung der Prüfoberflächen, einem fein abgestreuten Gussasphalt mit einem minimalen Größtkorn ist in diesem Zusammenhang, d. h. die Prüfung der Entfernbarekeit, zu hinterfragen. In Bezug auf die Prüfung der Griffigkeitsentwicklung und der Reflexionseigenschaften stellt sich im Vergleich hierzu diese Fragestellung nicht.

Sind die Oberflächen nur der Beanspruchung durch die Reifenüberrollungen sowie der Witterung ausgesetzt, so ist die Entfernbarekeit der Markierung neben dieser äußeren Beanspruchung in erster Linie von der Kontaktfläche zwischen der Markierung und der Straßenoberfläche abhängig.

Die beschriebenen Versuche haben gezeigt, dass hier nicht allein ein einziger Parameter für die Bewertung der Entfernbarekeit herangezogen werden kann, hier spielen insbesondere

- die Beanspruchung,
- Oberflächentextur und -beschaffenheit,
- die Materialeigenschaften,
- die verwendeten Gesteinsarten,

- der Alterungszustand der Straßenoberfläche,
- die Folienbauart sowie
- der verwendete Primer und Kleber

eine wichtige Rolle. Aufgrund der Vielfalt der Einflussgrößen kann die Entfernbarekeit einer Markierung auch nicht auf Basis eines einzelnen Versuches (auf einer Straßenoberfläche) auf alle anderen Straßenoberflächen umgerechnet oder extrapoliert werden. Sollen verlässliche Aussagen über die Entfernbarekeit einer bestimmten Markierungsfolie gemacht werden, muss dies immer in Abhängigkeit der verwendeten Straßenoberfläche geschehen. Daher sollte zumindest zwischen Asphalt und Betonoberflächen differenziert werden.

Da die Entfernbarekeitsversuche auf Asphaltstraßenbelägen tendenziell alle vergleichbar waren und Unterschiede hauptsächlich auf die verwendeten Gesteine (basisch oder sauer), den Belastungszustand (mit oder ohne Bitumenfilm) und die Textur zurückzuführen waren, wird empfohlen für die prüftechnische Ansprache der Entfernbarekeit der temporären Markierungen repräsentative Prüfoberflächen für die Applikation zu verwenden. Die Definition einer allgemeingültigen Prüfoberfläche zur Ansprache dieses Aspektes erscheint allerdings schwierig. Vielmehr ist dies mit für den Anwendungsfall repräsentativen Oberflächen, die beispielsweise mit dem Walzsegmentverdichter gemäß TP Asphalt-StB, Teil 33 hergestellt wurden und zusätzlich je nach Anwendungsfall mit einer Verkehrsbelastung belegt/belastet wurden, zu prüfen.

Die Entfernbarekeit auf Betonfahrbahnen sollte gleichermaßen auf den jeweils relevanten Prüfoberflächen (Waschbeton, Besenstrich oder Jutetuch) erfolgen. Diese unterscheiden sich aufgrund der unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen in deutlichem Maße hinsichtlich Oberflächenrauigkeit, -textur und insbesondere Kontaktfläche zwischen Markierung und Oberfläche. Beispielsweise wird der Zementleim (bzw. Zementschlämme) herstellungsbedingt bei einer Waschbetonoberfläche an der Oberfläche fast vollständig ausgewaschen, sodass die Markierung bzw. der Kleber/Primer direkten Kontakt zum Gestein hat. Beim Besenstrich oder Jutetuch ist hingegen auch noch ein relevanter Zementfilm an der Oberfläche vorhanden. Es liegt kein direkter Kontakt mit dem Gestein vor. Eine Belastung der Betonoberflächen führt auch hier zu einer veränderten Oberflächengestalt. Dies gilt es auch hier bei der prüftechnischen Ansprache der Entfernbarekeit, wie auch bei den Asphaltober-

flächen, zu berücksichtigen. Eine Belastung mit dem Aachener-Ravelling-Tester erscheint hier als schnelle und wiederholbare Belastungseinrichtung.

Die derzeit für die Prüfung der Griffigkeitsentwicklung auf der RPA verwendeten fein abgestreuten Gussasphalte sind in diesem Kontext nur eingeschränkt bzw. nicht geeignet. Die Oberflächenrauigkeit und -textur sowie die hieraus resultierende Entfernbarekeit und Haltbarkeit der temporären Markierungen ist mit dem Realzustand in-situ nicht vergleichbar.

Um eine umfassende Bewertung eines temporären Markierungssystems, d. h. der Markierung an sich und des Primers, vornehmen zu können, würde es im Rahmen der „Eignungsprüfung“ eine systematischen Prüfung der Entfernbarekeit auf möglichst allen praxisrelevanten Oberflächenvarianten bedürfen. Die diesbezügliche Prüfmatrix ist in Anlehnung an die TL Asphalt-StB 07 bzw. ZTV Asphalt-StB 07 festzulegen. Die Matrix müsste weiterhin unterschiedliche Gesteine (basisch oder sauer), Bindemittel („normale“ Straßenbaubitumen und polymermodifizierte Straßenbaubitumen), maximale Größtkörner der Asphalte und Belastungszustände umfassen. Eine Mehrfachbelegung der Prüfungen, beispielsweise in Anlehnung an die TP Asphalt-StB, Teil 0, erscheint weiterhin als erforderlich.

Die Erforderlichkeit eines derartig umfassenden Prüfprogramms konnte in ersten Ansätzen im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes aufgezeigt werden.

Die Prüfrandbedingungen für die prüftechnische Ansprache der Entfernbarekeit der Markierung im Rahmen der Zulassung als Laborprüfung sollten neben der repräsentativen Auswahl der Prüfoberfläche folgende Schritte umfassen:

1. Markierungsfolien gemäß Herstellerangaben auf die Probekörper applizieren:
  - a) Temperatur etwa 15 °C bis 20 °C,
  - b) Proben 48h trocken lagern.
2. (zeitraffende) Simulation der Verkehrsbelastung: sollte ein Versuchsaufbau wie in der ARTe gewählt werden, sind folgende Einstellungen zu beachten:
  - a) Reifendruck von 2,0 bar und ohne Zugabe von Wasser und/oder Sand,
  - b) Belastungszeit 15 Minuten.

3. standardisierte Abzugsversuche unter einem festen Winkel von 90°.

4. Bewertung der maximalen Abzugskräfte.

Werden die Versuche wie zuvor beschrieben durchgeführt, sollten die maximalen Abzugskräfte zwischen den Werten 50 N und 150 N liegen. Befinden sich Markierungsfolien in diesem Bereich, ist wahrscheinlich, dass sie auch bei starker Belastung auf der Fahrbahn verbleiben und nach Abschluss der Arbeiten auch gut entfernt werden können.

Auf Basis der beschriebenen Versuchsanordnung kann eine praxisrelevante Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Markierungsfolien auf unterschiedlichen Straßenoberflächen vorgenommen und eine geeignete Folie empfohlen werden.

## 8 Zusammenfassung, Fazit

Eine essentielle Sicherungsmaßnahme im Bereich von Arbeitsstellen auf Straßen, stellt die vorübergehende (gelbe) Markierung dar. Im Arbeitsbereich von Baumaßnahmen wird die temporäre Markierung als visuelle Führung des Verkehrs eingesetzt und zeigt den Verkehrsteilnehmern die geänderte Verkehrsführung an. Dabei ist die gelbe Markierung der dauerhaften weißen Markierung übergeordnet und setzt deren Leitfunktion somit außer Kraft. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass die vorübergehende Markierung die Funktion der weißen Markierung aufhebt ohne dass diese entfernt oder abgedeckt werden muss. Dadurch wird ersichtlich, dass die Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen größtenteils abhängig von der Erkennbarkeit der temporären Markierung ist.

Es besteht daher die Notwendigkeit, dass die Markierung der Arbeitsstelle jederzeit eindeutig von der ständigen Markierung zu unterscheiden ist, d. h. es darf nicht zu Verwechslungen mit der dauerhaften Markierung kommen. Die Erkennbarkeit der temporären Markierung muss also mindestens auf dem Niveau der permanenten Markierung sein und das unabhängig von Witterungsverhältnissen und Tageszeit.

Neben der Einhaltung der verkehrstechnischen Anforderungen der Markierung über die gesamte Bauzeit stellt die rückstandslose Entfernbarekeit der Markierung nach Abschluss der Arbeiten oftmals ein Problem in der Praxis dar. Verbleibende Rück-



stände auf der Fahrbahn (Markierungs- oder Ge Webereste, Primer) werden oftmals als sogenannte Phantommarkierungen bezeichnet und müssen ggfs. mechanisch (z. B. mit Fräsen) aufwendig entfernt werden. Bislang konnte noch keine Erkenntnisse gewonnen werden, warum Markierungen auf bestimmten Fahrbahnoberflächen Rückstände hinterlassen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden daher mittels Feldstudien sowie eines umfassenden Versuchsprogramms an handelsüblichen Produkten, die zur Markierung in Arbeitsstellen eingesetzt werden, die wesentlichen Einflussgrößen auf die Haltbarkeit und die Entfernbarekeit der vorübergehenden Markierung ermittelt. Basierend auf den daraus gewonnenen Erkenntnissen sollte zur Ergänzung des existierenden Prüfverfahrens ein praxisnahes Bewertungs- und Klassifizierungssystem entwickelt werden.

In der durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, dass die temporäre Markierung einer enormen Belastung durch den Verkehr ausgesetzt ist. Insbesondere durch die Überfahrungen des Schwerlastverkehrs werden die Markierungen durch Druck- und Schubkräfte stark beansprucht. Oftmals führt diese Belastung schon vor Beendigung der Baumaßnahme zu einer Beschädigung der Markierung und somit zu einer Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit.

Daher sollte in Arbeitsstellen auch die entsprechende Markierung ausgeschrieben werden, die während der gesamten Einrichtungsdauer eine Einhaltung der gegebenen Anforderungen hinsichtlich Rückstrahlwerten oder Griffigkeit sowie der Dauerhaftigkeit gewährleisten kann.

Eine Planungshilfe, zur Wahl einer geeigneten Markierungsklasse wurde im Rahmen des Projektes erarbeitet. So wurde auf Basis von Verkehrsanalysen ein Bewertungsinstrument entwickelt, um die Beanspruchungen der Markierungen im Baustellenbereich auf Grundlage von Planungsdaten zu ermitteln. Eine genaue Vorhersage ist aber mit einem derartigen Tool nicht zu realisieren, da die Überfahrung der Markierung immer vom individuellen Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer abhängig ist und dieses nur schwer prognostizierbar ist. Das Tool sollte daher nur eine Hilfestellung für die Abschätzung der vermutlichen Beanspruchung der Folie sein. Die Auswahl der Folien für die entsprechende Arbeitsstelle sollte dennoch von den jeweiligen Ex-

perten vor Ort getroffen werden, unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Beanspruchung.

Das vorrangige Ziel des Projektes war es aber zu untersuchen, welcher Parameter die Entfernbarekeit von Markierungen von unterschiedlichen Straßenoberflächen maßgeblich beeinflusst. Zunächst wurde daher folgendes Prüfprogramm erstellt,

- Aufstellung der Prüfmatrix,
- Applizierung,
- Beanspruchung und
- Abzugsversuche

um die relevanten Parameter zu ermitteln, die die Entfernbarekeit der Markierung beeinflussen können.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass Betonoberflächen hinsichtlich der Haftung deutlich schwieriger zu bewerten sind als Asphaltflächen bei baustofftechnisch vergleichbaren Eigenschaften. Insbesondere die Makrotexturbewertungen zeigen, dass eine größere Makrotextur zu tendenziell geringeren Abzugskräften führt. Ebenso ließen sich Einflüsse aus der Alterung der Straßenoberfläche sowie der Verwendung der Gesteinsarten nachweisen. Zusatzversuche haben zudem gezeigt, dass die simulierte Verkehrsbelastung einen wesentlichen Einfluss auf die erforderlichen Kräfte zum Entfernen der Markierung hat. Eine Entfernbarekeit ohne vorherige Belastung der Prüfkörper macht daher keinen Sinn, da sich die Klebkraft unter Belastung erhöht. Eine herstellerübergreifende Bewertung, d. h. eine Bewertung über die bekannten Materialeigenschaften, ist allerdings schwierig, da die Abzugskräfte zwischen den drei verwendeten Herstellern deutliche Unterschiede aufzeigen.

Es konnte daher gezeigt werden, dass die Entfernbarekeit von vielen unterschiedlichen Einflussgrößen (u. a. die Beanspruchung, die Oberflächentextur und -beschaffenheit, die Materialeigenschaften oder der Alterungszustand der Straßenoberfläche sowie der verwendete Primer und Kleber) abhängig ist. Die genaue Auswahl der Prüfoberflächen für die prüftechnische Ansprache der Entfernbarekeit von temporärer Markierung ist daher essentiell. Der insitu-Zustand des Fahrbahnbelages ist möglichst realitätsgetreu nachzuvollziehen/zu simulieren. Die Asphaltartsorte und Mischgutzusammenstellung, sowie insbesondere der Belastungszustand der Oberfläche sind bei der Auswahl zu berücksichtigen. Dies gilt darüber hinaus auch für die Applikation der Markierungen, d. h. das Applikationsver-

fahren. Zudem hat der Vergleich der maximalen Abzugskräfte gezeigt, dass bzgl. der Entfernbarkeit der Markierungen anhand standardisierter Angaben, wie z. B. der erforderlichen Verkehrsklasse (P6 oder P7) oder der Foliendicke, keine Unterscheidung bzgl. des Verhaltens der Markierungsfolie bei Beanspruchung getroffen werden kann.

Aufgrund der Vielfalt der Einflussgrößen kann daher die Beurteilung nicht auf Basis einer einzelnen Versuchsanordnung, wie z. B. bei den Versuchen in der RPA, vorgenommen werden. Um differenzierte Aussagen über die Entfernbarkeit der Markierung auf unterschiedlichen Straßenoberflächen zu machen, sollte die in Kapitel 7.7 vorgestellte Prüfsystematik angewendet werden.

Aufgrund der deutlich unterschiedlichen Ergebnisse für die Entfernbarkeit auf Asphalt- und Betonoberflächen, sollte bei einem zukünftigen Prüfverfahren zumindest zwischen Asphalt- und Betonoberflächen unterschieden werden. Die Belastungen der Probekörper, zur Simulation der verkehrlichen Beanspruchung, sollte dann im Aachener-Ravelling-Tester (ARTE) oder einer vergleichbaren Einrichtung erfolgen.

Die Prüfung der Entfernbarkeit von Markierungsfolien sollte neben der repräsentativen Auswahl der Prüfoberfläche nachfolgende Schritte umfassen:

- Markierungsfolien gemäß Herstellerangaben auf die Probekörper applizieren:
  - zeitraffende Simulation der Verkehrsbelastung durch spezielle Versuchseinrichtung (z. B. ARTE),
  - standardisierte Abzugsversuche unter einem festen Winkel von 90°,
  - Bewertung der maximalen Abzugskräfte.

Die Ergebnisse dieser Abzugsversuche können dann nach folgendem Schema bewertet werden:

- Abzugskräfte < 50 N: Markierung löst sich nach kurzer Liegedauer von der Fahrbahn ab,
- Abzugskräfte 50 N bis 150 N: auch bei starker Belastung verbleibt die Markierung auf der Fahrbahn und kann nach Abschluss der Arbeiten gut entfernt werden,
- Abzugskräfte > 150 N: die Markierungsfolie lässt sich bei der Demarkierung voraussichtlich nur mit zusätzlichen Hilfsmitteln entfernen.

Die Messung der Entfernbarkeit, ohne vorherige Beanspruchung der Markierung, führt nicht zu realitätsnahen Ergebnissen, sodass die Belastung durch die ARTE o. Ä. erforderlich ist.

Auf Grundlage der erzielten Ergebnisse kann somit die Entfernbarkeit der Markierung als Zulassungsprüfung in das Standardprüfprogramm aufgenommen werden.

Aber auch ohne ein zugelassenes Prüfverfahren kann der Baulastträger eine „Einzelfallprüfung“ vornehmen und die Eignung unterschiedlicher Folienhersteller auf der geplanten Straßenoberfläche im Labor prüfen.

Die gesamte Problematik der Phantommarkierung bzw. der Beurteilung der Rückstände auf der Fahrbahn nach erfolgter Demarkierung war nicht Gegenstand des Forschungsvorhabens. Aufgrund der zahlreichen Hinweise aus der Praxis wurde diese Fragestellung allerdings z. T. auch behandelt. Die reine Beschreibung, wann Rückstände als Phantommarkierung oder sicherheitsrelevante Rückstände bezeichnet werden müssen, konnte hier aber nicht behandelt werden. Dies sollte in einer eigenen Arbeit untersucht werden.

## 9 Literatur

BAUM, A.; SIEBERTZ, I.; JUNG, K.-H.; KAHMANN, F.: Poster „Reifenabrieb unter Laborbedingungen“, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

BECKENBAUER, T.: Physik der Reifen-Fahrbahn-Geräusche – Geräuschenstehung, Wirkungsmechanismen und akustische Wirkung unter dem Einfluss von Bautechnik und Straßenbetrieb. Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis – Lärmaktionsplanung, 4. Informationstage, 2008

BMVBS: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 5/2006, Sachgebiet 12.1: Umweltschutz, Lärmschutz, Betreff: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 17.02.2006

BMVBS: Allgemeines Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 14/2006, Sachgebiet 04.4: Straßenbefestigungen; Bauweisen und Sachgebiet 06.1: Straßenbaustoffe; Anforderungen, Eigen-

- schaften, Betreff: Fahrbahndecken aus Beton mit Waschbetonoberflächen. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, 16.05.2006
- BMVBS: Baubetriebsplanung 2011. Zur Verfügung gestellt durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- BMVBS: Baubetriebsplanung 2012. Zur Verfügung gestellt durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- DIN EN 1436: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen. Ausgabe 2007, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Berlin 2007
- DIN EN 13036-1: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens. Ausgabe 2010, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Berlin 2010
- DIN EN 13197: Straßenmarkierungsmaterialien – Verschleißsimulatoren. Ausgabe 2001, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Berlin 2001
- DIN EN 13197: Straßenmarkierungsmaterialien – Verschleißsimulatoren. Ausgabe 2011, Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Berlin 2011
- DIN EN ISO 13473-1: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe (ISO 13473-1: 1997). Deutsche Norm, Juli 2004
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Arbeitspapier – Textureinfluss auf die akustischen Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen. Fassung 2012 (Stand: 08.03.2012), Köln 2012
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): M OB – Merkblatt für die Herstellung von Oberflächentexturen auf Verkehrsflächen aus Beton. Ausgabe 2009 (RAS-Q), Heft 829, Köln 2009
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitt (RAS-Q). Ausgabe 1996, Köln 1996
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): RMS – Richtlinien für die Markierung von Straßen – Teil 1: Abmessung und geometrische Anordnung von Markierungszeichen. Ausgabe 1993 (RMS-1), Heft 330/1 Köln 1993
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen. Ausgabe 1995 (RSA-95), Heft 370, Köln 1995
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen. Ausgabe 2007 (TL Asphalt-StB 07), Heft 797, Köln 2007
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Technische Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien. Ausgabe 2006 (TL M 06), Heft 375, Köln 2006
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Ausgabe 2007 (ZTV Beton-StB 07)), Heft 899, Köln 2007
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. Ausgabe 2007 (ZTV Asphalt-StB 07), Heft 799, Köln 2007
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen. Ausgabe 2002 (ZTV M 02), Heft 341, Köln 2002
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen. Köln 2013
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen. Ausgabe 1997 (ZTV-SA 97), Heft 369, Köln 1997

KILLING, S.; HIRSCH, V.: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Heft S 51, Bergisch Gladbach 2007

PETRY, I.; KEMPER, D.; STEINAUER, B.: Vorübergehende Markierungen in Arbeitsstellen längerer Dauer – Überprüfung von Prüfverfahren und Anforderungen an die Haltbarkeit. In: Straßenverkehrstechnik 54 (2010), Heft 10, S. 642-646

SCHULZE, C. K.-V.: Ein geometrisch basiertes Modell zur Ableitung von Reibwerten bei Nässe aus der Textur. Aachener Mitteilungen Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau, Heft 57, Institut für Straßenwesen Aachen, Aachen 2011

SCHÖNBORN, H.-D.; SCHULTE, W.: RSA Handbuch – Sicherung von Arbeitsstellen, Band 1. RSA mit Kommentar, Kirschbaum Verlag GmbH, Bonn 1999

STEINAUER, B.; WANG, D.; STANJEK, H.; STANJEK, C.: Erhöhung der Verkehrssicherheit durch gute Griffigkeitswerte während der gesamten Gebrauchsdauer von hochbelasteten Straßen. Schlussbericht, FE 04.208/2007/CRB, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011

Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 16. November 1970, zuletzt geändert am 01. Dezember 2010; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

SÜMMERMANN, A.: Verkehrssicherheits- und Verkehrsablaufuntersuchungen in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen in Deutschland. Dissertation am Institut für Straßenwesen Aachen 2012

ZEDLER, M.: Rundlaufprüfanlage (RPA), Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach 2009

## Produktinformationen

3M™ Betriebsanleitung PM 17, Folienandruckgerät RTC 3/RTC 300. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2008

3M™ Prospekt Stamark™ Markierungsfolie A721VHD. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2008

3M™ Technische Information PM 8, Verlegeanleitung Bitumen Plus Stamark™ Dauermarkierungsfolien. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2011

3M™ Technische Information PM 16, Stamark™ Markierungsfolie A721. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2008

3M™ Technische Information PM 31, Stamark™ Markierungsfolie A731. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2008

3M™ Technische Information PM 86, Stamark™ Markierungsfolie A721VHD. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2008

3M™ Technische Information PM 27, Verlegeanleitung Temporäre Fahrbahn-Markierungsfolien. 3M Deutschland GmbH – Abteilung Verkehrssicherheit, 2008

BRITELINE: Produktkarte DELTALINE SD, Homepage BRITELINE Europe® GmbH, <http://www.briteline.eu/>, 26.09.2012

BRITELINE: Verarbeitungshinweise P-20G-Grundierung, BRITELINE Europe® GmbH, 2010

BRITELINE: Verlegeanweisung für Applikation von Brite-Line Fahrbahnmarkierungsfolien bei feuchten Witterungsbedingungen, BRITELINE Europe® GmbH, 2011

Snoline Prospekt Temporary road markings tape TEMPOLINE, Homepage SNOLINE spa., <http://www.snoline.com/>, 26.09.2012



## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Straßenbau“

### 2007

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen  
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen  
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Hase, Oelkers € 24,50

S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

### 2008

S 49: Zweischichtiger offener Asphalt in Kompaktbauweise  
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Hirsch € 16,00

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton  
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)  
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

### 2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offener Asphaltbauweisen  
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt  
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmeßmethode  
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

### 2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes  
Wolf, Fielenbach € 16,50

S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 18,50

S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten  
Blume € 16,00

S 64: Griffigkeitsprognose an offener Asphalt (OPA)  
Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Ripke, Zöller, Pöppel-Decker € 23,00

S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus  
Freudenstein, Birmann € 14,00

### 2011

S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen  
Breitenbücher, Youn € 14,50

S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Canzler, Winkler € 16,50

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt  
Ripke  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen  
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen  
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> heruntergeladen werden.  
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ im September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offener Asphalt – Teil 2: Neue Baumaßnahmen  
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

S 73: Längsebenenheitsauswerteverfahren „Bewertetes Längsprofil“ – Weiterentwicklung der Längsebenenheitsbewertung der Zustandserfassung und -bewertung  
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

## 2012

S 74: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr 2“ – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche  
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr 2“ € 30,50

S 75: Abschätzung der Risiken von Hang- und Böschungsrutschungen durch die Zunahme von Extremwetterereignissen  
Krauter, Kumerics, Feuerbach, Lauterbach € 15,50

S 76: 42. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau  
Maerschalk, Ueckermann, Heller € 18,50

S 77: Netzplanung – Netzbildung – Netzbereinigung  
Durner € 16,50

S 78: Untersuchung des Einflusses der Grobtextur auf Messergebnisse mit dem SKM-Verfahren  
Bürckert, Gauterin, Unrau € 16,50

## 2013

S 79: Gussasphalt ohne Abstreuerung  
Ripke € 9,00

S 80: Entwicklung einer neuen Versuchstechnik zur Bestimmung der Grenze zwischen halbfestem und festem Boden  
Vogt, Birle, Heyer, Etz € 17,50

S 81: Das straßenrechtliche Nutzungsregime im Umbruch – Aktuelle Fragen des Planungsrechts  
Durner € 15,00

## 2014

S 82: Qualitätskontrolle PWS – Wehner/Schulze Quality Control  
Teil 1: Auswertung der Kenndaten der PWS Prüfung  
Teil 2: Auswertung von Vergleichsuntersuchungen zur Prüfung der Poliereinheit mittels Schleifpapier  
Jansen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 83: Die Stellung der Gemeinden im Straßenrecht – aktuelle Probleme des Umweltrechts – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 23./24. September 2013 in Bonn  
Durner € 17,00

S 84: Anforderungen an die Erhaltung von Radwegen  
Maerschalk, Oertelt € 19,00

S 85: Kornformbeurteilung mit dem optischen Partikelmessgerät Camsizer®  
Kunz  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2015

S 86: Einfluss des Asphaltgranulates auf die bemessungs- und ermüdungsrelevanten Materialeigenschaften einer zwangsgemischten, kaltgebundenen und bitumendominanten Tragschicht  
Radenberg, Miljković, Schäfer  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

S 87: Untersuchungen zur Ermittlung von Präzisionswerten für zwei AKR-Schnelltests Durchführung und Auswertung  
Müller, Seidel, Böhm  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 88: Verwendung von AKR-geschädigtem Betonaufbruch für hydraulisch gebundene Tragschichten  
Hüniger, Börner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 89: Ermittlung von repräsentativen Substanzwerten in homogenen Abschnitten  
Villaret, Frohböse, Jähmig, Karcher, Niessen, Buch, Zander  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 90: AKR-Untersuchungen für Fahrbahndecken aus Beton mit Waschbetonoberfläche  
Müller, Seidel, Böhm, Stark, Ludwig, Seyfarth  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 91: Straßen im Gesamtsystem der Verkehrsträger  
Durner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 92: Längsebenheitsmesssysteme – Überprüfung der Signalverarbeitungsverfahren nach dem Prinzip der Mehrfachabtastung (HRM)  
Neubeck, Wiesebrock  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2016

S 93: Bewertung und Optimierung der Hydrophobierung zur Verminderung des AKR-Schädigungsfortschrittes in Fahrbahndeckenbetonen  
Weise, Schrang in Vorbereitung

S 94: Beanspruchung und Entfernbarkeit temporärer Fahrbahnmarkierung  
Kemper, Schacht, Klaproth, Oeser, Beyer € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
28195 Bremen  
Tel. (0421) 3 69 03-53  
Fax (0421) 3 69 03-48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.