

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Straßenbau Heft S 51

bast

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien

von

Stephan Killing
Volker Hirsch

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 51

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, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt AP 04.362:
Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien

Herausgeber

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

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-86509-718-7

Bergisch Gladbach, Juli 2007

Kurzfassung - Abstract

Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien

In der Praxis wird immer wieder von abgelösten gelben Markierungsfolien in Baustellenbereichen berichtet. Diese Markierungen müssen die Kennzeichnung der vorübergehend geänderten Verkehrsumleitung sicherstellen und sind ein wichtiges Element zur Verkehrssicherung. Sind sie nicht vorhanden, erhöht sich die Unfallwahrscheinlichkeit in diesem ohnehin besonders gefährdeten Bereich signifikant. Gelöste Folien gefährden den laufenden Verkehr noch zusätzlich.

Ziel des Projektes war es, ein geeignetes Verfahren zur Ermittlung der Haftkräfte von Straßenmarkierungsfolien für den temporären Einsatz zu entwickeln. Aus grundsätzlichen Überlegungen wurde der 90° - Abschälversuch ausgewählt. Als Bewertungsmaßstab zur Eignung des Prüfverfahrens wurde die Differenzierbarkeit und Interpretierbarkeit des Haftverhaltens der Folien auf den unterschiedlichen Untergründen herangezogen.

Diese wurden auf einer Betontextur, einem SMA 0/8, einem Gussasphaltprobekörper der Rundlaufprüfanlage und einer Aluminiumplatte appliziert um ihren Widerstand gegen einwirkende Abschälkräfte und ihre Abschälcharakteristik zu ermitteln. Zusätzlich wurde noch ein breites Klarsichtklebeband als Vergleich appliziert. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte im Kraft-Weg-Diagramm.

Korrelationen zwischen dem Folienaufbau und den ermittelten Ergebnissen auf den unterschiedlichen Haftuntergründen wurden hergestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen belegen, dass der 90° - Abschälversuch geeignet ist, differenzierte Aussagen zum Haftverhalten von Straßenmarkierungsfolien auf verschiedenen Untergründen zu erhalten.

So konnte nachgewiesen werden, dass die zur Verfügung stehende Kontaktfläche, die Oberflächentextur der verwendeten Haftuntergründe und die Konstruktion der Markierungsfolie maßgeblichen Einfluss auf das Haftverhalten haben. Unterschiede der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Kontaktflächen haben auf das Haftvermögen der Folien auf den Untergründen einen untergeordneten Einfluss.

Aus den Messergebnissen kann gefolgert werden, dass nicht jede Straßenmarkierungsfolie für die Applikation auf allen untersuchten Fahrbahnbelägen gleichermaßen geeignet ist.

Der Einfluss in der Praxis kritischer Parameter, wie Feuchte und Verschmutzung, sollen in weiteren Messungen untersucht werden.

Abstract

Development of a testing procedure to determine the adhesive strength of road marking foils

Yellow marking foils that peel off are reported time and again on sites in practice. These markings must ensure the marking of temporarily changed road detours and are an important part of road safety. If they are not there, the probability of accidents increases significantly in this area, that is at risk anyway. Foils that peel off pose an additional risk to flowing traffic.

The objective of the project was to develop a suitable procedure for determining the adhesive strengths of road marking foils used temporarily. Based on basic considerations, the 90° - peeling test was selected. The capacity for differentiating and interpreting the adhesive behaviour of the foils on various bases was applied as an evaluation yardstick for the suitability of the testing procedure.

These were applied on a concrete SMA 0/8 texture, a mastic asphalt specimen from the concentric testing unit and an aluminium plate to determine their resistance against influencing peeling forces and their peeling characteristics. A broad transparent adhesive tape was additionally applied for comparison. The representation of the results followed in a force-deflection graph.

Correlations between the foil structure and the results determined on the various adhesive bases were produced.

The results of the investigations prove that the 90° - peeling test is suitable for obtaining differentiated statements on the adhesive behaviour of road marking foils on various bases.

It could thus be proven that the contact surface made available, the surface texture of the adhesive bases used and the design of the marking foil have a considerable influence on adhesive behaviour. Differences in the chemical-physical properties of the contact surfaces have less influence on the adhesive capacity of the foils on bases.

It can be concluded from the measurement results that not every road marking foil is suitable for application on all the road surfaces examined.

The influence, in practice, of critical parameters such as moisture and contamination, will be investigated in further assessments.

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG	6
2	ZIELSETZUNG	7
3	GRUNDLAGEN	7
3.1	Markierungsfolien	7
	3.1.1 Dauerhaft applizierte Markierungsfolien	7
	3.1.2 Vorübergehend applizierte Markierungsfolien	8
3.2	Technische Regelwerke	
3.3	Eignungs- und Urmusterprüfung von Markierungsfolien bei der BASt	9
	3.3.1 Urmusterprüfung von Straßenmarkierungsfolien	10
3.4	Vorüberlegungen und Konzeption	10
3.5	Prüfgerät und Prüfparameter	14
3.6	Haftuntergründe	19
	3.6.1 Aluminiumplatte	20
	3.6.2 Waschbetonplatte	21
	3.6.3 Splittmastixasphalt	22
	3.6.4 Probekörper der Rundlaufprüfanlage	23
3.7	Untersuchte Folien und Applikation	24
	3.7.1 Transparentes Klebeband	24
	3.7.2 Markierungsfolie A	24
	3.7.3 Markierungsfolie B	27
	3.7.4 Markierungsfolie C	28
4	ERGEBNISSE DER ABSCHÄLVERSUCHE	30
4.1	Haftung auf der Aluminiumplatte	30
4.2	Haftung auf Waschbeton	38
4.3	Haftung auf Splittmastixasphalt	43
4.4	Haftung auf dem Probekörper der Rundlaufprüfanlage	47
5	ZUSAMMENFASSUNG	51
6	LITERATUR	54
	ANHANG	

1 Veranlassung

Die Bundesanstalt für Straßenwesen prüft im Rahmen der Eignungsprüfung von Fahrbahnmarkierungssystemen Straßenmarkierungsfolien (Markierungsfolien, Fahrbahnmarkierungsfolien, Folien). Die Anforderungen an diese Markierungssysteme sind in nationalen und internationalen Regelwerken festgelegt. Bei Erfüllung der Voraussetzungen erstellt die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein Prüfzeugnis. Die Ausstellung dieses Prüfzeugnisses eröffnet in der Regel erst den Marktzugang in Deutschland.

Markierungsfolien gehören zur Gruppe der vorgefertigten Markierungssysteme und werden in Deutschland vorwiegend als vorübergehende, gelbe Markierungen in Baustellenbereichen eingesetzt. In diesen Abschnitten sollen sie die Verkehrsteilnehmer auf eine vorübergehend abweichende Verkehrsführung (z.B. Verschwenkungen) aufmerksam machen.

Diese Aufgabe stellt hohe Anforderungen an die Qualität der Markierungsfolien und ihre Applikation, da in diesen Bereiche ein stark erhöhtes Unfallrisiko herrscht.

Um diese Aufgabe erfüllen zu können, ist es notwendig, die Sichtbarkeit der vorübergehenden Markierung dominant oder zumindest gleichwertig zu einer bereits vorhandenen, dauerhaften Markierung auszuführen. Insbesondere bei Nacht ist die gute Sichtbarkeit von zentraler Bedeutung.

Die Sicherstellung dieser Funktion bedingt naturgemäß einen dauerhaften Haftverbund mit der Fahrbahntextur für die Dauer der Baumaßnahme. Darüber hinaus muss die vorübergehende Markierung aber auch wieder leicht entfernt werden können, wenn die Baumaßnahme beendet ist.

In der alltäglichen Praxis kommt es jedoch immer wieder vor, dass die Markierungsfolien sich vom Untergrund ablösen und so ihre wichtige Aufgabe nicht mehr erfüllen können.

Neben der nicht mehr gegebenen Führungsfunktion können Verkehrsteilnehmer durch umherfliegende Markierungsfolien gefährdet oder durch Wiederanhaftung an falscher Stelle irritiert werden. Die erneute Markierungsapplikation birgt erhebliche Zusatzrisiken für die Verkehrsteilnehmer und das Applikationspersonal und führt zu weiteren Verkehrsbehinderungen und erhöhten Kosten.

2 Zielsetzung

Im Rahmen des Projektes werden die Möglichkeiten zur Einführung einer Prüfmethode zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien auf Basis einer Zugprüfung ermittelt.

Dabei galt es eine vorhandene Prüfapparatur zu modifizieren. Anhand drei verschieden aufgebauter Straßenmarkierungsfolien für den vorübergehenden Einsatz, werden die Hafteigenschaften auf simulierten Fahrbahntexturen untersucht.

Diese wurden mit einer handelsüblichen Applizierwalze auf vier verschiedenen Untergründen appliziert. Die Prüfparameter werden so gewählt, dass die Ergebnisse es ermöglichen, verschiedenartige Straßenmarkierungsfolien zu unterscheiden und hinsichtlich ihrer Hafteigenschaften auf unterschiedlich strukturierten Untergründen zu beurteilen.

3 Grundlagen

3.1 Markierungsfolien

Straßenmarkierungsfolien als vorgefertigte Markierungssysteme sind im temporären Einsatz weit verbreitet. Ihr Vorteil liegt in der relativ einfachen und schnell durchzuführenden Demarkierbarkeit durch Abziehen mit oder ohne Erwärmen ohne die Fahrbahntextur zu beschädigen. Durch die vorgefertigte Oberfläche der Folien sind deren verkehrstechnischen Eigenschaften weitgehend unabhängig vom Fahrbahnuntergrund.

3.1.1 Dauerhaft applizierte Markierungsfolien

Neben den im Rahmen dieses Projektes geprüften temporär applizierten Straßenmarkierungsfolien werden inzwischen auch dauerhaft applizierte Folientypen verwendet. Diese müssen in Deutschland weiß sein und unterliegen den gleichen Anforderungen wie nicht vorgefertigte Markierungssysteme wie Farben, Reaktivsysteme und Thermoplastiken.

Dauerhaft applizierte Straßenmarkierungsfolien können als Typ I – oder Typ II - Markierungssystem hergestellt werden (Standard– oder erhöhte Anforderungen an die Nachtsichtbarkeit bei Nässe). Durch die ab Werk definierte Oberfläche ist dieser Folientyp, ausgeführt als Typ II – System (erhöhte Anforderungen an die Nachtsichtbarkeit bei Nässe) besonders geeignet.

In der Regel müssen Straßenmarkierungssysteme mit hohen Anforderungen an die Nachsichtbarkeit bei Nässe eine besonders strukturierte Oberfläche oder größere Reflexkörper aufweisen. Bei der Applikation von Markierungsfolien bleiben diese Strukturen, weitgehend unabhängig von der Fahrbahntextur, vollständig erhalten.

3.1.2 Vorübergehend applizierte Markierungsfolien

Vorübergehend applizierte Markierungsfolien müssen in Deutschland gelb sein. Die Sichtbarkeit dieser Systeme, insbesondere die Nachtsichtbarkeit bei Nässe, muss jederzeit größer sein als die eines gegebenenfalls vorort applizierten Dauermarkierungssystems.

Daher sind in Deutschland nur Typ II – Systeme zulässig in Bereichen, in denen bereits ein Dauermarkierungssystem appliziert wurde.

3.2 Technische Regelwerke

Die Anforderungen an Straßenmarkierungsfolien sind die gleichen wie für nicht vorgefertigte und sind in den nationalen Regelwerken TL-M („Technische Lieferbedingungen für Markierungsstoffe“) [1] und ZTV-M („Zusätzliche technische Vertragsbedingungen“) [2] geregelt.

In internationalen Regelwerken finden sich Anforderungen in der DIN EN 1436 („Anforderungen an Markierungen auf Straßen“) [3] und DIN EN 1871 („Physikalische Eigenschaften im Labor“) [4].

Spezielle Anforderungen an vorübergehend applizierte Markierungssysteme sind in der DIN EN 1790, („Vorübergehende Markierungen“) [5] beschrieben.

Zukünftig werden die Prüfmethode für Straßenmarkierungssysteme in Deutschland in der TP- M („Technische Prüfbedingungen für Straßenmarkierungsmaterialien“) [6] beschrieben. Spezielle Anforderungen und Prüfmethode für adhäsive Eigenschaften der Straßenmarkierungsfolien auf dem zu markierenden Untergrund sind jedoch bisher in keinem Regelwerk festgelegt.

3.3 Eignungs- und Urmusterprüfung von Markierungsfolien bei der BASt

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) prüft seit vielen Jahren die Eignung von Straßenmarkierungssystemen.

Hersteller und Vertreiber von solchen Systemen beantragen bei der BASt die Eignungsprüfung und erhalten nach dem erfolgreichen Durchlaufen eines zweistufigen Prüfprozesses Prüfzeugnisse für ihr Produkt.

Für die öffentlichen Auftraggeber bedeutet diese Prüfung die Sicherheit der Einhaltung standardisierter Eigenschaften. Die Einhaltung dieser Eigenschaften hängt in der Praxis zusätzlich von den Applikationsbedingungen und der Einhaltung der Herstellervorschriften ab.

Straßenmarkierungsfolien werden bei der BASt, wie andere Markierungssysteme auch, unter „Laborbedingungen“ geprüft. Ihre Eigenschaften hinsichtlich des Verschleißes, der Griffbarkeit, der Tages- und Nachtsichtbarkeit werden unter simulierter Verkehrsbelastung auf einer Rundlaufprüfanlage (RPA) ermittelt. Dabei werden die Straßenmarkierungsfolien gemäss der beantragten Verkehrsklasse mit den entsprechenden Reifenüberrollungen belastet. Nach einer festgelegten Überrollungszahl erfolgt die Messung der verkehrstechnischen Eigenschaften. Diese müssen während des gesamten Prüfzyklus der beantragten Verkehrsklasse entsprechen.

Nach erfolgreichem Durchlaufen dieser ersten Prüfstufe erfolgt eine Urmusterprüfung der Markierungssysteme. Diese dient der Ermittlung physikalisch-chemischer Kenndaten um ein eignungsgeprüftes Markierungssystem jederzeit wiedererkennen zu können.

Diese zweistufige Prüfverfahren dient der Sicherstellung, dass nur geeignete Straßenmarkierungssysteme zur Anwendung kommen.

3.3.1 Urmusterprüfung von Straßenmarkierungsfolien

Das Referat S6 („Chemische Grundlagen, Umweltschutz und Labordienst“) der BAST hat ein Prüfsystem für Straßenmarkierungsfolien entwickelt.

Die Urmusterprüfung von Markierungsfolien bei der BAST ist seitdem ein integraler Bestandteil des Eignungsprüfungsprozesses. Dieses System beinhaltet folgende Prüfschritte:

- Fotografie der Folientextur
- Fotografie der Folienunterseite einschließlich eingelegter Gewebe / Trägerfolien
- Bestimmung von Breite und Dicke der Folien
- Thermogravimetrische Analyse [7] der Folie, möglichst ohne Nachstreumittel
- Infrarotspektroskopische Untersuchung [7] der anorganischen Rückstände aus der Thermogravimetrie
- Infrarotspektroskopische Untersuchung [7] des Klebers auf der Folienunterseite mittels ATR¹-Technik

Dieses System ist bereits seit Jahren im erfolgreichen Einsatz und wird bei der Veröffentlichung der TP-M berücksichtigt.

3.4 Vorüberlegungen und Konzeption

Die Applikation der Straßenmarkierungssysteme im Rahmen der RPA - Prüfung erfolgt auf einem Prüfkörper aus feinkörnigem Gussasphalt mit makroskopisch glattflächiger, geschlossener und homogener Oberfläche. Der Hauptaspekt bei der Auswahl dieser Oberfläche liegt auf der Reproduzierbarkeit von Prüfergebnissen bei der Verwendung einer bituminösen Oberfläche.

¹ Attenuated Total Reflection: Die Folie wird auf einen Kristall aufgeklebt und durch diesen mit infrarotem Licht bestrahlt. Aus den Absorptionen und Abschwächungen lassen sich Rückschlüsse auf die Zusammensetzung ziehen.

Einflussfaktoren für die Haftung

Die Kontaktfläche für die Haftung der Straßenmarkierungsfolie beschränkt sich, im Gegensatz zu den nichtvorgefertigten flüssigen Markierungssystemen, auf die tatsächliche Fahrbahntextur. Zusätzliche Haftung durch weitere Kontaktflächen in Hohlräumen der Fahrbahntextur ist nicht möglich.

Tatsächlich ist eine Fahrbahntextur als Haftgrund für Straßenmarkierungsfolien inhomogen. Im Idealfall wäre die Haftung nur von der Kontaktfläche und der Affinität des Klebers zum Haftgrund abhängig. Häufig werden daher als Haftvermittler Primer, bituminöse Massen oder zusätzliche Kleber vor der Markierungsfolie appliziert.

Im Wesentlichen beeinflussen die in Tabelle 1 aufgeführten Faktoren die Haftung der Straßenmarkierungsfolien auf dem Untergrund.

Tabelle 1:

Beeinflussende Faktoren durch die Folienkonstruktion
Viskosität des Folienklebers
Deformierbarkeit der Folie / - des Folienträgers
Dicke der Kleberschicht
Folienaufbau / Foliendicke / Flexibilität der Folie
Chemische Struktur des Klebers
Beeinflussende Faktoren am Applikationsort
Feuchtigkeit der Fahrbahntextur
Feuchtigkeit in den Hohlräumen der Fahrbahnoberfläche
Verschmutzung der Fahrbahnoberfläche / Reinigungsschritte
Temperatur
Zusätzlich verwendete Primer, Kleber
Beeinflussende Faktoren im Zusammenspiel Folie - Fahrbahn
Affinität zwischen der Klebeschicht der Folie und dem Kontaktmaterial (Gesteinstyp, Bitumen, Primer, zusätzliche Kleber)
Kontaktfläche Markierungsfolie – Fahrbahn
Anpresskraft bei der Applikation

Ursachen für die Ablösung

Die Vielzahl der Einflussfaktoren verdeutlicht die Komplexität der Thematik und die Schwierigkeit, Voraussagen für die Beständigkeit der Klebverbindung einer Straßenmarkierungsfolie in der Praxis zu tätigen. In vielen Fällen wird als Ursache für die Ablösung von Straßenmarkierungsfolien Restfeuchte in den Hohlräumen der Fahrbahndecke genannt. Bei Erwärmung kann es zu erhöhtem Wasserdampfdruck unterhalb der Folie und als Folge zur Ablösung kommen. Aus logischen Erwägungen kann darüber hinaus angenommen werden, dass eine Anlösung der Folie im Randbereich durch mechanische Einwirkungen zur weiteren Abschälung von der Fahrbahnoberfläche führen wird. Diese Gefahr besteht insbesondere dann, wenn die Markierungsfolie überfahren wird.

Prüfbedingungen

Um Aussagen zur Haftfestigkeit einzelner Folientypen auf verschiedenen Untergründen gewinnen zu können, müssen möglichst viele der oben genannten Einflussfaktoren im Versuch konstant gehalten werden.

Feuchtigkeit, Verschmutzung und Temperaturwechsel werden als Einflussfaktoren im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt.

Unter den vereinfachten Prüfbedingungen im Labor sind drei wesentliche Einflussfaktoren beim Vergleich der Haftkräfte der geprüften Markierungsfolien zu erwarten:

- Kontaktfläche zum Untergrund
Sie wird beeinflusst von
 - a) der Verformbarkeit der Folie und damit der Möglichkeit, vergrößerte Kontaktflächen unter Einfluss der Anpresskraft zu bilden
 - b) der Dicke und Fließfähigkeit der Kleberschicht um vergrößerte Kontaktflächen durch, unter dem Anpressdruck, fließenden Kleber zu bilden
- Affinität des Klebers zum Untergrund
Sie wird von chemischen Aufbau des Klebers und seiner physikalischen Eigenschaften bestimmt

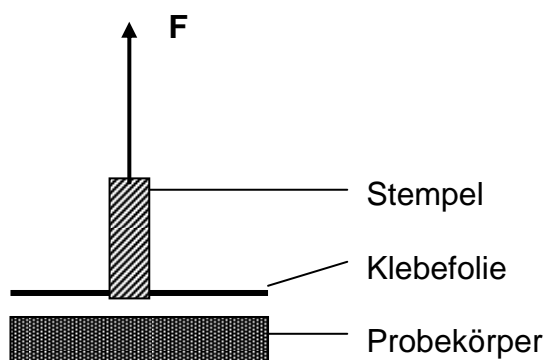
Durch die Festlegung auf bestimmte Kombinationen von Markierungsfolien und Oberflächen unter konstanten klimatischen Bedingungen sollen weitere Einflussfaktoren minimiert werden. Da für die Haftung in der Praxis kritische Parameter bereits durch die Laborbedingungen eliminiert werden, wurden Haftvermittler nicht in die Prüfung einbezogen. Die verwendeten Prüfkörper sind realen Fahrbahnoberflächen nachempfunden um praxisnahe Aussagen zu erhalten.

Prüfmethoden

Als Prüfmethode zur Ermittlung der Haftkraft von Klebefolien kommen mehrere Verfahren in Frage.

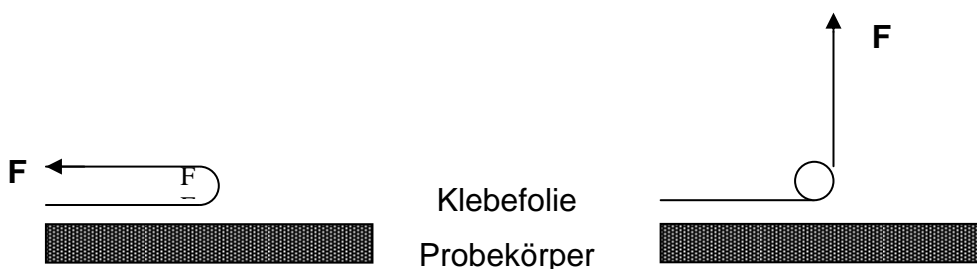
Beim *Abzugsversuch* wird die Haftkraft durch Aufkleben eines Stempels auf die Klebefolien und Abzug senkrecht zur Oberfläche ermittelt.

Bild 1: Prinzip des Abzugsversuches



Bei den *Abschälverfahren* werden die Folien aufgeklebt, deren Enden in einer Vorrichtung eingespannt und im Winkel von 90° oder 180° zur Folienoberfläche abgeschält.

Bild 2: Prinzip des 180° - und 90° - Abschälversuchs



Auswahl des Prüfverfahrens

Der Abzugsversuch (Bild 1) liefert entsprechend der Stempelfläche örtlich begrenzte Messwerte der Abzugskraft. Aufgrund der durch textile Gewebeeinlagen auf der Unterseite einiger Straßenmarkierungsfolien zu erwartenden Inhomogenitäten kommt diese Versuchsanordnung nicht in Frage.

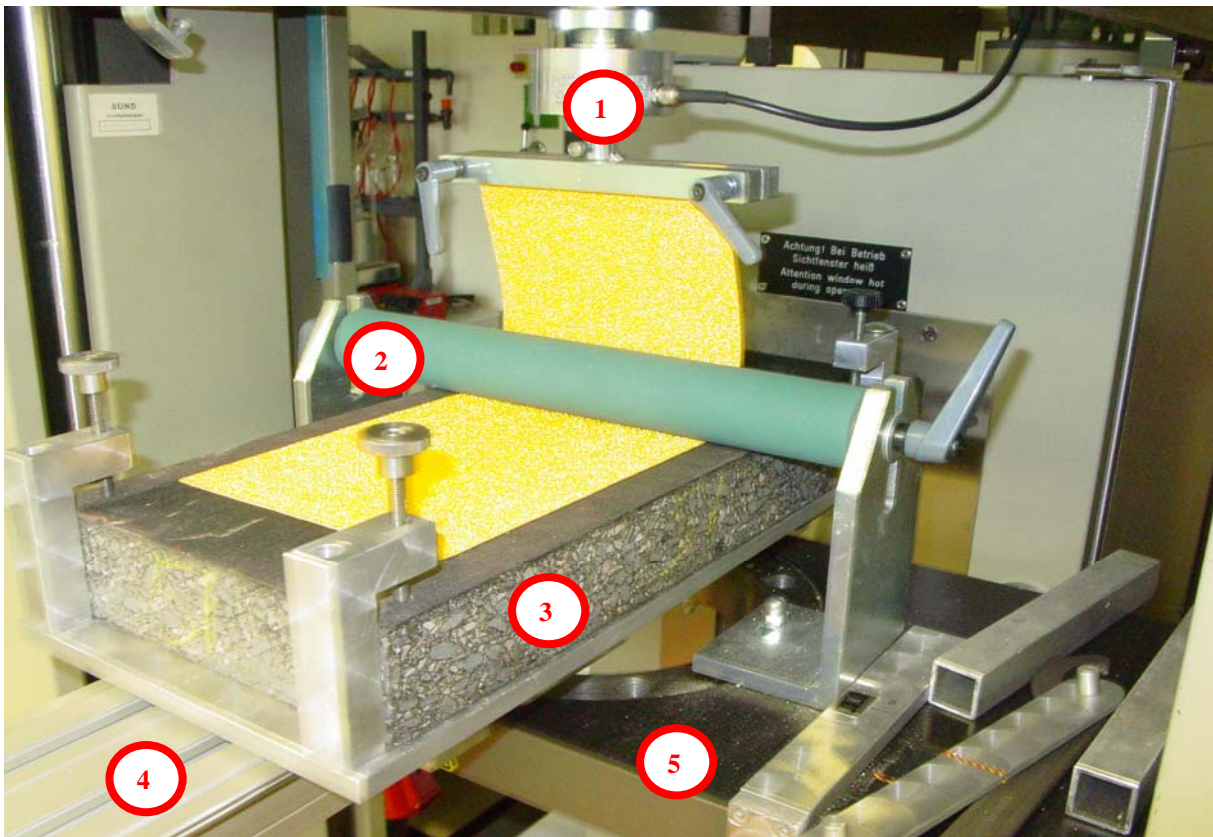
Die Abschälversuche (Bild 2) erlauben es, den Verlauf der Enthftung einer Klebefolie über die gesamte Folienbreite und eine definierbare Messstrecke zu ermitteln. Beim 180°-Versuch besteht die Gefahr, dass durch Reibung der Markierungsfolienoberflächen Messwertverfälschungen auftreten. Durch die gezielt hergestellte hohe Rauigkeit von Straßenmarkierungsfolien erscheint diese Anordnung ebenfalls ungeeignet.

Aus diesem Grund wird der 90°- Abschälversuch gewählt. Bei dieser Versuchsanordnung wird die zu prüfende Markierungsfolien auf einen rechteckigen Probekörper aufgeklebt und über eine gummierte Umlenkrolle 90° zur Oberfläche abgezogen. Diese Verfahren sind genormt und in der DIN ISO 813 [8] beschrieben.

3.5 Prüfgerät und Prüfparameter

Zur Durchführung der Versuche wird eine Universal-Zugmaschine vom Typ Zwick 1445 genutzt. Die Versuchseinrichtung wurde modernisiert und in Zusammenarbeit mit dem Referat Z 4 eine geeignete Probenhalterung gebaut und montiert. Diese Probenhalterung ermöglicht es, Prüfkörper unterschiedlicher Größe einzuspannen. Um den Abschälwinkel der Folie zur Probekörperoberfläche während des Versuchs jederzeit konstant zu halten, muss die Folie durch einen beweglichen Schlitten beim Abziehen mitgeführt werden. Eine Umlenkrolle stellt sicher, dass die Folie senkrecht zur Probekörperoberfläche abgezogen wird. Die Geräteparameter werden so eingestellt, dass anhand der über die Wegstecke aufgezeichneten Ablösekräfte Charakteristiken der Markierungsfolien untersucht werden können.

Bild 3: Markierungsfolie während des 90° - Abschälversuchs



- 1 Kraftmessdose mit oberer Probenklemme
- 2 Gummierte Umlenkrolle
- 3 Prüfkörper (Fahrbahnoberfläche, hier RPA-Prüfkörper) auf dem Prüfschlitten
- 4 Schlittenführung
- 5 Untere, bewegliche Traverse der Zugmaschine

Zugprüfung des leeren Prüfschlittens

Die Konstruktion des Prüfschlittens der Abschälvorrichtung ist mithilfe sehr reibungsarmer Lager auf sogenannten „Boschprofilen“ realisiert. Dennoch sind Verluste durch Reibung an Lagern, Achsen und Widerstände durch die aufgelegten Gewichtskräfte unvermeidbar.

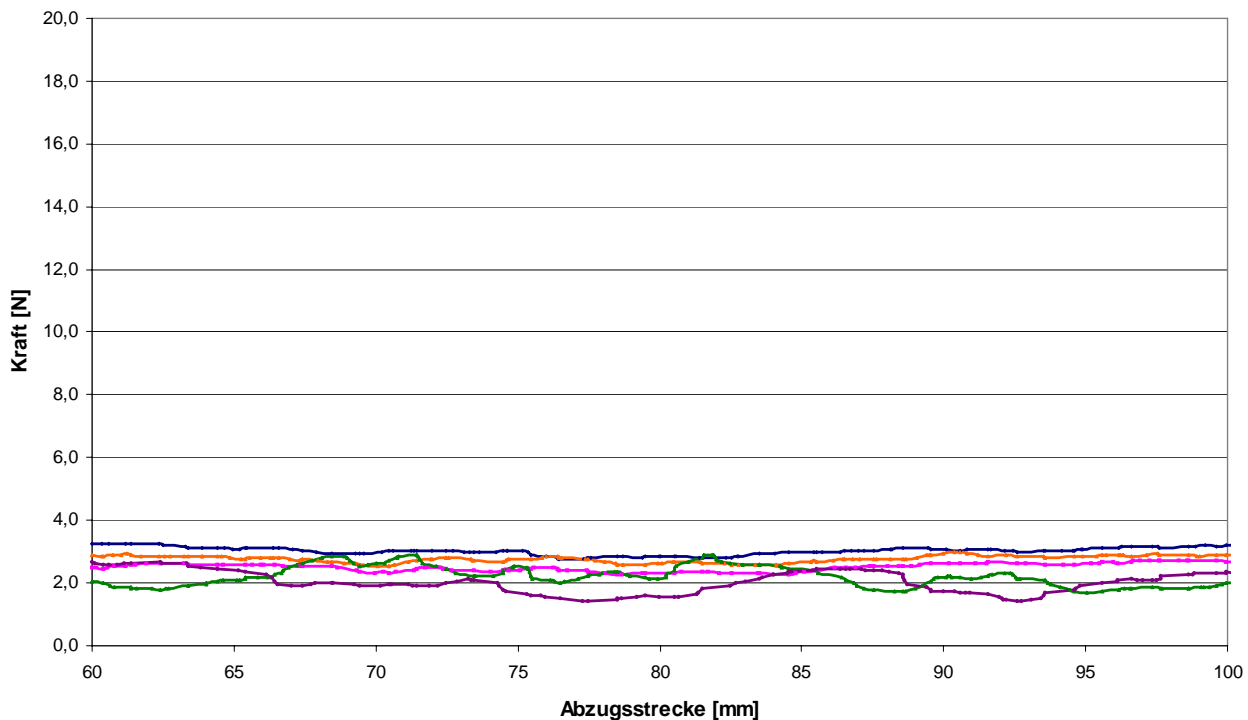
Jede Messung der Abschälkräfte der Markierungsfolien beinhaltet folglich eine Kraftkomponente, die den Lagerwiderständen entspricht.

Zur Ermittlung des Zugwiderstandes der Prüfvorrichtung wird die Aluminiumplatte (Kapitel 3.6.1) in die Halterung gelegt und festgespannt. Das hintere Ende des Prüfschlittens wird mit einem Faden über die Umlenkrolle mit der oberen Klemmenhalterung verbunden. Der Faden wird am Prüfschlitten befestigt und auf Höhe der Prüfkörperoberfläche geführt um den Abschälwinkel analog zur Folienprüfung einzuhalten.

Die Messungen zeigen, dass der Zugwiderstand des Prüfschlittens im Durchschnitt bei 2,5 Newton lag und im ausgewerteten Prüfstreckenbereich von 60 – 100 mm nahezu konstant ist (Bild 4). Bei genauer Beobachtung ist zu erkennen, dass der Prüfschlitten durch Losbrechmomente der Lagerung kleine Ruckbewegungen ausführt, die als Unstetigkeiten in den Diagrammen zu erkennen sind.

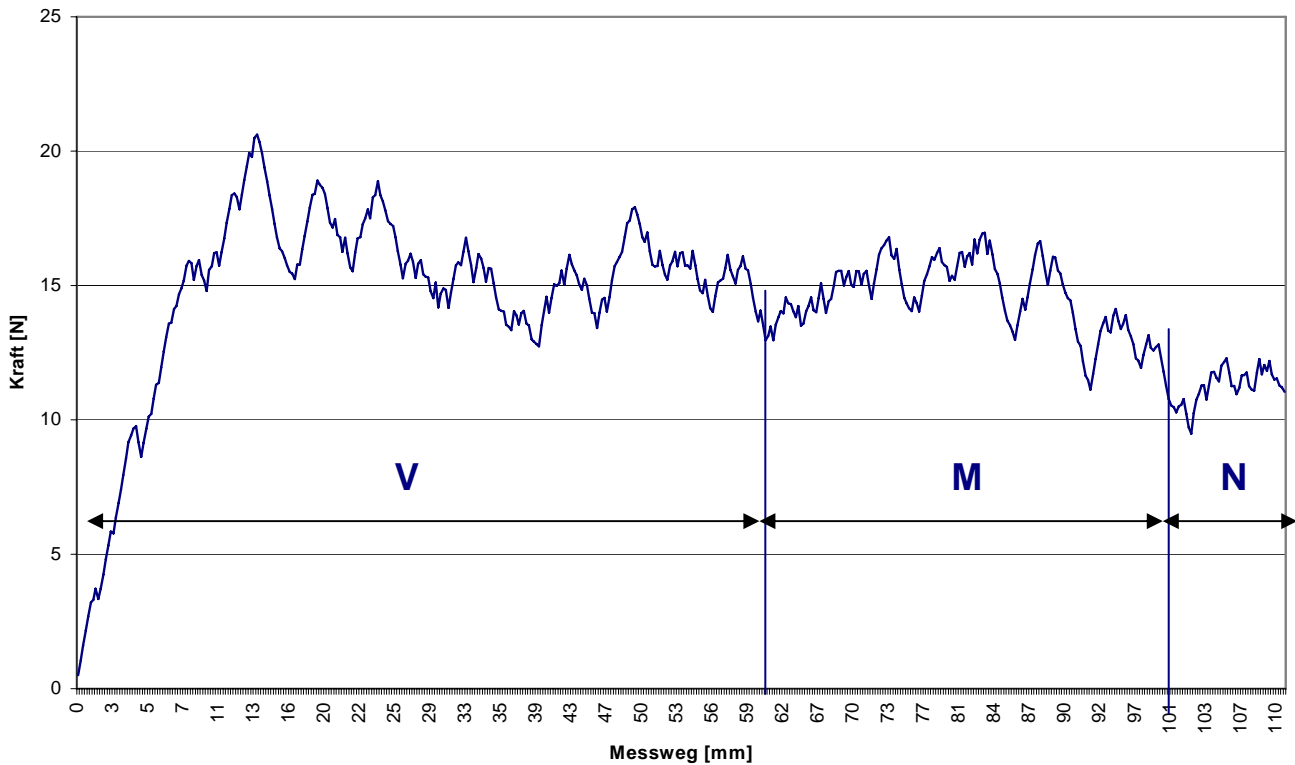
Bild 4:

**Reibungswiderstand des Prüfschlittens
(Zugversuch der leeren Aluminium-Prüfplatte)**



Die zurückgelegte Wegstrecke entspricht dem Fahrweg der beweglichen Traverse. Die Kraft zum Abziehen der Folie wird von einer 200 Newton – Messdose erfasst. Die wesentlichen, einstellbaren Prüfparameter sind in Bild 5 dargestellt:

Bild 5: Beispiel eines 90° - Abschälversuchs



V = Vorweg: Anfangsweg ohne Ergebnisauswertung

Vorweggeschwindigkeit

M = Messweg: ausgewertete Prüfstrecke

Messweggeschwindigkeit

N = Nachweg: Endweg ohne Ergebnisauswertung

Nachweggeschwindigkeit

Die Einspannlänge (Abstand der Probekörperoberfläche zur Einspannvorrichtung) wird so gewählt, dass der Messweg im mittleren Bereich des Probekörpers liegt. Der Vorweg wird als Einregelstrecke ausgelegt um Losbrechmomente und Lagerwiderstände des Prüfschlittens nicht mitzuerfassen. Die Geschwindigkeit wird so gewählt, dass der Prüfschlitten möglichst gleichmäßig gezogen und die Ablösung der Markierungsfolie vom Probekörper beobachtet wird. Am Ende der Messstrecke wurde noch ein kurzer Nachweg gefahren. Dieser Prüfablauf gewährleistet die bestmögliche Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Tabelle 2: Maschinenparameter:

Messphase	Weglänge [mm]	Zuggeschwindigkeit [mm/min]
Vorwegstrecke	60	80
Messstrecke	40	80
Nachwegstrecke	20	20

Die ausgewählten Markierungsfolien werden bereits vor Beginn der Prüfung mindestens einen Tag im normklimatisierten Labor gelagert. Unmittelbar vor der Prüfung werden von den Folienrollen Stücke in der Länge der Probekörper abgeschnitten. Um möglichst den gleichen Oberflächenbereich des Prüfkörpers als Haftgrundlage zu prüfen, werden die Folien immer auf den gleichen Stellen des Probekörpers appliziert. Anschließend werden die Prüfkörper auf dem Prüfschlitten festgeklemmt (Bild 1) und die Markierungsfolie in die obere Folienklemme eingespannt. Die Prüfkörper werden immer in der selben Orientierung eingelegt und gegen die Aufwalzrichtung abgezogen.

Die Erfassung der Ergebnisse der Abschälprüfungen von Markierungsfolien erfolgt mit Software „TestXpert“ der Firma Zwick in der Version 11. Die Ergebnisdarstellung erfolgt im Kraft-Weg-Diagramm. Im Anhang wird ein Originalausdruck eines Prüfprotokolls exemplarisch angefügt. Zur verbesserten Darstellbarkeit werden die Wertepaare im Messstreckenbereich von 60 bis 100 mm in Exceldaten konvertiert und grafisch dargestellt.

3.6 Haftuntergründe

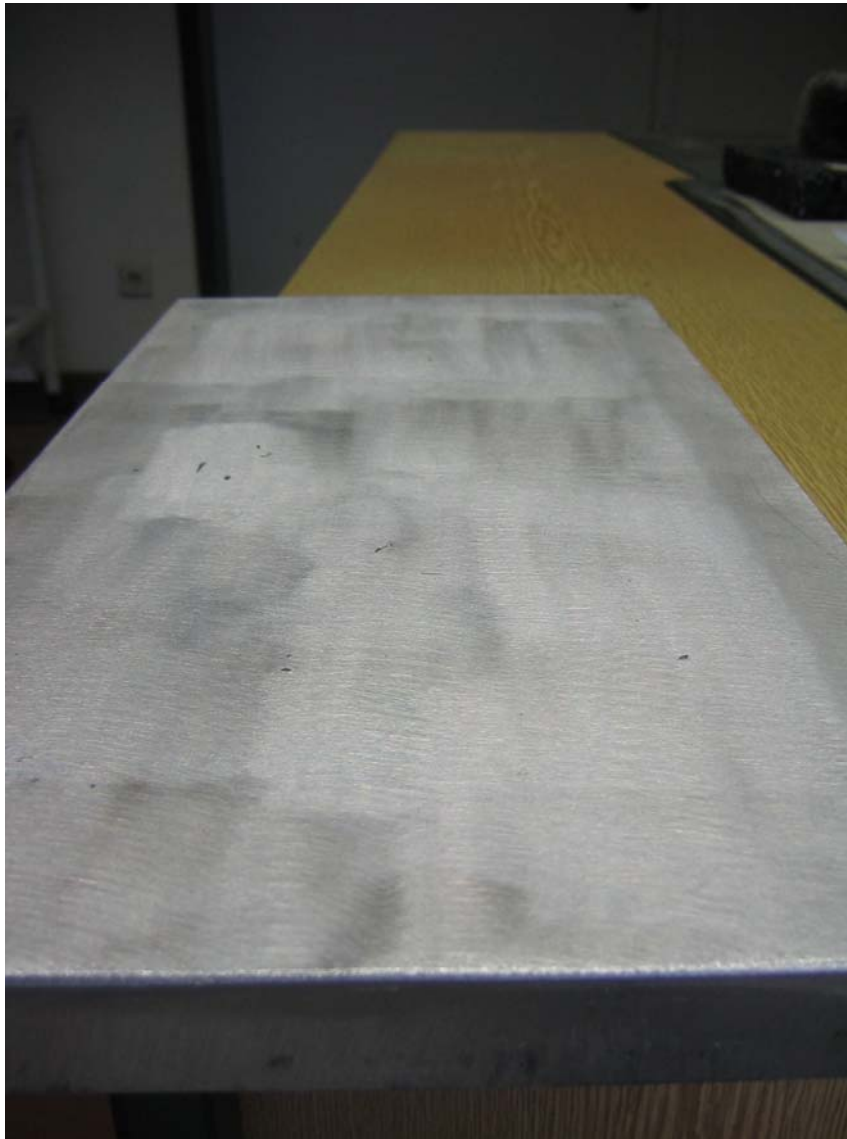
Die Prüfkörper, welche als Haftuntergründe die verschiedenen Fahrbahndeckschichten praxisnah simulieren, wurden gereinigt und im klimatisierten Labor trocken gelagert.

Als Referenzprüfkörper dient eine Aluminiumplatte, die allen Markierungsfolien optimale Haftbedingungen liefert. Als bituminöse Untergründe wird der Prüfkörper der Rundlaufprüfanlage und eine Spurbildungsplatte aus SMA 0/8 S gewählt. Zusätzlich wird noch eine Waschbetonplatte als Fahrbahnbelag verwendet.

3.6.1 Aluminiumplatte

Als Vergleichsprobekörper wird eine Aluminiumplatte eingesetzt. Sie besitzt, im Vergleich zu den bituminösen Deckschichten, eine sehr polare, glatte Oberfläche.

Bild 5: Probekörper aus Aluminium



3.6.2 Waschbetonplatte

Zur Simulation einer Fahrbahndecke aus Waschbeton wird der Typ 0/8 (A9) gewählt und mit einem Besenstrich längs versehen. Die so erzeugte Oberfläche weist, im Vergleich zu den anderen Probekörpern, die höchste Rauigkeit auf. Sie wird mit einer harten Bürste staubfrei gebürstet.

Tabelle 3: Zusammensetzung des Betons

Komponente	Gehalt [%]
Zement CEM I 32,5 R	18,8
Wasser	7,5
Sand 0/2	24,7
Splitt 5/8	49,0

Bild 6: Probekörper aus Waschbeton



3.6.3 Splittmastixasphalt

Als typischer Asphaltdeckenbelag wird ein Prüfkörper aus Splittmastixasphalt (SMA) 0/8 S eingesetzt. Als Bindemittel dient ein handelsübliches Destillationsbitumen 50/70. Als Gestein wird Basalt gewählt. Beides wird bei 160°C gemischt.

Tabelle 4: Zusammensetzung des SMA 0/8 S

Komponente	Gehalt [%]
Basalt 0/2 (Brechsand)	11,9
Basalt 2/5	12,6
Basalt 5/8	63,9
Füller (< 0,09)	11,4
Bitumen 50/70	+ 7,2 zur Mischung

Um eine bereits unter Verkehr belastete Fahrbahndecke zu simulieren, wird das Bitumen auf der Oberfläche des Prüfkörpers mit Waschbenzin durch Abwischen entfernt.

Bild 7: Probekörper aus SMA 0/8 S



3.6.4 Probekörper der Rundlaufprüfanlage

Alle bei der BAST geprüften Straßenmarkierungssysteme werden bisher auf einer Spezialprüfplatte appliziert, die eine feine, gleichmäßige Gussasphalttextur aufweist.

Diese Oberfläche wird durch Abreiben mit Sand aufgeraut und weist typischerweise eine Rauhtiefe von 0,1 – 0,5 mm auf.

Sie wird vor der ersten Benutzung für Abschälversuche mit Waschbenzin abgerieben um oberflächlich anhaftendes Bitumen und Schmutz zu entfernen.

Bild 8: Probekörper der Rundlaufprüfanlage



3.7 Untersuchte Folien und Applikation

Es wurden drei unterschiedlich aufgebaute, gelbe Markierungsfolien verwendet. Die Applikation erfolgte durch zweimaliges Überrollen in Schrittgeschwindigkeit mit einem sogenannten „Tamper“, einer 100 kg schweren, gummierten Walze. Der Walzendurchmesser beträgt ca. 75 mm.

Das Gerät hat sich bei Applikationen von Straßenmarkierungsfolien in der Praxis weitgehend durchgesetzt. Die Zusammensetzung aller zur Zeit verwendeten Kleber für die Unterseiten der Markierungsfolien werden laut Herstellerangaben auf Acryl – oder Polybutadienbasis hergestellt. Als Referenz wird ein breites, transparentes TESA® verwendet.

3.7.1 Transparentes Klebeband

Um den Einfluss der Prüfapparatur auf das Gesamtergebnis eines Abschälversuchs beurteilen zu können, ist es notwendig eine völlig homogene Klebefolie zum Vergleich abzuziehen. Dazu wird ein 120 mm breites „TESA®“-Klebeband benutzt. Diese Folie besteht aus einem polymeren, transparenten Träger und einer sehr dünnen Klebeschicht. Durch die Transparenz ist es möglich, die blasenfreie Applikation auf den Probekörpern sicherzustellen.

Durch die Kombination dieses Klebebandes auf der Aluminiumplatte wird ein gleichmäßiges Abschälverhalten mit konstanten Ablösekräften erreicht. Dadurch können gerätetechnische Einflüsse auf die Abschälversuche erkannt werden.

3.7.2 Markierungsfolie A

Die Markierungsfolie A wird als Rollenware ohne Schutzfolie auf der Kleberseite geliefert und ist laut Herstellerangaben ein Serienprodukt.

Die Dicke der Markierungsfolie beträgt 1,5 mm, die Breite 152 mm. Auf der Unterseite der Folie ist als Verstärkung ein textiles Gewebe eingearbeitet. Die Maschenweite beträgt 5 x 2,5 mm. Nach dem Entfernen der Kleberschicht mit Cyclohexan, kann man im Mikroskop deutlich die Gewebestruktur erkennen (Bild 9).

Es besteht aus rechteckigen Maschen, deren längere Seite in Folienlängsrichtung ausgerichtet ist. Das Gewebe besteht aus einem Webverbund verschlungener Fäden, die in den Mitten der Maschen einen zusätzlichen Knotenpunkt bilden.

Das Gewebe ist mit der Kleberschicht auf der Unterseite eines elastischen, polymeren Trägers fixiert. Die Kleberschicht ist schwarz und weist Fehlstellen auf, die in Bild 10 gut zu erkennen sind. Der Klebertyp wurde mithilfe der ATR-Infrarotspektroskopie als Polybutadien identifiziert. Auf der Folienoberseite ist eine gelbe Deckschicht aufgebracht in der die Reflexkörper und Griffigkeitsmittel eingebettet sind (Bild 11).

Durch die relativ hohe Dicke des Polymerträgers ist diese Folie vergleichsweise schwer und elastisch.

Bild 9: Unterseite der Folie A (Kleber entfernt)

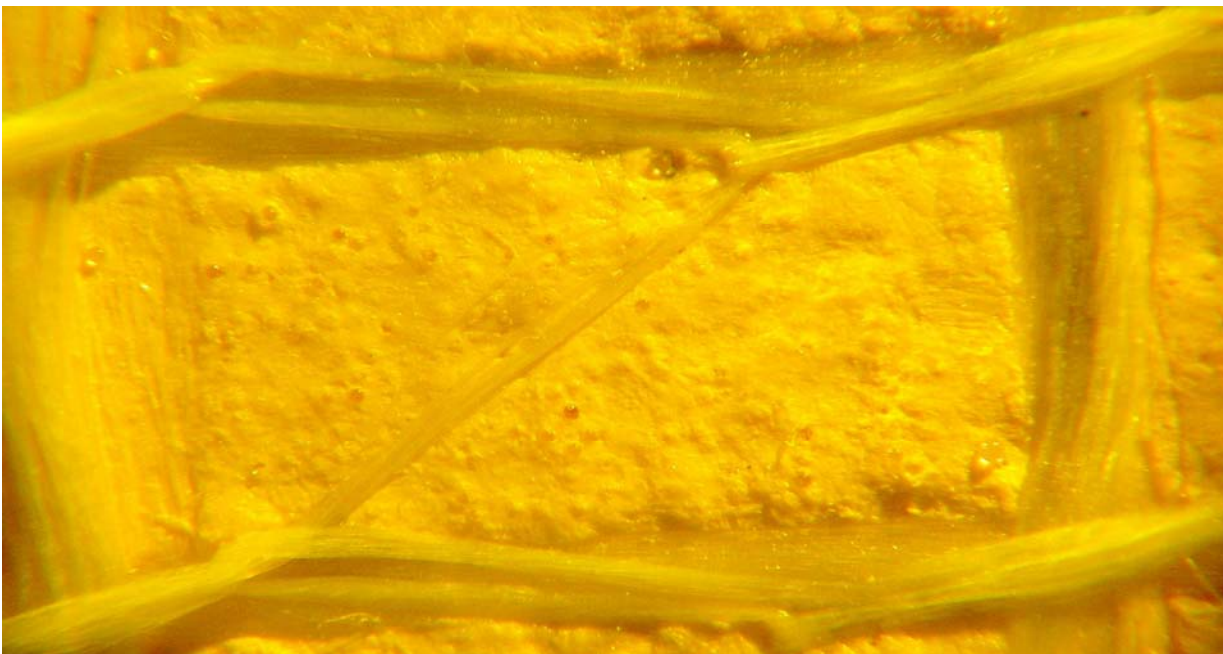
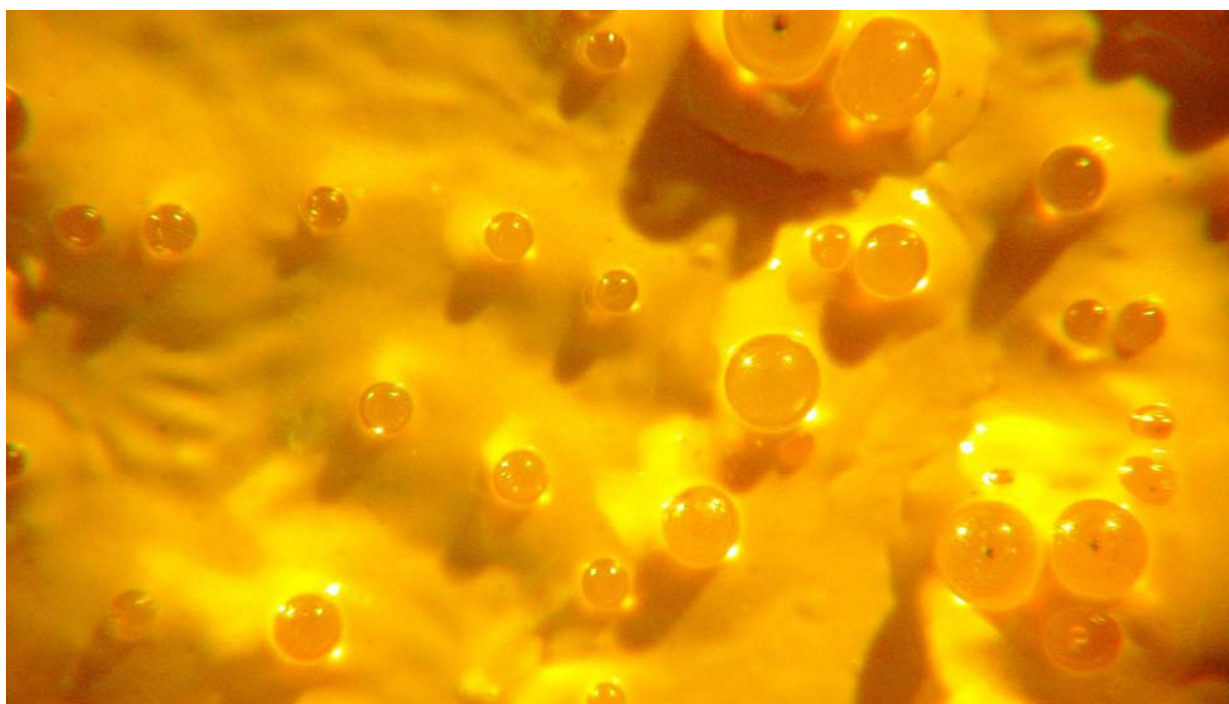


Bild 10: Unterseite der Markierungsfolie A



Bild 11: Oberseite der Folie A mit eingebetteten Nachstreumitteln



3.7.3 Markierungsfolie B

Diese Markierungsfolie wird als Rollenware ohne Schutzfolie auf der Kleberseite geliefert und ist laut Herstellerangaben ein Serienprodukt.

Die Dicke der Markierungsfolie beträgt 1,0 mm, die Breite 150 mm. Der Folienträger ist eine Aluminiumfolie. Auf der Oberseite ist eine gelbe Deckschicht aufgebracht, in der die Reflexkörper und Griffmittelsmittel eingebettet sind. Auf der Unterseite befindet sich die Kleberschicht. In Bild 11 erkennt man den mit transparentem Kleber beschichteten Folienträger. Durch den Produktionsprozess und die Aufwicklung der Folie ist es zu Längsriefen und Eindrücken von großen Reflexperlen in der Trägerfolie gekommen.

Die Folie ist deutlich dünner als Folie A. Ihr Gewicht und die Verformbarkeit der Markierungsfolie wird hauptsächlich von den Eigenschaften des Aluminiumträgers bestimmt. Sie lässt sich einfach verformen und passt sich dem Untergrund an, ihre elastischen Anteile sind jedoch gering ausgeprägt.

Bild 11: Unterseite der Markierungsfolie B



3.7.4 Markierungsfolie C

Dabei handelt es sich um eine gelbe Markierungsfolie mit polymerem Träger. Die Folie wird als Rollenware mit einer Schutzfolie auf der Kleberseite geliefert. Sie ist laut Herstellerangaben ein Versuchsprodukt und befindet sich daher nicht im offiziellen Einsatz. Der Aufbau ähnelt dem der Folie A. Die Markierungsfolie weist eine Dicke von 1,7 mm auf und ist 150 mm breit. Das eingelegte Gewebe hat eine Maschenweite von 3 x 12 mm und ist erhaben (Bild 12). Die Gewebemaschen sind ähnlich der Folie A mit schräg laufenden Fäden durchwoben (Bild 13).

Die Kleberschicht ist farblos, klar, gleichmäßig verteilt und hat keine erkennbaren Fehlstellen. Abweichend zu den bisherigen Kenntnissen über die Zusammensetzung der Klebstoffe für Markierungsfolien wurde mittels ATR – Infrarotspektroskopie ein Polypropylen-Polyethylen-Copolymer identifiziert.

Die Nachstreumittel sind auf der Folienoberseite in der gelben Schicht eingebettet (Bild 14).

Bild 12: Unterseite der Markierungsfolie C

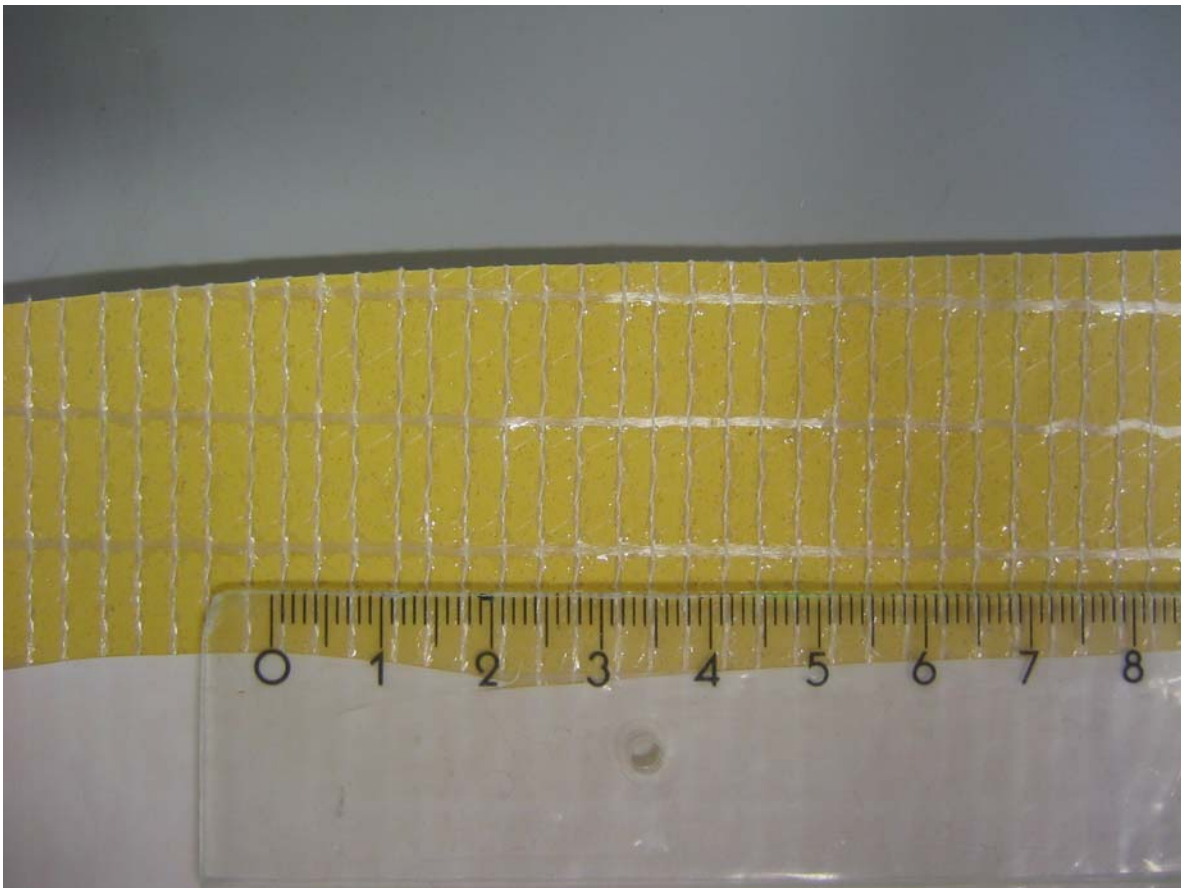


Bild 13: Gewebe der Folie C

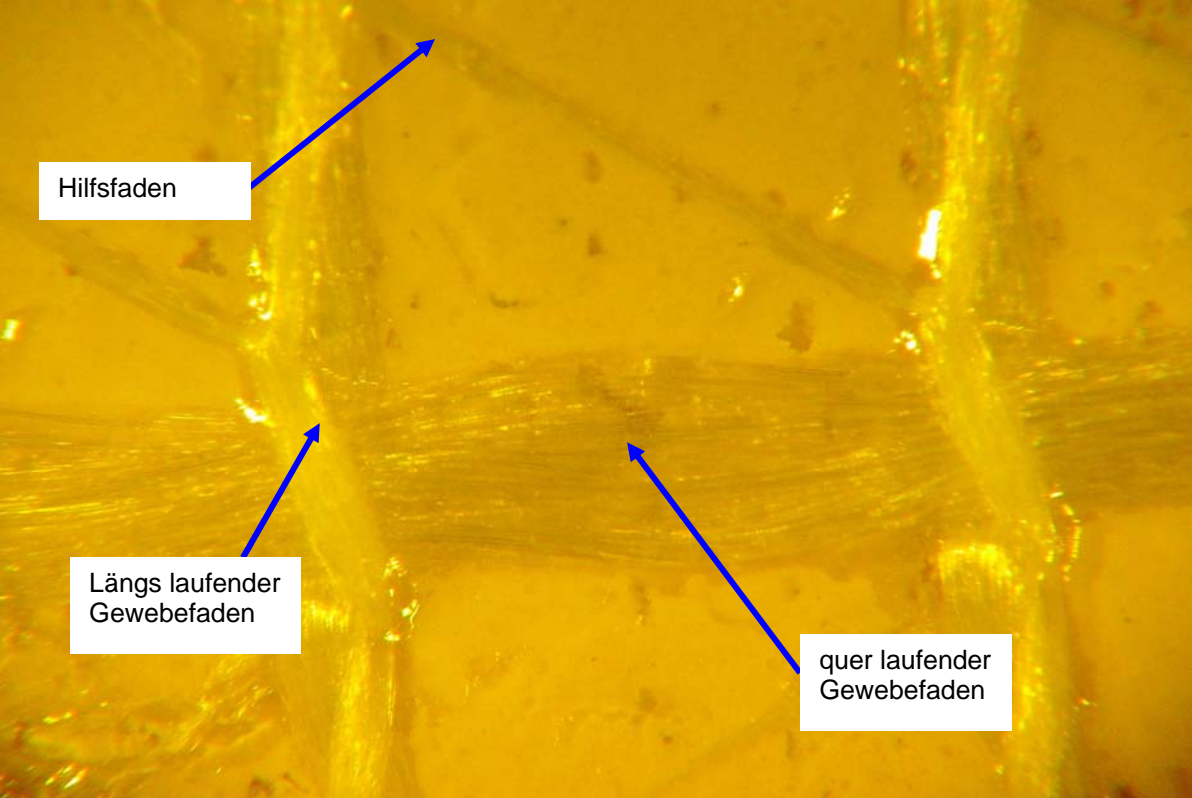
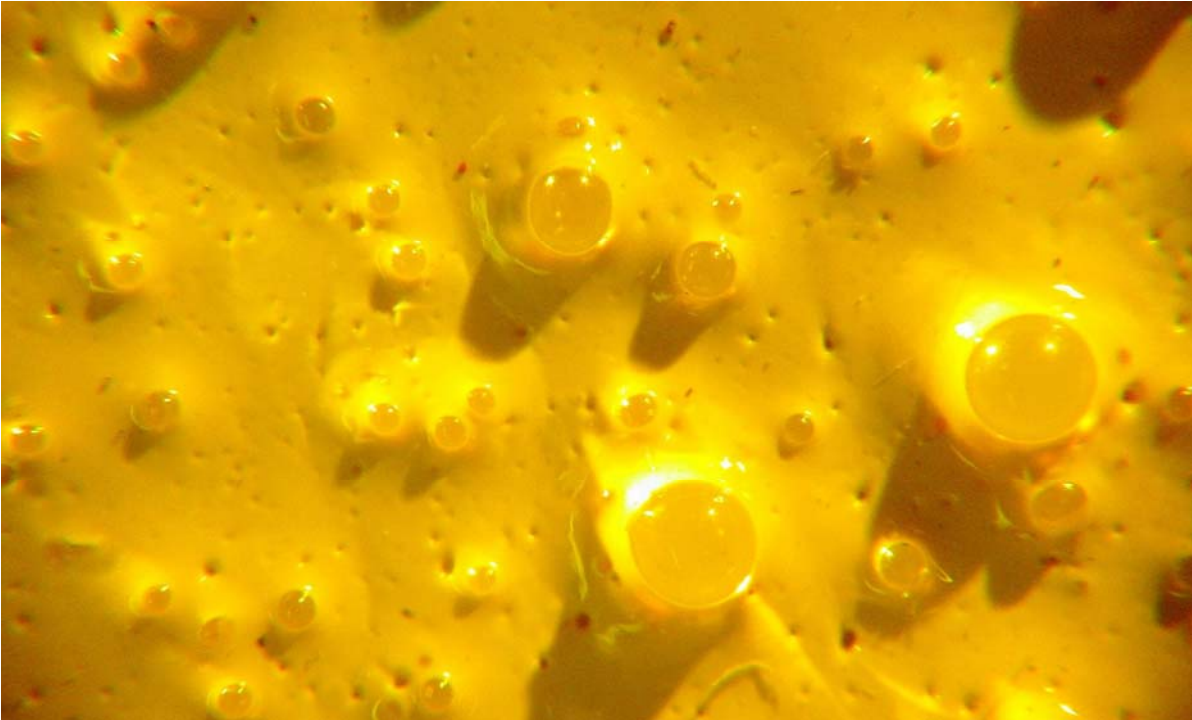


Bild 14: Folienoberseite mit eingebetteten Nachstrommitteln



4 Ergebnisse der Abschälversuche

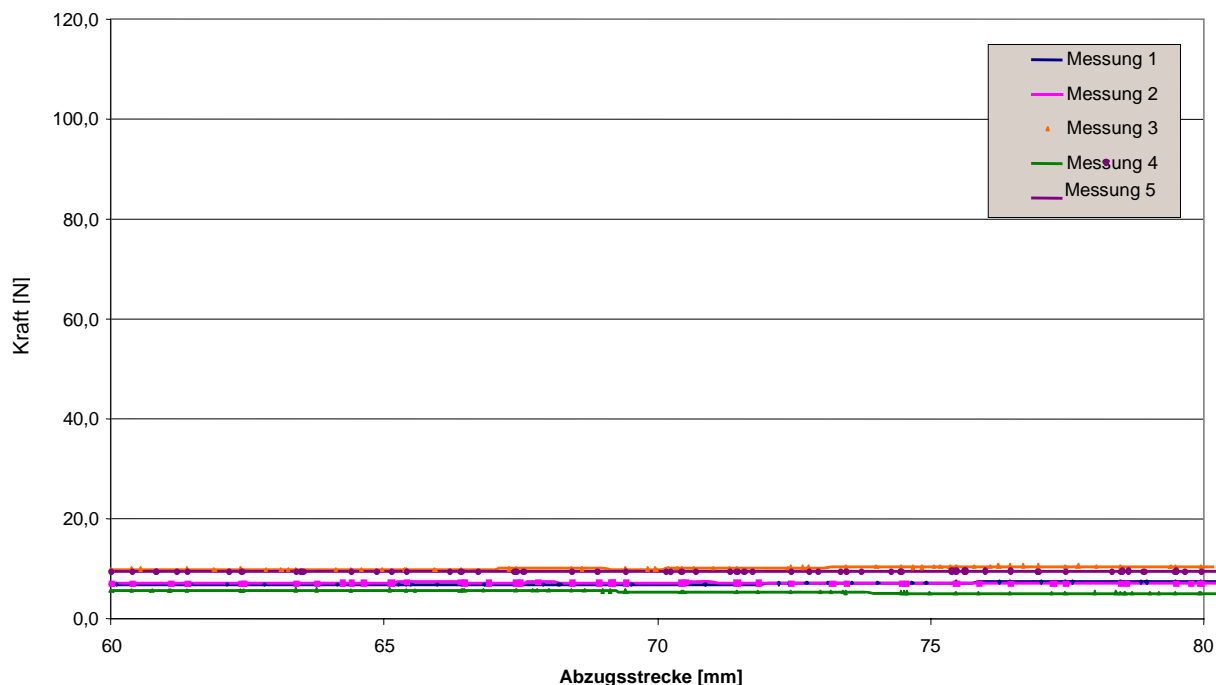
4.1 Haftung auf der Aluminiumplatte

Die Aluminiumplatte weist eine aufgeraute Oberfläche auf und wurde als Referenzprobekörper eingesetzt. Im Unterschied zu den eingesetzten Straßenbaumaterialien weist sie eine große polare Kontaktfläche auf. Deshalb treten bei allen Straßenmarkierungsfolien auf diesem Probekörper die höchsten Abschälkräfte auf. Strukturelle Effekte (z.B. durch Gewebeeinlagen) sind besonders deutlich erkennbar.

Transparentes Klebeband

Das Tesa[®]-Klebeband zeigt auf dem Aluminiumprobekörper mit durchschnittlich ca. 8 Newton die höchsten Abschälkräfte im Vergleich zu anderen Probekörpern. Die Kraftkurven verlaufen über den ganzen Messbereich konstant.

Bild 15: Abschälversuche der TESA-Bänder vom Aluminium-Prüfkörper



Markierungsfolie A

Deutlich ist auch der Einfluss des eingelegten Gewebes durch regelmäßig ausgeprägte Maxima und Minima zu erkennen (Bild 16). Diese Extrema fallen genau mit dem Abstand zweier Querfäden zusammen (Bild 17). Die durchschnittliche Abschälkraft beträgt 35 Newton.

Es wurde jeweils gegen die Aufwalzrichtung abgezogen. In Abschälrichtung betrachtet, ergibt sich hinter den Maxima und Minima ein kleiner Plateaubereich von ca. 0,5 mm, in dem die Abschälkräfte konstant bleiben.

Bild 16: **Abzuschälversuche Folie A vom Aluminium**

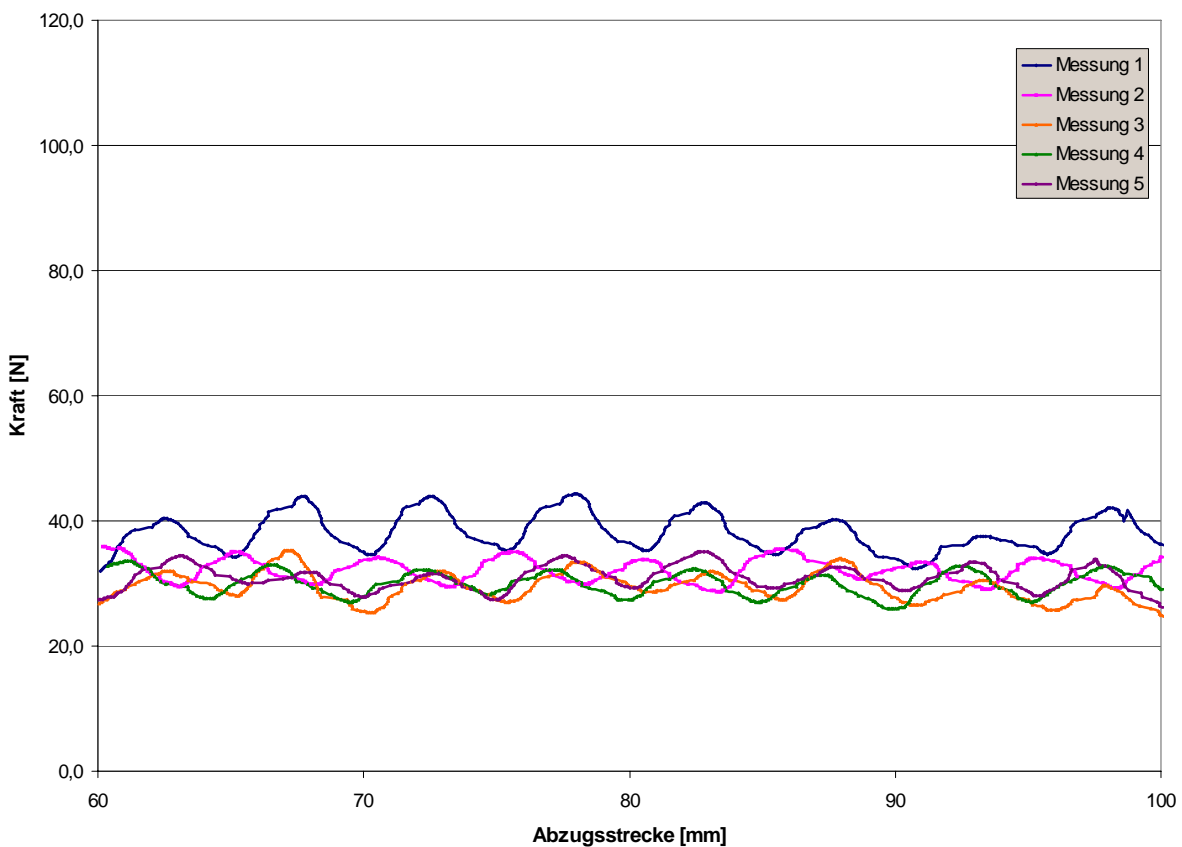
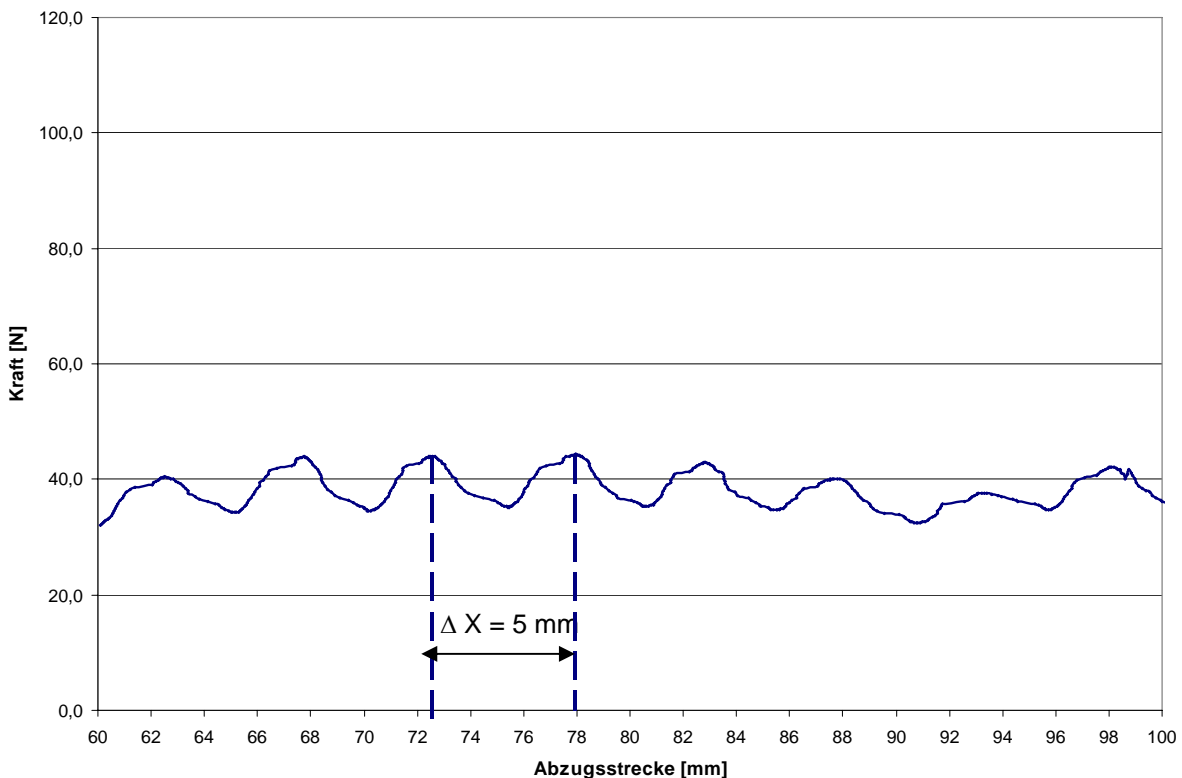


Bild 17:

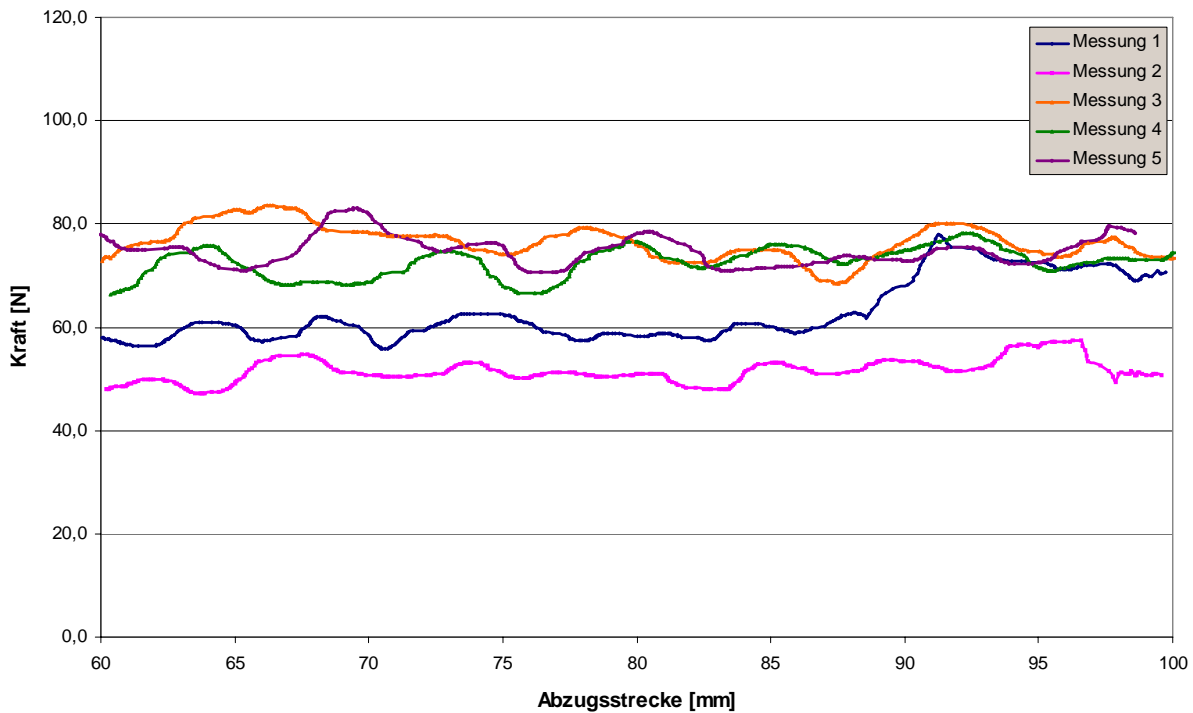
Abschälversuche Folie A vom Aluminium

Markierungsfolie B

Obwohl die Folie B eine glatte Oberflächenstruktur auf ihrer Klebeseite besitzt, ist der Kraftverlauf relativ unstet (Bild 18). Die durchschnittliche Abschälkraft beträgt ca. 65 Newton. Regelmäßige Strukturen sind nicht zu erkennen. Die Unstetigkeiten sind wahrscheinlich auf Unregelmäßigkeiten in der Kleberschichtdicke, Eindruckstellen durch Fremdkörper und produktionsbedingte Kleber-Beschichtungsfehler (z.B. Lufteinschlüsse) zurückzuführen. Der Folienträger aus Aluminium besitzt im Vergleich zu polymeren Folienträgern geringe elastische und dämpfende Eigenschaften. Die Abschälkraft reagiert daher empfindlicher auf Unregelmäßigkeiten im Folienaufbau. Die vorher beschriebenen Probleme führen zu einer Verschlechterung der Reproduzierbarkeit.

Bild 18:

Abschälversuche Folie B vom Aluminium



Markierungsfolie C

Folie C zeigt auf dem glatten Untergrund, wie die anderen geprüften Folien, ein hohes Abschälkraftniveau von durchschnittlich 85 Newton (Bild 19). Die strukturellen Effekte durch das Gewebe sind intensiv ausgeprägt und zeigen eindeutig periodisches Verhalten.

In Bild 20 ist der Ablösevorgang der Folie vom Aluminiumprobekörper zu erkennen. Der Kleber löst sich unter Ausbildung von Fäden, die sich nach einer Dehnungsphase rückstandsfrei von der Oberfläche ablösen. Im Bereich der quer verlaufenden Gewebefäden sind besonders viele Kleberfäden zu beobachten, die die erhöhten Abschälkräfte in diesem Bereich erklären.

Aufgrund der Ergebnisse der Abschälversuche von gewebe-modifizierten Folien werden am Beispiel der Folie C die Versuchsparameter variiert. Das Ziel ist, mögliche Abhängigkeiten der Abschälrichtung im Verhältnis zur Aufwalzrichtung zu erkennen. Auf dem RPA-Probekörper zeigt Folie C periodische Abschälkraftmuster (Kapitel 4.4). Daher erscheint sie für den Versuch besonders geeignet.

Es werden zwei Folien gegen die Aufwalzrichtung und zwei Folien mit der Aufwalzrichtung abgezogen. Im Rahmen der Messgenauigkeit sind systematische Abhängigkeiten des Abschälverhaltens bei unterschiedlichen Aufwalz- und Abschälrichtungen in Längsrichtung nicht zu erkennen.

Bild 19:

**Abschälversuche der Folie C vom Aluminium
- Einfluss der Abzugsrichtung -**

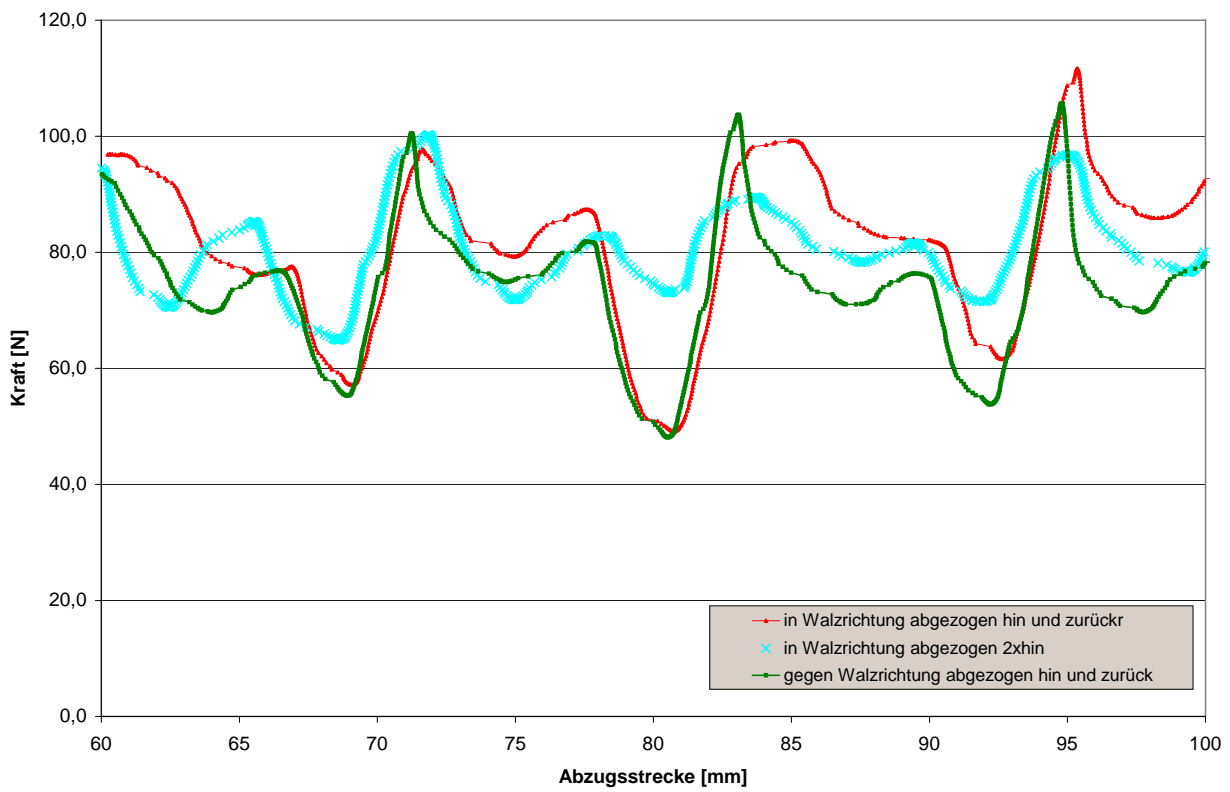


Bild 20: Folie C während des Ablösevorgangs von der Aluminiumoberfläche



Bild 21:

Abschälversuche der Folie C vom Aluminium

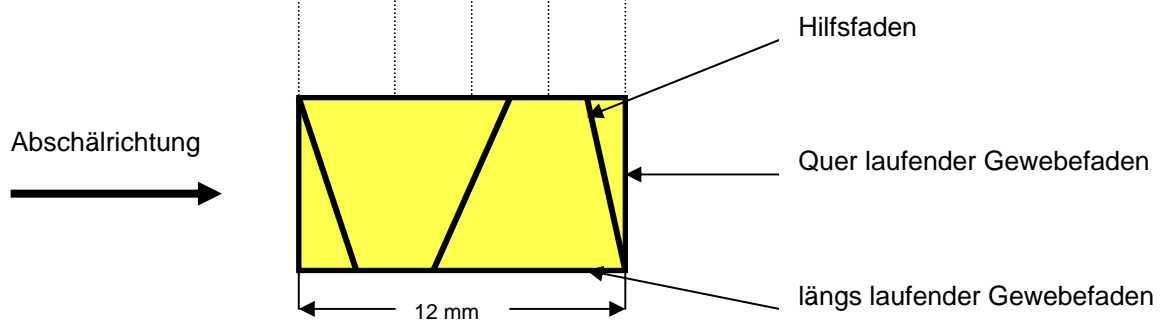
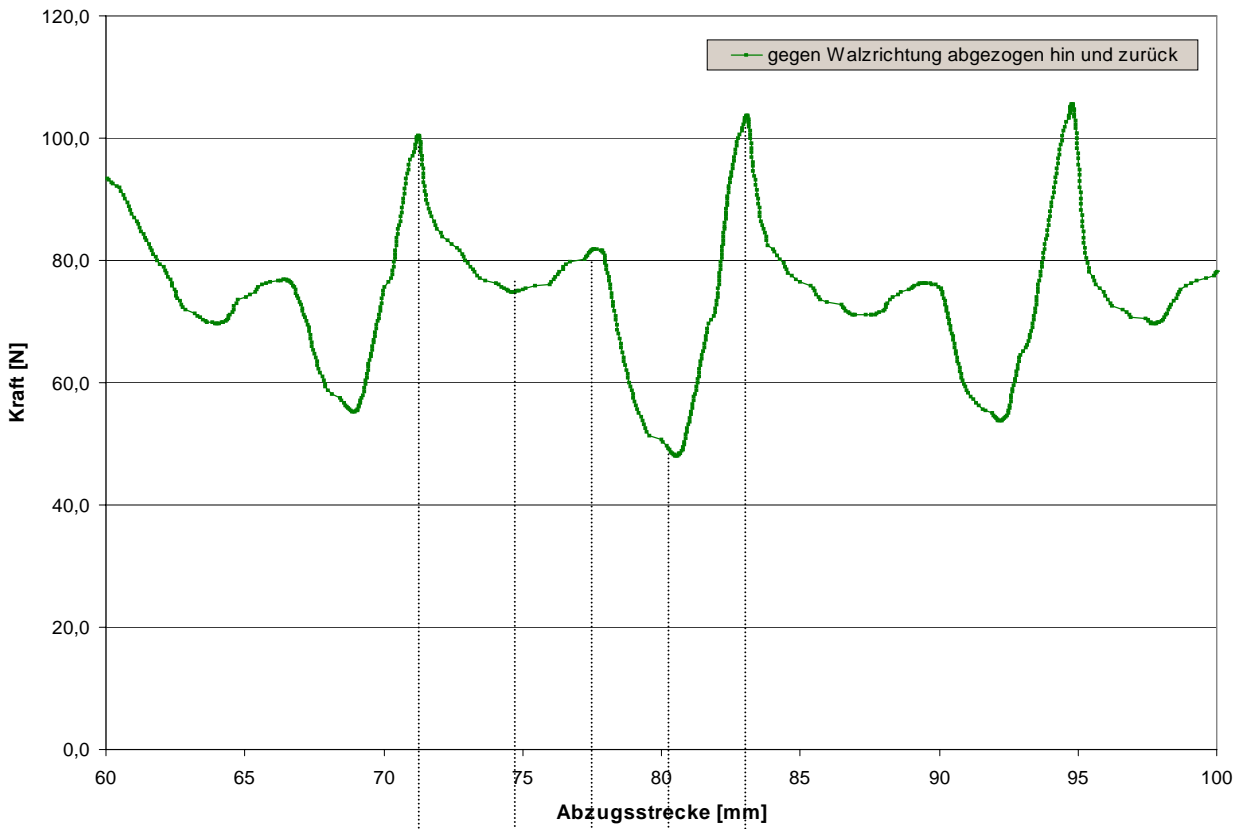


Bild 22: Schematische Darstellung einer Gewebemasche

Überrollung einer Gewebemasche

Exemplarisch für das periodische Abschälverhalten ist in Bild 21 ein Kraftverlauf einzeln dargestellt. Der Abstand zweier Maximalkräfte entspricht dem Abstand der exponierten, querlaufenden Gewebefäden. In Kombination mit der schematisch dargestellten Gewebemasche (Bild 22) ist der Verlauf der Abschälkraft verständlich.

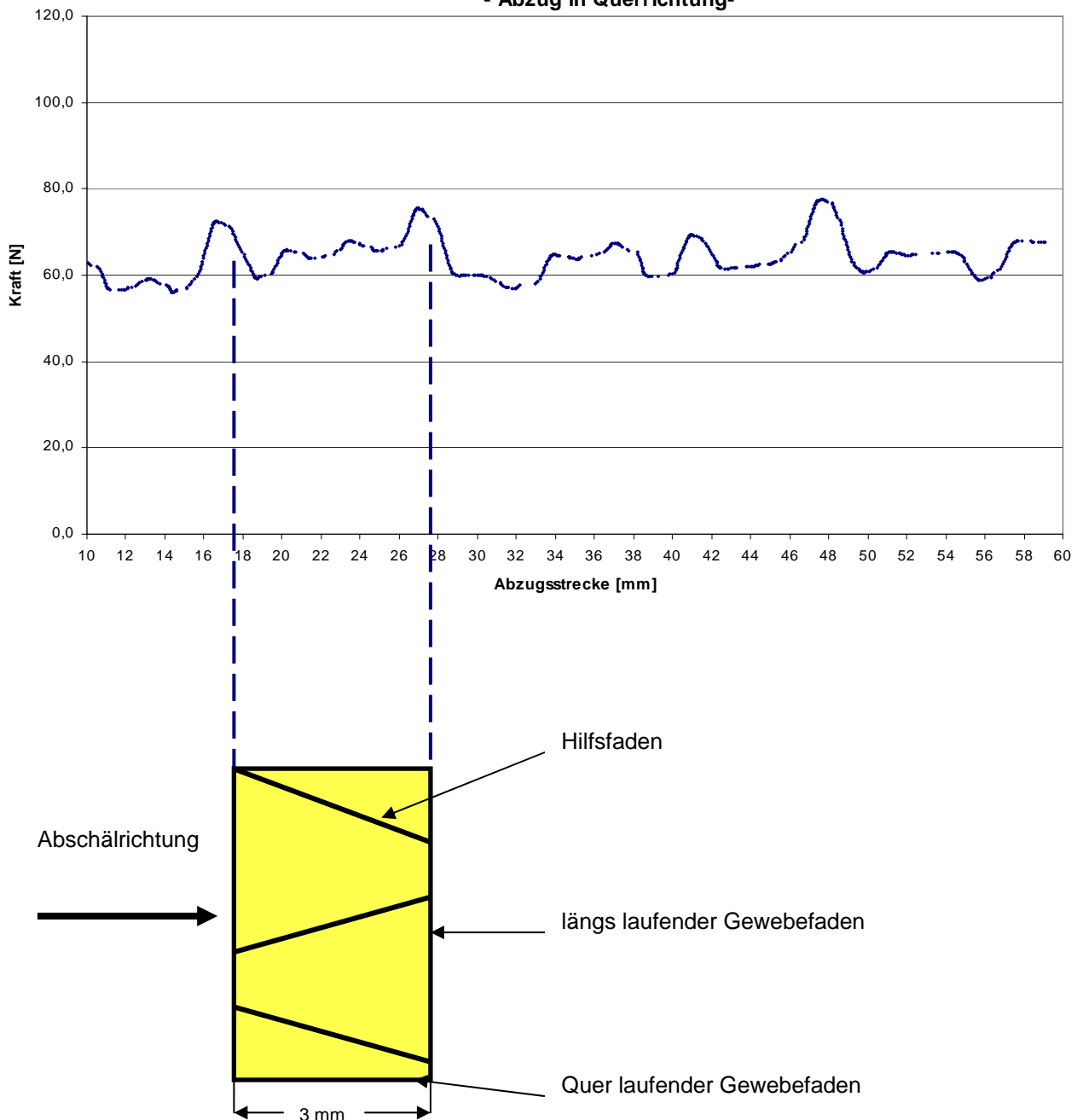
Rollt die Walze des Tampers vom querlaufenden Fäden in den inneren Bereich der Masche, wird der erste schräg laufende Hilfsfaden nur teilweise überrollt. Auf diesen wirkt nicht die volle Aufstandsfläche der Walze, da durch deren Durchmesser kleine Zwischenräume nicht vollständig erfasst werden. Dadurch sinkt der Anpressdruck, und damit die Abschälkraft. Er erreicht ein Minimum im Bereich zwischen den Hilfsfäden um dann in der Mitte der Masche wieder anzusteigen. Dort erzeugt der für die Walze frei überrollbare Hilfsfaden einen erhöhten Anpressdruck. Im Anschluss rollt die Walze wieder in einen Fadenzwischenraum (Minimum) um dann zum nächsten Quersfaden am Ende der Gewebemasche stark anzusteigen.

Abzug quer zur Applikationsrichtung

Ergänzend wird noch ein Abschälversuch an der Folie C durchgeführt, bei dem die Folie quer zur Applikationsrichtung abgezogen wird (Bild 23). Das Niveau der Abschälkräfte liegt unterhalb der in Längsrichtung abgezogenen Folie bei ca. 65 Newton. Die Ursache liegt wiederum im eingelegten Gewebe begründet. Die Längsfäden des Gewebes haben einen Abstand von ca. 3 mm zueinander (Bild 24). In diesem Abstand treten Maxima auf, die von Knotenpunkten der Längs- und Quersfäden herrühren und deutlich erhaben sind (siehe Bild 13). Die Walze kann daher nicht mehr innerhalb der Maschen Anpressdruck erzeugen, sondern „rollt“ auf den erhabenen Quersfäden des Gewebes. Die erforderlichen Abschälkräfte beschränken sich größtenteils auf die Haftung im Bereich dieser Fäden.

Bild 23:

Abschälversuche der Folie C vom Aluminium
- Abzug in Querrichtung-



Die Abschälversuche in Längs- und Querrichtung haben gezeigt, dass sich die Kurvenverläufe unterscheiden. Somit ist eine Richtungsabhängigkeit, verursacht durch die Gewebestruktur nachgewiesen.

4.2 Haftung auf Waschbeton

Aufgrund der sehr rauen Oberfläche und der hydrophilen Eigenschaften des Betons ist das Haftvermögen der einzelnen Folientypen in Abhängigkeit ihres Aufbaus auf diesem Belag sehr unterschiedlich.

Transparentes Klebeband

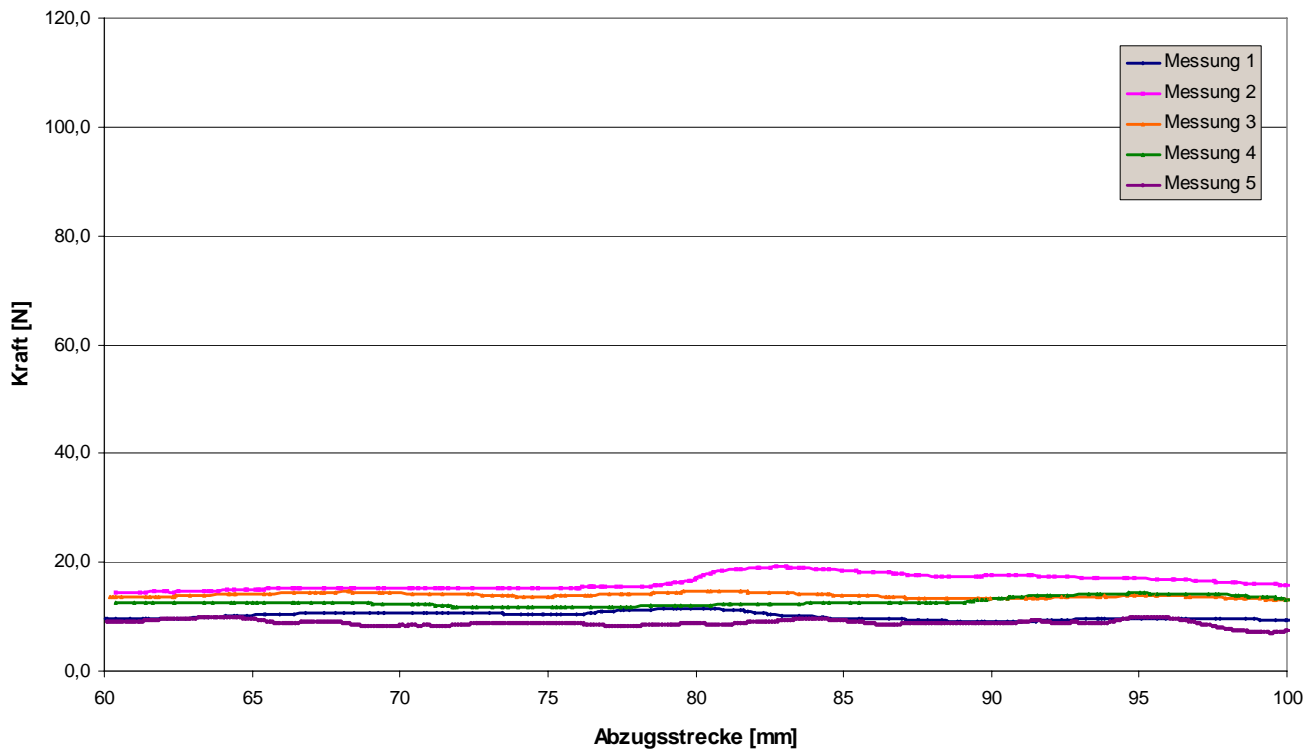
Das Haftvermögen des transparenten Klebebandes auf dem Waschbeton-Probekörper erweist sich beim Applikationsversuch als so gering, dass auf eine Abschälprüfung auf diesem Untergrund verzichtet wird.

Markierungsfolie A

Bis auf geringe Unstetigkeiten verläuft die Abschälkraft konstant mit durchschnittlich etwa 12 Newton (Bild 24). Daraus kann geschlossen werden, dass trotz der rauen und scheinbar stochastisch ausgebildeten Betontextur, die Anzahl der Haftpunkte im jeweils abgezogenen Folienquerschnitt etwa konstant sein muss. Ein Einfluss des Gewebes auf der Folienrückseite auf den Kraftverlauf ist nicht erkennbar. Die Folie ist durch ihren Polymerträger elastisch und passt sich bei der Applikation nur wenig der Textur des Untergrundes an.

Bild 24:

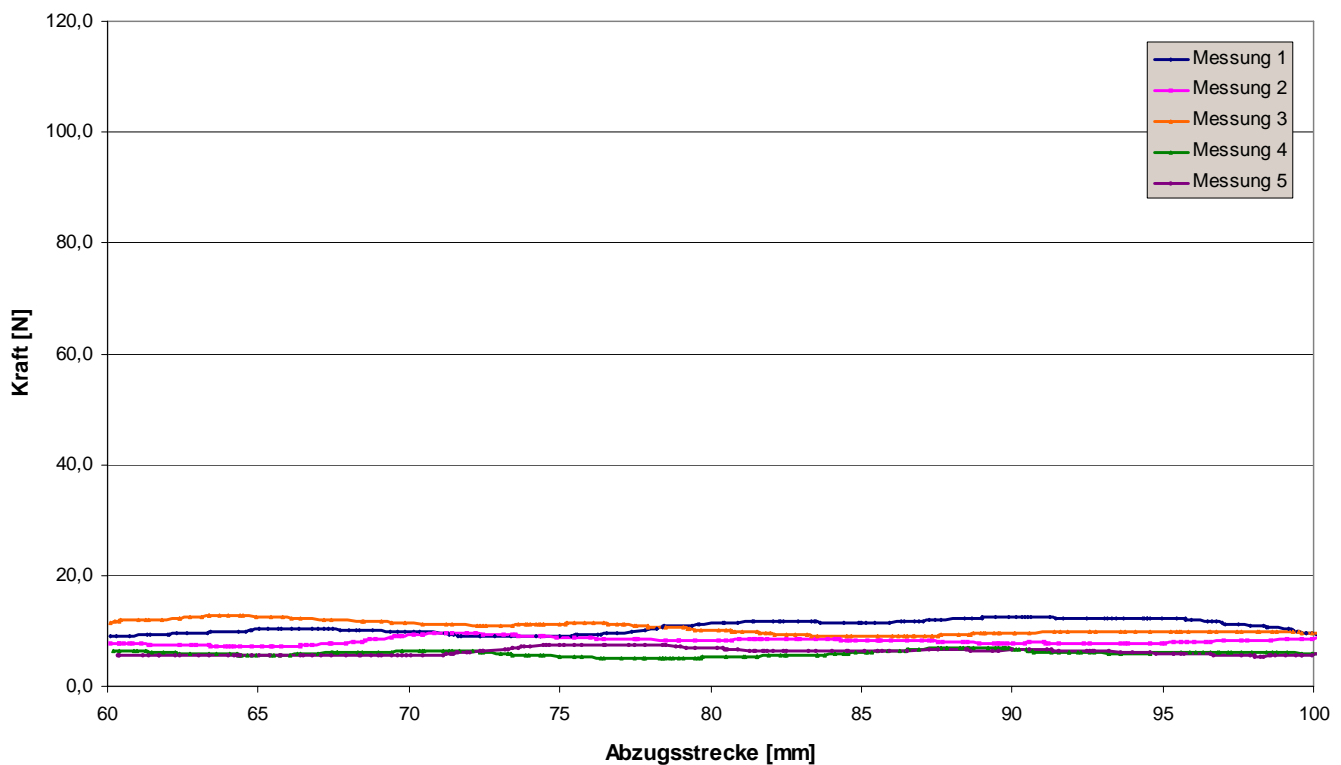
Abzuschälversuche der Folie A vom Beton-Prüfkörper



Markierungsfolie B

Markierungsfolie B ist nicht aus einem polymeren Träger mit Gewebe aufgebaut, sondern mit einer Aluminiumfolie als Träger. Insgesamt ist die Folie dünner und kann sich bei der Applikation durch die plastische Verformung des Aluminiums dem Untergrund anpassen. Trotz der unterschiedlichen Konzeption der Markierungsfolien A und B sind die Unterschiede der Haftkraft auf dem Betonprüfkörper gering. Die Abschälkraft liegt noch unterhalb der Markierungsfolie A bei etwa 8,5 Newton (Bild 25).

Bild 25: Abschälversuche der Markierungsfolie B vom Beton-Prüfkörper



Markierungsfolie C

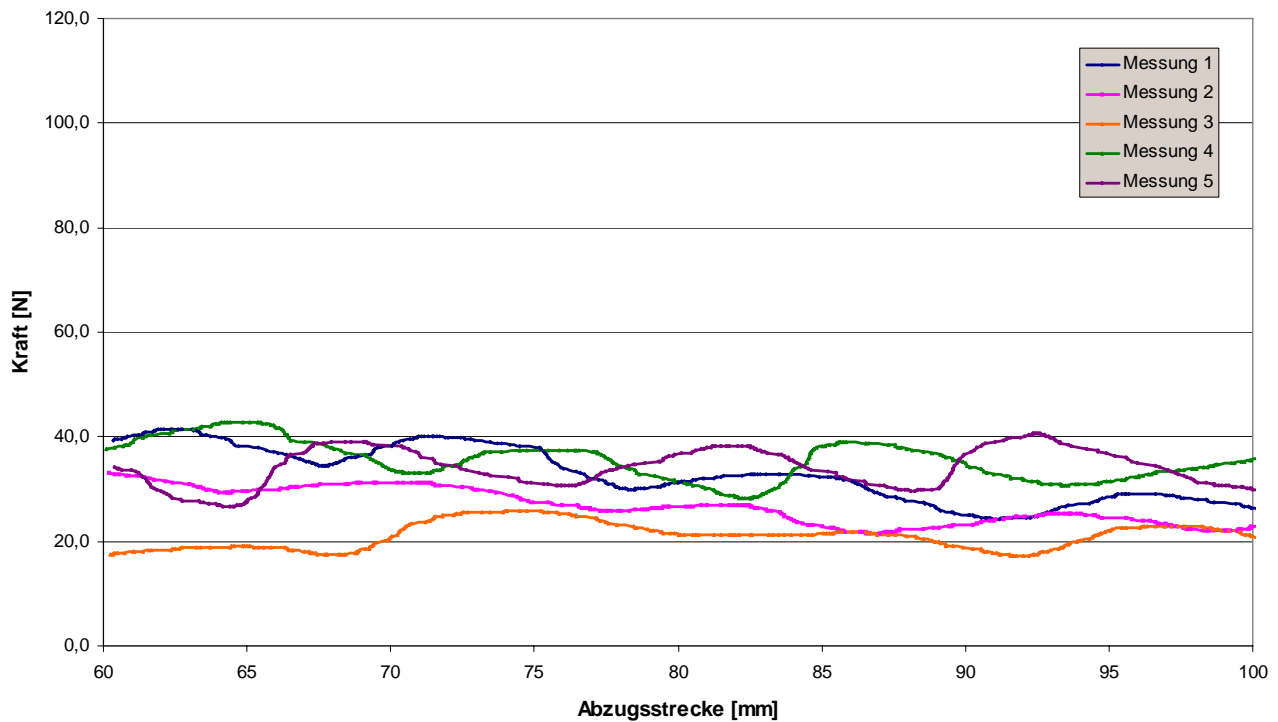
Die Folie C hat einen ähnlichen Aufbau wie Markierungsfolie A mit Gewebeeinlage. Die Maschen des Gewebes haben eine Weite von 12 mm in Längsrichtung und 3 mm in Querrichtung.

Im Unterschied zur Folie A weisen die Kraftkurven überwiegend Unstetigkeiten auf und haben ein durchschnittliches Kraftniveau von ca. 30 Newton (Bild 26).

Zum Verständnis der Ursache für die Unstetigkeiten werden exemplarisch zwei Verlaufskurven nochmals dargestellt (Bild 26). Man erkennt, dass die Unstetigkeiten einen periodischen Charakter besitzen. Die Messung der Abstände von Maxima zu Maxima oder Minima zu Minima ergibt einen Abstand ca. 11,5 cm. Dieser Abstand entspricht der Gewebe-Maschenweite von 12 cm in Längsrichtung.

Bild 26:

Abschälversuche der Folie C vom Beton-Prüfkörper



Wie in Kapitel 4.1 bereits erläutert, zeigt sich auch hier eine periodisch verlaufende Abschälkraft aufgrund der Gewebestruktur (Bild 27).

Bild 28 verdeutlicht, warum dieser periodische Effekt nicht bei allen Messungen auftrat. Grundlage, dass dieser Effekt ablaufen kann, ist eine Anhaftung der Gewebefäden auf dem Betonprobekörper. Da die Betontextur mit einem Besenstrich aufgeraut ist, ergibt sich im Seitenprofil eine Berg- und Talstruktur. Fallen die Positionen der Gewebefäden nicht mit den „Bergen“ der Betontextur zusammen und ist nur wenig Kleber auf der Folienunterseite im Bereich der Gewebefäden vorhanden, dann sind gewebestrukturelle Effekte nicht erkennbar.

Bild 27: **Abzschälversuche der Folie C vom Beton-Prüfkörper**
Darstellung der Kurven-Maxima

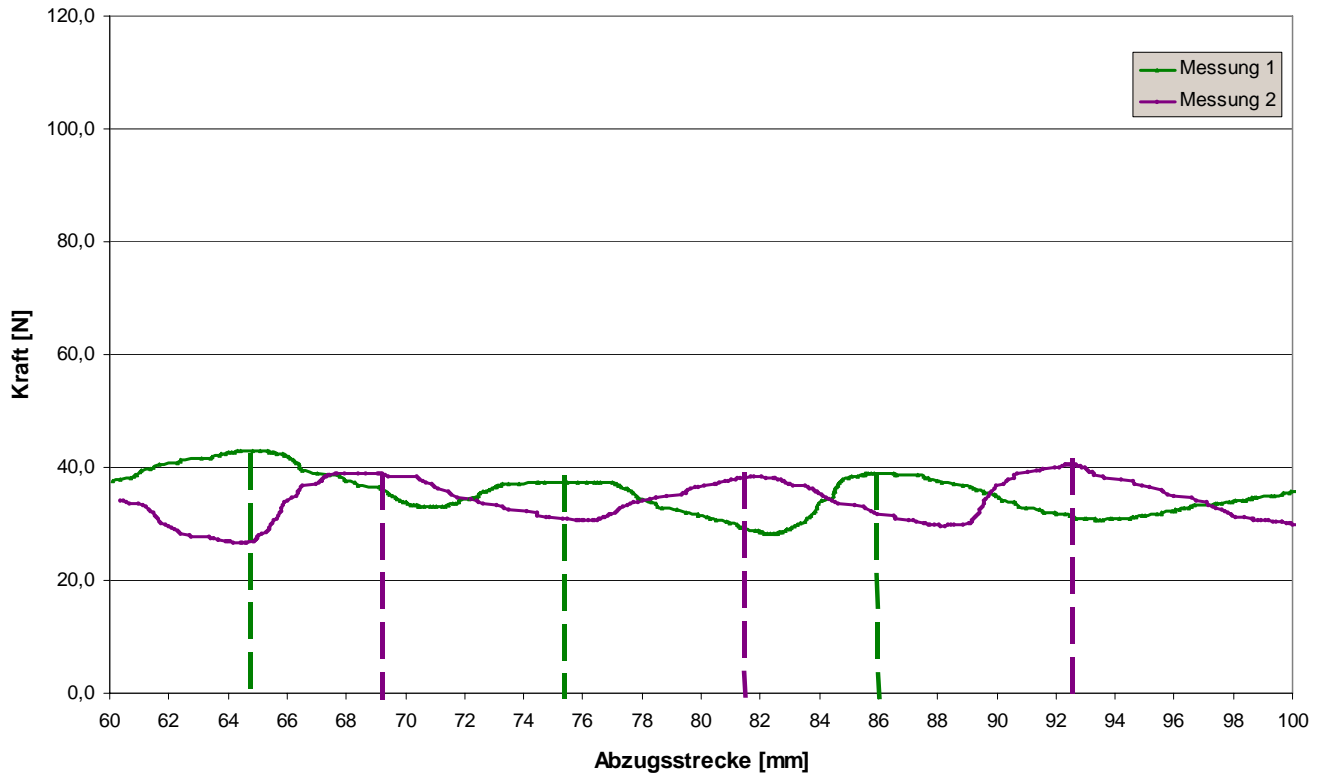
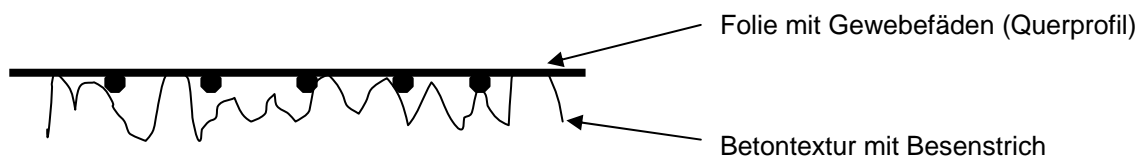


Bild 28: Folie auf der Betontextur



4.3 Haftung auf Splittmastixasphalt

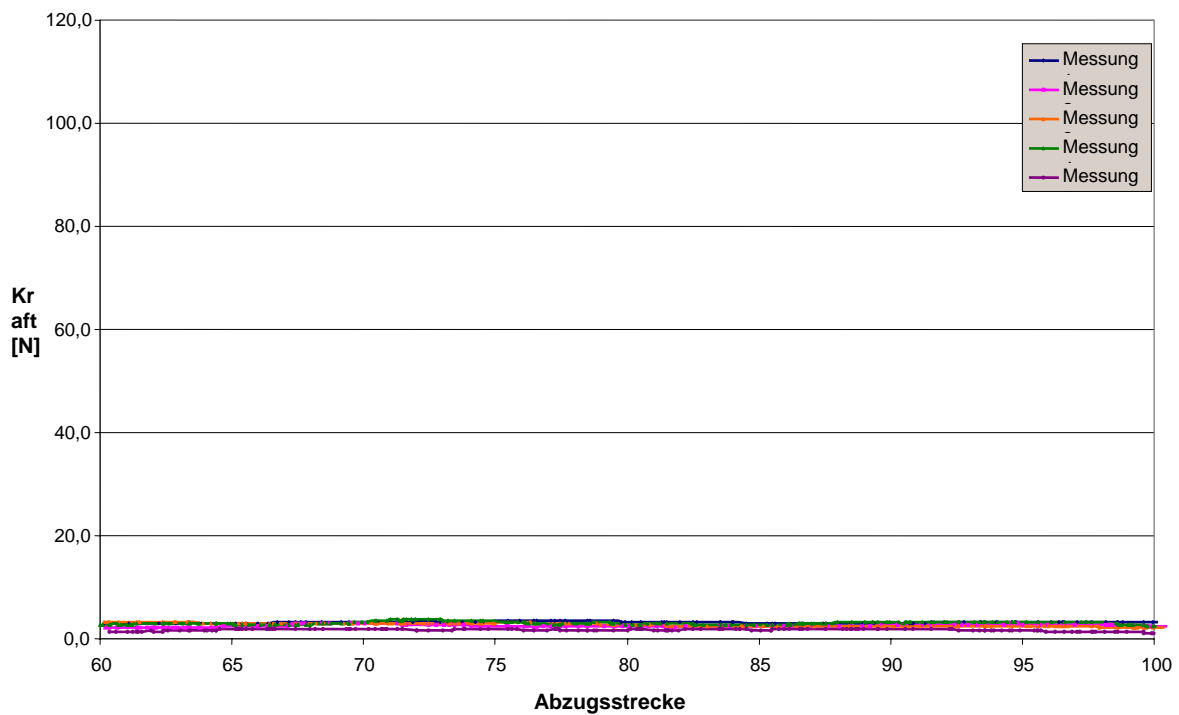
Der Splittmastixasphalt 0/8 S besitzt eine unregelmäßige Oberflächenstruktur. Aufgrund der breiten Korngrößenverteilung besteht die als Haftgrund zur Verfügung stehende Oberfläche aus großen und kleinen Kontaktflächen. Durch die großen Korngrößenunterschiede auf der Oberfläche ändert sich die momentan beim Abschälversuch betroffene Kontaktfläche stetig. Dadurch kann es zu Unstetigkeiten im Verlauf der Abschälung kommen. An Folienquerschnitten mit größeren Kontaktflächen werden höhere Abschälkräfte benötigt als an Querschnitten mit kleinerer Kontaktfläche.

Transparentes Klebeband

Das transparente Klebeband ist auf dem SMA-Prüfkörper applizierbar. Die Abschälkraft ist über die ausgewertete Prüfstrecke relativ konstant und beträgt nur 2,5 Newton (Bild 29). Damit liegt sie im Bereich der Kräfte, die zur Bewegung des Prüfschlittens ohne Abschälkräfte notwendig ist.

Bild 29:

Abschälversuche der TESA-Folien vom SMA-

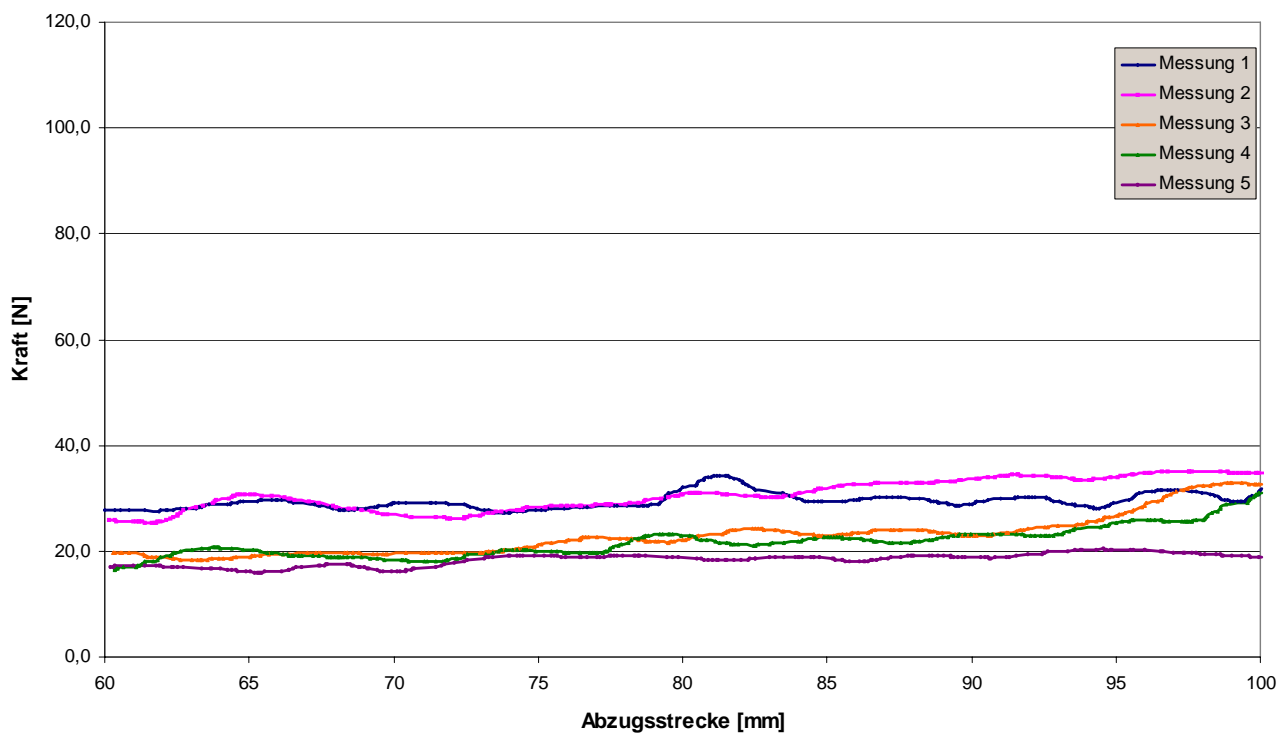


Markierungsfolie A

Die Abschälkraft zeigte im Bereich der Prüfstrecke eine leicht ansteigende Tendenz. Die durchschnittliche Abschälkraft beträgt 25 Newton.

In Vergleich zum Abschälversuch auf der Betontextur sind leichte periodische Tendenzen im Verlauf durch Maxima zu erkennen (Bild 30) da die zur Verfügung stehende Kontaktfläche größer ist. Diese sind aufgrund der sehr feinen Gewebestruktur nur schwach ausgeprägt.

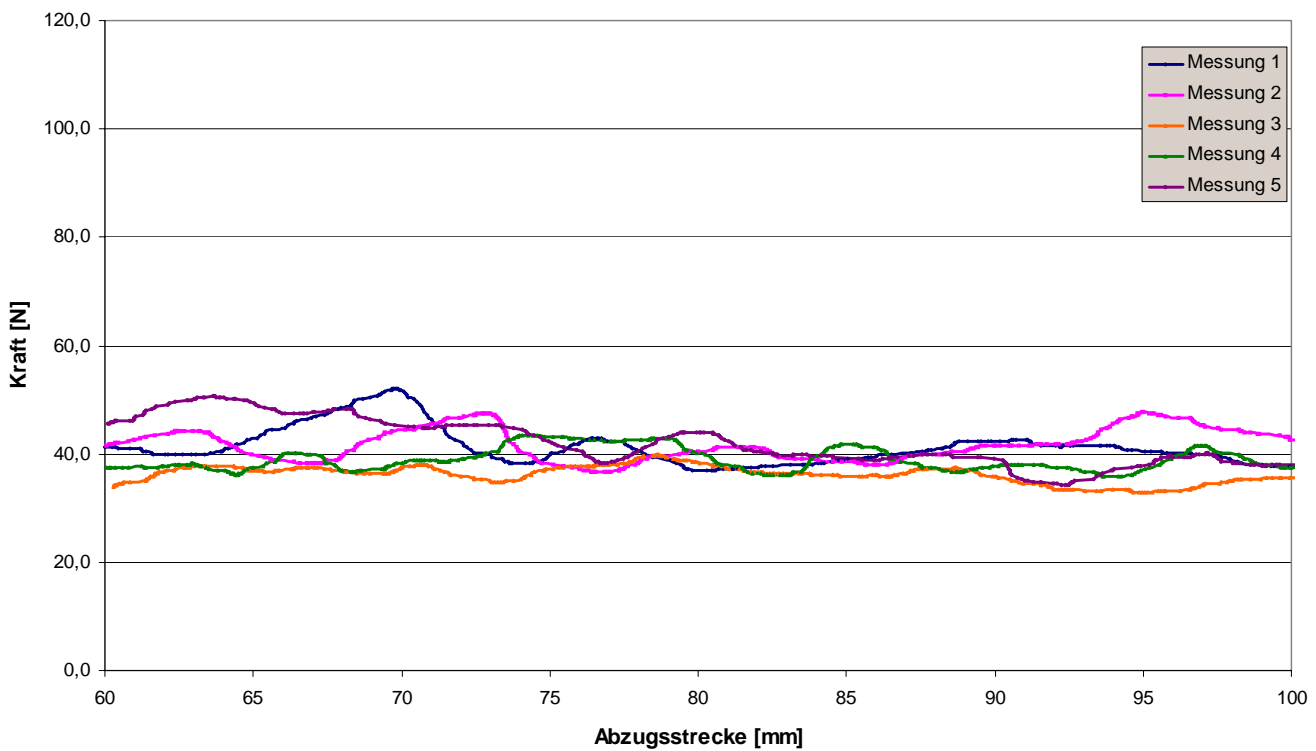
Bild 30: **Abschälversuche der Folie A vom SMA-Prüfkörper**



Markierungsfolie B

Die Folie B zeigt auf der Splittmastix-Oberfläche eine im Mittel über die ganze Messstrecke konstante Kraft von ca. 40 Newton (Bild 31). Der Verlauf ist unstet und zeigt keine periodischen Muster. Da die Folie kein Gewebe besitzt, kommt als Ursache die sich im Verlauf des Abschälversuchs stetig ändernde Kontaktfläche des SMA in betracht. Zusätzlich beobachtet man, dass die Folie durch ihre geringe Dicke und den unelastischen Träger sensibler auf Unregelmäßigkeit des Haftuntergrundes reagiert als die polymeren Folien.

Bild 31: **Abschälversuche der Folie B vom SMA-Prüfkörper**

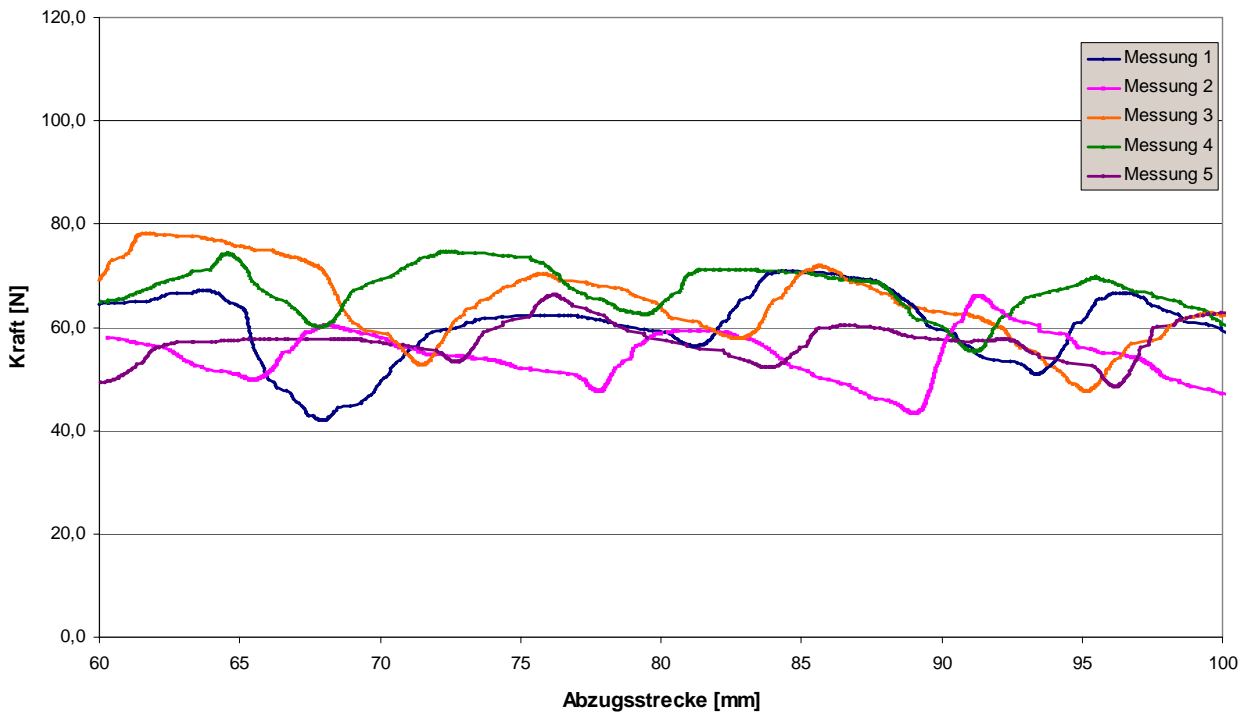


Markierungsfolie C

Die Folie C weist einen ausgeprägten periodischen Effekt im Abschälkraftverlauf auf (Bild 32). Das Kraftniveau ist mit ca. 60 Newton vergleichsweise hoch und, gemittelt über die ganze Messstrecke, konstant.

Die nähere Betrachtung der Kraftkurven zeigt, dass die periodischen Effekte aus dem eingelegten Gewebe stammen.

Bild 32: **Abschälversuche der Folie C vom SMA-Prüfkörper**



4.4 Haftung auf dem Probekörper der Rundlaufprüfanlage

Der Probekörper der Rundlaufprüfanlage (RPA) hat eine standardisierte, gleichmäßig fein strukturierte Oberfläche aus Gussasphalt. Zur verbesserten Haftung der zu applizierenden Markierungsstoffe wird die Oberfläche durch Abreiben mit Sand aufgeraut. Sie besteht aus vielen kleinen Erhebungen und Vertiefungen im Bereich von 1 – 5 µm. Es bestehen ähnlich wie bei der Betontextur keine größeren, zusammenhängenden Kontaktflächen.

Transparentes Klebeband

Das Haftvermögen des transparenten Klebebandes auf dem RPA-Probekörper erweist sich beim Applikationsversuch als so gering, dass auf eine Abzugprüfung auf diesem Untergrund verzichtet wird.

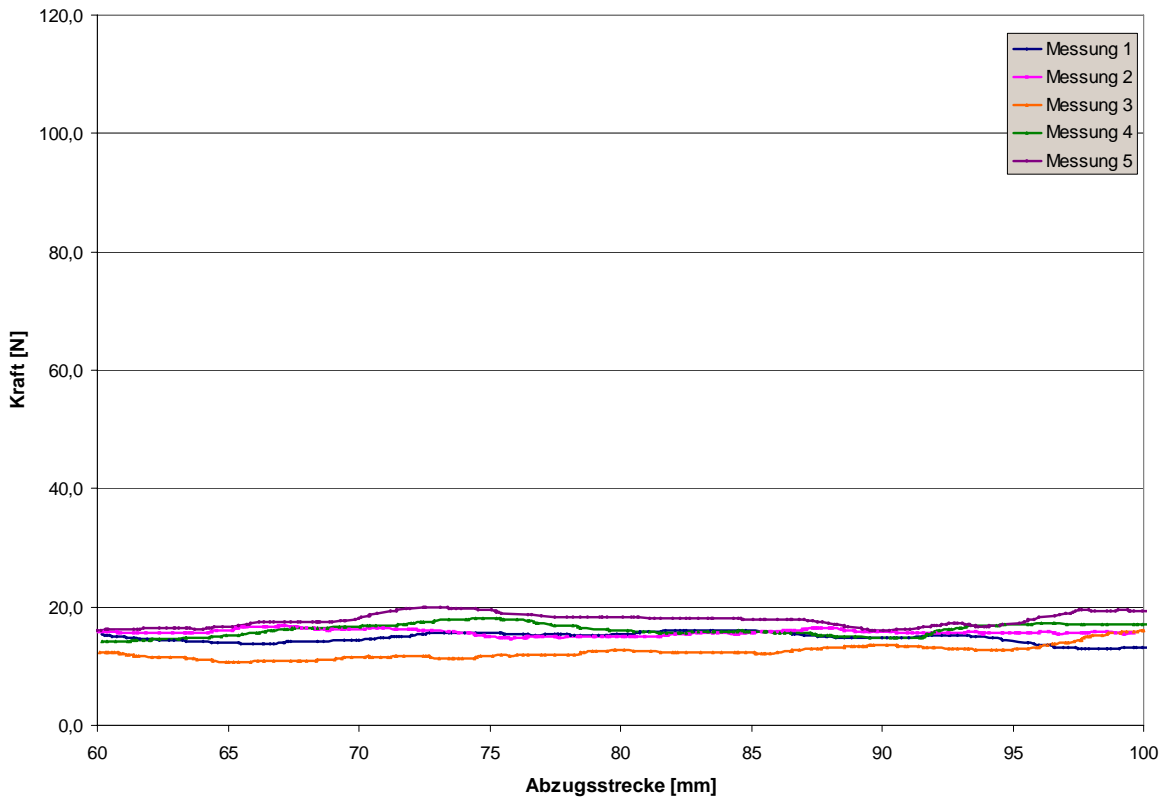
Markierungsfolie A

Die Kraftkurven der Markierungsfolie A zeigen einen im Wesentlichen steten Verlauf auf einem Niveau von ca. 15 Newton. Das Verhalten ähnelt dem auf der Betontextur. Periodisches Abschälverhalten, verursacht durch das eingelegte Gewebe, ist nicht zu erkennen (Bild 33).

Die Haftung der Folie wird offensichtlich maßgeblich von der Haftung auf den Spitzen der Oberflächentextur bestimmt. Die Abschälkräfte liegen im Vergleich zum Beton auf einem ähnlichem Niveau. Da sich die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Beton- und der Gussasphaltoberfläche deutlich unterscheiden, kann geschlossen werden, dass diese Eigenschaften einen untergeordneten Einfluss, im Vergleich zur Oberflächentextur, auf die Haftkraft haben.

Bild 33:

Abschälversuche der Folie A vom RPA-Prüfkörper

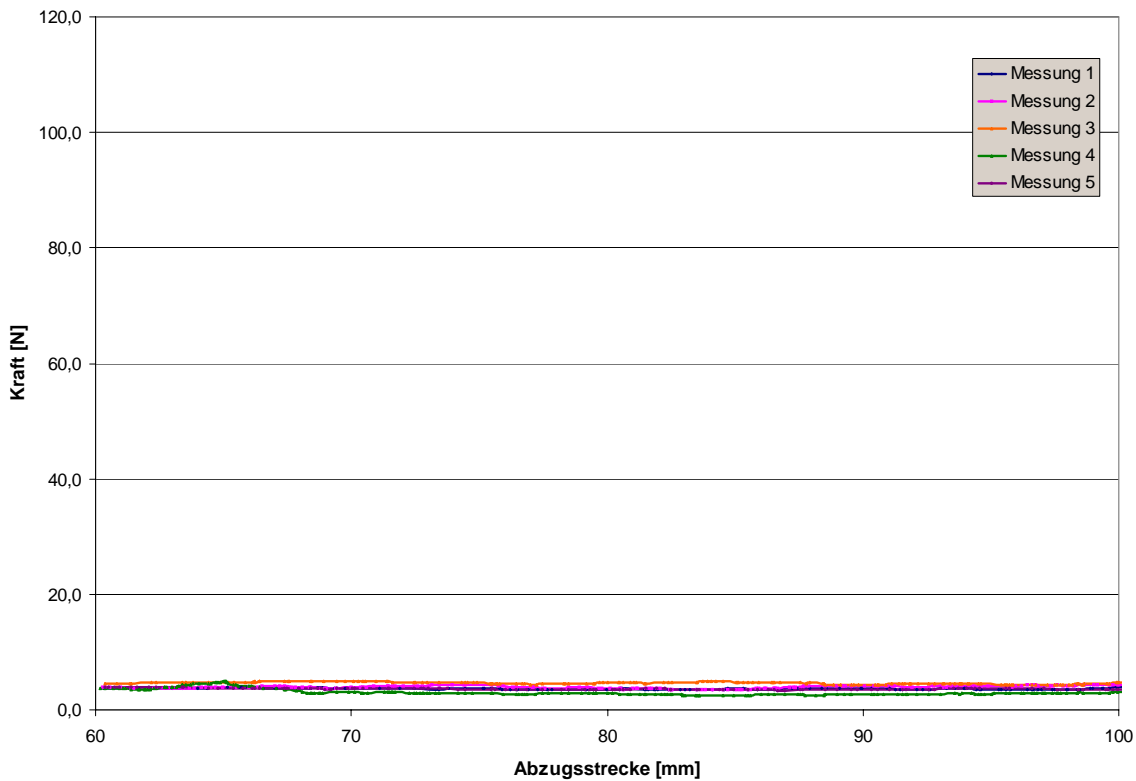


Markierungsfolie B

Die Folie B benötigt eine relativ konstante Abschälkraft von 4 Newton über den ganzen Messbereich (Bild 34). Neben der Verklebung bietet Folie B prinzipiell die Möglichkeit der mechanischen Verzahnung des Folienträgers mit dem Untergrund. Allerdings bietet der RPA-Probekörper mit seiner relativ glatten Oberfläche kaum Verzahnungsmöglichkeiten. Die Abschälkräfte sind Vergleich zum Betonprobekörper mit seiner scharfkantigen Oberflächentextur, geringer.

Bild 34:

Abschälversuche der Folie B vom RPA-Prüfkörper



Markierungsfolie C

Die gewebeverstärkte Markierungsfolie C zeigt erhebliche Unstetigkeiten der Abschälkraft über die Messstrecke. Einige Kurven weisen im Verlauf der Messung ansteigende Abschälkräfte auf. Die durchschnittliche Abschälkraft liegt mit ca. 60 Newton relativ hoch (Bild 35).

Bild 36 zeigt, dass die Unstetigkeit durch die Querfäden der Gewebeeinlage verursacht werden. Dieser Effekt ist sehr ausgeprägt. Die Maxima weisen überwiegend einen steilen Anstieg bis zum Maximum und dann einen flacheren Abfall auf.

Bild 35:

Abschälversuche der Folie C vom RPA-Prüfkörper

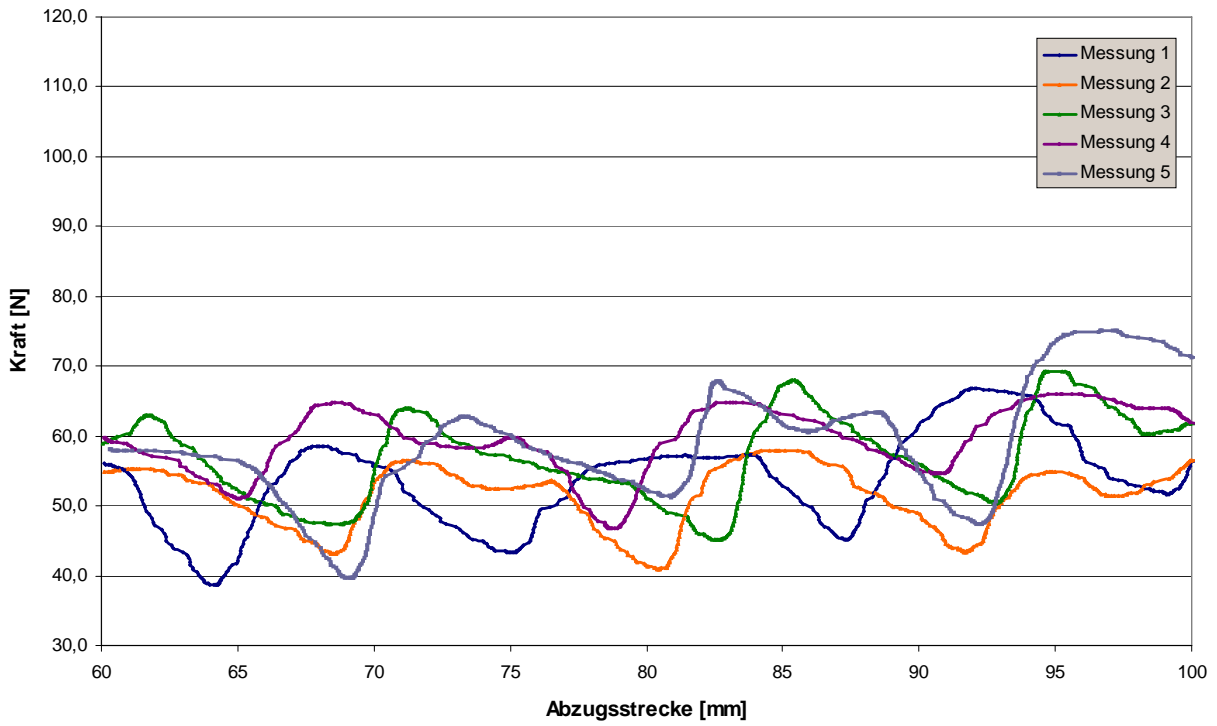
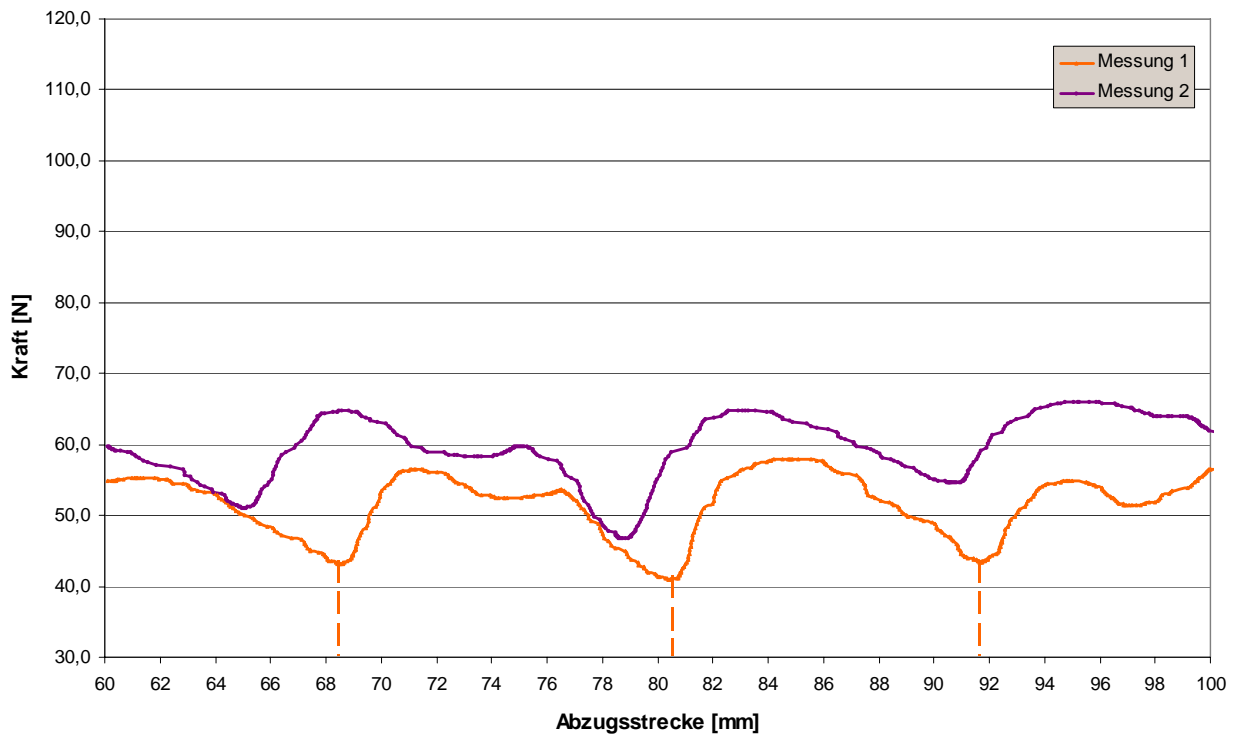


Bild 36:

Abschälversuche der Folie C vom RPA-Prüfkörper



5 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes wurde ein Verfahren zur Ermittlung der Haftkräfte von Straßenmarkierungsfolien für den temporären Einsatz entwickelt und erprobt.

Der 90° - Abschälversuch wurde als Prüfverfahren ausgewählt, da er Abschälkräfte über einen größeren Folienabschnitt misst und somit die Aussagekraft der Ergebnisse verbessert.

Zur Erprobung der Eignung wurden die Hafteigenschaften von vier unterschiedlich konzipierten Folien auf vier unterschiedlichen Untergründen untersucht.

Die als Referenz mitgeprüfte Oberfläche des Aluminiumprobekörpers ergibt für alle geprüften Folien die besten Hafteigenschaften im Vergleich. Unter den verwendeten Probekörpern stellt er den größten nutzbaren Haftgrund zur vollflächigen Verklebung zur Verfügung. Dementsprechend werden auf dem Aluminium die höchsten Abschälkräfte ermittelt. Die Gewebestrukturen der Folien A und C erzeugen Kraft-Weg-Diagramme, aus deren Verlauf sich die Gewebestruktur ablesen lässt.

Auf dem Betonprobekörper, dessen Kontaktfläche maßgeblich durch die vom Besenstrich erzeugte scharfkantige Textur bestimmt wird, benötigen die meisten Markierungsfolien vergleichsweise geringe Abschälkräfte. Die Ursache liegt in der geringen Kontaktfläche zwischen Folie und Oberfläche und zu geringer Menge bzw. zu geringem Kriechvermögen der Folienkleber. Das wird dadurch belegt, dass die gewebegestützten Markierungsfolien „A“ und „C“, die auf anderen, glatteren Kontaktflächen ausgeprägte Effekte durch die Gewebestrukturen aufweisen, hier unterschiedliches Verhalten zeigen.

Während die A-Folie keinerlei Gewebestrukturen im Diagramm erkennen lässt, zeigt die Folie C einen deutlichen Gewebeeinfluss obwohl die Gewebefadendichte bei A größer ist als bei C. Folie B, deren Konzeption eine Haftung bedingt durch den Kleber und mechanische Verzahnung auf rauen Oberflächen vorsieht, zeigt keine Vorteile gegenüber den anderen Typen. Das Klarsichtklebeband mit seiner geringen Kleberschichtstärke haftet nicht auf dem Beton.

Die Oberfläche des Splittmastixasphalts (SMA) ist vergleichsweise glatt und bietet mehr Haftfläche als die Betontextur. Die erzielten Abschälkräfte sind durchgehend höher als beim Beton. Die Gewebestrukturen der Folien A und C zeigen deutliche Einflüsse im Kraft-Weg-Diagramm. Die quer zur Applikations- und Abschälrichtung verlaufenden Gewebefäden verursachen Kraftmaxima. Der an dieser Stelle erhöhte Anpressdruck bei der Applikation bewirkt das verstärkte Fließen des Klebers in die Oberflächentextur und erzeugt damit vergrößerte Kontaktflächen.

Der Probekörper der Rundlaufprüfanlage (RPA) bewirkt, trotz des anderen Aufbaus, ein ähnliches Abschälverhalten wie die Betontextur. Die sehr gleichmäßig ausgeprägte Oberfläche weist keine großen Kontaktflächen als Haftgrund für die Folien auf. Nur Folie C zeigt das charakteristische Kraft-Weg-Diagramm mit durch das Gewebe verursachten Kraftmaxima. Analog zum Betonprobekörper haftet das Klarsichtklebeband nicht auf dem RPA-Körper.

Schlussfolgerung

Die deutlichen Unterschiede der ermittelten Abschälkräfte belegen das sensible Ansprechverhalten des Abschälversuchs auf unterschiedliche Folientypen und Oberflächentexturen.

Tabelle 5: Übersicht der Abschälkräfte aus den Abschälversuchen²

	Aluminiumplatte	Beton-Probekörper	SMA-Probekörper	RPA-Probekörper
	∅ Abschälkraft [Newton]	∅ Abschälkraft [Newton]	∅ Abschälkraft [Newton]	∅ Abschälkraft [Newton]
TESA®-Band	8	-	2,5	-
Folie A	35	12	25	15
Folie B	65	8,5	40	4
Folie C	80 (65 ³)	30	60	60

² Die Zugkraft des Prüfschlittens ohne Abschälkräfte beträgt 2,5 Newton

³ Abschälkraft der Folie in Querrichtung

Bei näherer Betrachtung der Prüfergebnisse einzelner und Folientypen auf den Prüfkörpern ermöglicht die Methode weitergehende Rückschlüsse auf die konzeptionelle Eignung einzelner Straßenmarkierungsfolien auf bestimmten Untergründen.

Das Verfahren reagiert sensibel auf Unregelmäßigkeiten wie eingeschlossene Luftblasen, Fehlstellen in der Verklebung oder Unregelmäßigkeiten der Prüfkörpertexturen. Als Folge davon weichen bei einigen Markierungsfolien die Prüfergebnisse der Mehrfachbestimmungen signifikant voneinander ab. Eine Fünffachbestimmung zur Ermittlung der Abschälkraft ist erforderlich. Da die Prüfdauer ca. zwei Minuten beträgt, stellt dieser Umstand keine wesentliche Beeinträchtigung dar.

Da die Einflussparameter auf die Haftung in der Praxis sehr zahlreich sind und im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden konnten, ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in die Praxis nur beschränkt möglich.

In weitergehenden Untersuchungen können wichtige Einflussgrößen der Praxis auf die Haftung, wie die Verschmutzung der Fahrbahntextur und Feuchtigkeit, gezielt untersucht werden.

6 Literatur

- [1] TL-M „Technische Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien“
- [2] ZTV-M (in der jeweils aktuellen Ausgabe) „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Markierungsmaterialien“
- [3] DIN EN 1436 (1997) „Anforderungen an Markierungen auf Straßen“
- [4] DIN EN 1871 „Physikalische Eigenschaften“
- [5] DIN EN 1790 „Anforderungen an vorübergehende Markierungen“
- [6] TP-M „Technische Prüfbedingungen für Markierungsmaterialien“
- [7] BASt-Bericht „Entwicklung von neuen Methoden für die Musterprüfung und Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen im Rahmen der Einführung der ZTV – M 2000“
- [8] DIN ISO 813 „Kautschuk und Elastomere - Bestimmung der Haftung zu starren Materialien - 90°-Schälverfahren (ISO 813:1997)“

Die Regelwerke [1] bis [6] befinden sich zur Zeit in Überarbeitung

Anhang

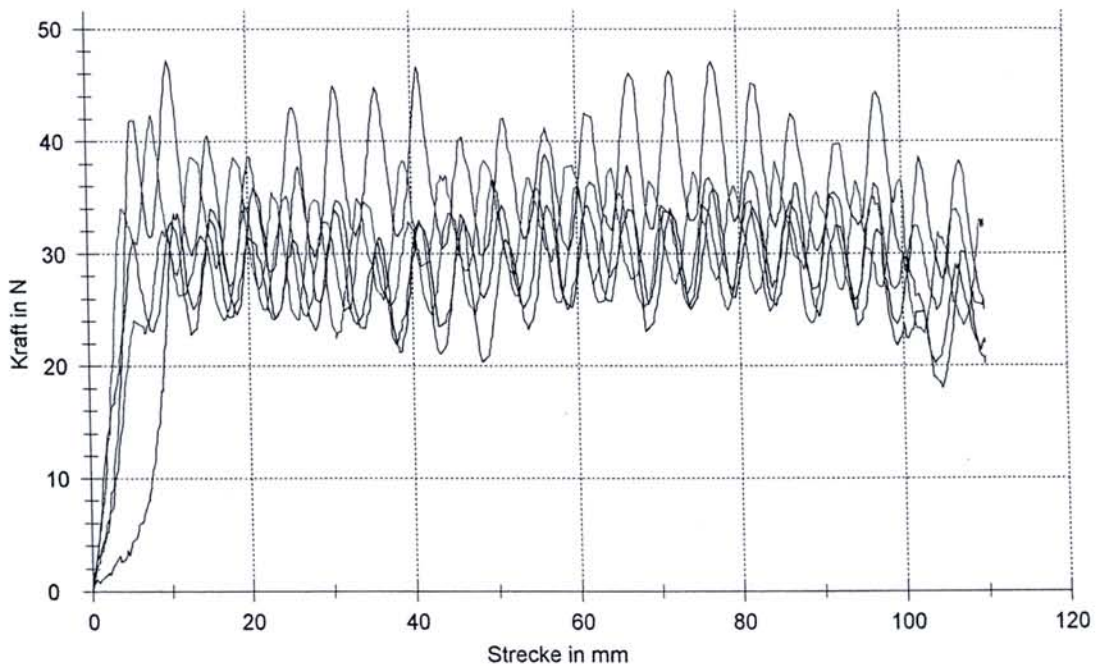
Parametertabelle:

Kunde : BAST	Kraftaufnehmer : Kraftaufnehmer :
Prüfer : Killing	Wegaufnehmer : Wegaufnehmer :
Material : A auf Alu 5x	Probenhalter : Probenhalter : 90°
Prüfnorm: BAST	Maschinendaten : Maschinendaten: Steuerung WN: 111083
	Traverse WN: 111083
	Kraft WN: 810830 200 N

Ergebnisse:

Nr	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
3	37,69	47	-
4	31,84	38	-
6	29,49	39	-
7	29,75	37	-
8	29,53	38	-

Seriengrafik:



Statistik:

Serie n = 5	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
x	31,66	40	-
s	3,51	4	-
v	11,09	10,61	-

Parametertabelle:

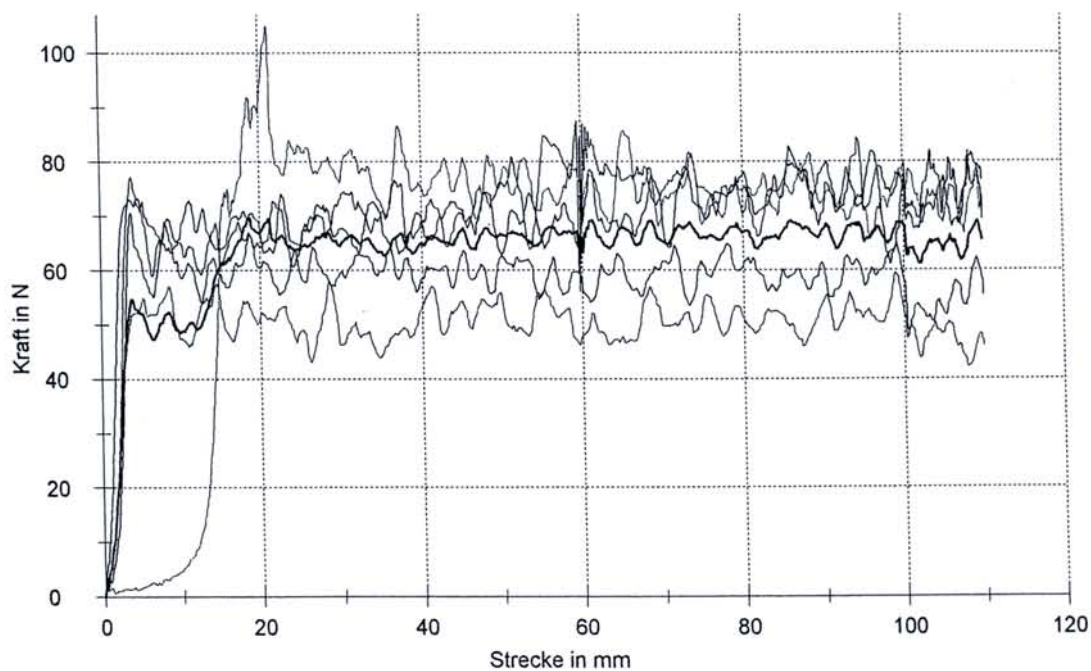
Kunde : BAST
 Prüfer : Killing
 Material :  auf Alu5x
 Prüfnorm: BAST

Kraftaufnehmer :
 Wegaufnehmer :
 Probenhalter : 90°
 Maschinendaten : Steuerung WN: 111083
 Traverse WN: 111083
 Kraft WN: 810830 200 N

Ergebnisse:

Nr	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
1	74,54	87	-
2	75,81	87	-
3	70,78	80	-
6	50,83	58	-
7	59,45	65	-

Seriengrafik:



Statistik:

Serie n = 5	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
x	66,28	75	-
s	10,78	13	-
v	16,26	17,57	-

Parametertabelle:

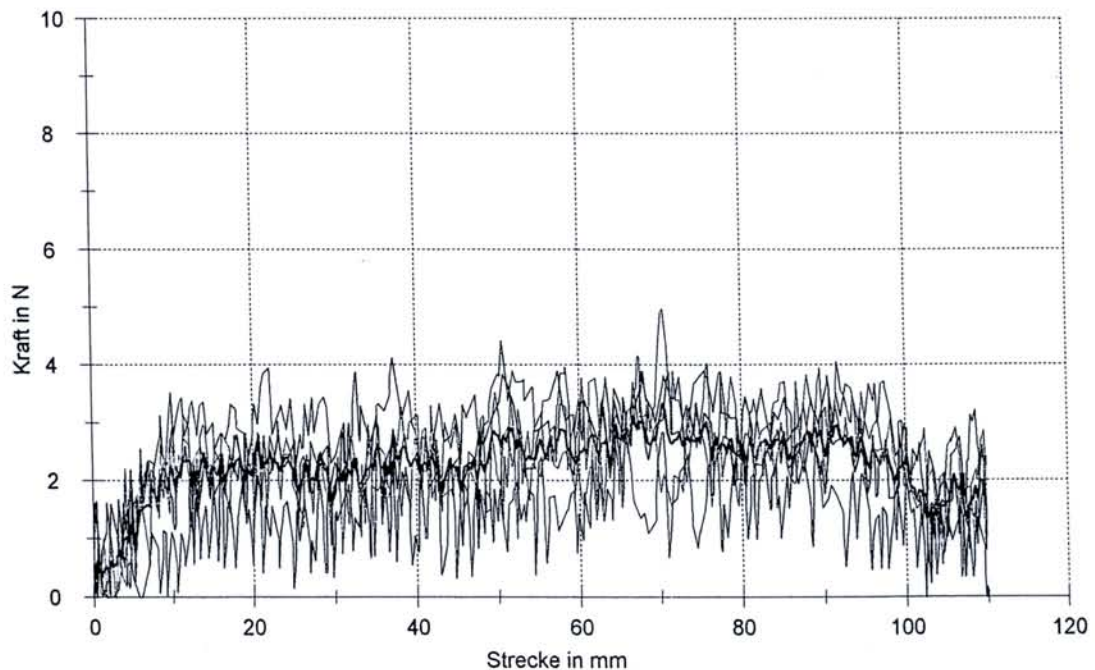
Kunde : BAST
 Prüfer : Killing
 Material : Tesa breit auf SMA 5x
 Prüfnorm: BAST

Lm Meßweg : 80 mm
 ID Proben-ID : 1-2 25.10.06; 3-5 27.11.06
 Nr Probennummer : 6
 v-Prüf Prüfgeschwindigkeit: 80 mm/min

Ergebnisse:

Nr	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
1	3,13	4	-
2	2,41	4	-
3	2,62	4	-
4	2,60	5	-
5	1,56	3	2,88


Seriengrafik:




Statistik:

Serie n = 5	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
x	2,46	4	2,88
s	0,57	1	-
v	23,20	18,97	-

Parametertabelle:

Kunde : BAST
 Prüfer : Killing
 Material : 
 Prüfnorm: BAST

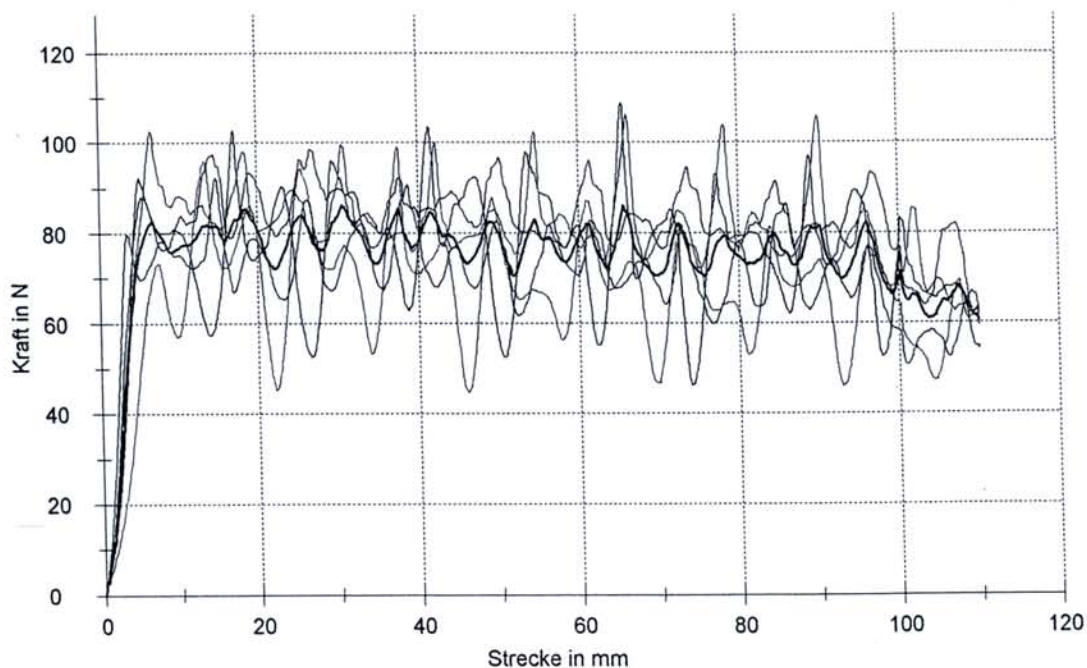
 : auf Alu 5x

Lm Meßweg : 80 mm
 ID Proben-ID : 1
 Nr Probennummer : 6
 v-Prüf Prüfgeschwindigkeit: 80 mm/min

Ergebnisse:

Nr	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
1	73,84	91	-
2	69,23	99	-
3	77,58	109	-
4	85,77	106	-
5	85,56	99	-

Seriengrafik:



Statistik:

Serie n = 5	Fmittel Lm N	Fmax Lm N	Mittelw Fmax Sp N
x	78,40	101	-
s	7,27	7	-
v	9,27	7,01	-

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1993

- S 1: Verwitterungsbeständigkeit von Recycling-Baustoffen
Guth kostenlos
- S 2: Eignung von Grubenbergen als Baustoff für Tragschichten
ohne Bindemittel
Guth kostenlos
- S 3: Altlastenerfassung durch geophysikalische Methoden
Faust kostenlos
- S 4: EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen
Bull-Wasser kostenlos
- S 5: Baubegleitende Messungen B 73n
Heinisch, Blume kostenlos
- S 6: Eignung überdeckter Fugen mit Querkraftübertragung
Fleisch, Bartz kostenlos

1994

- S 7: 33. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1995

- S 8: Anleitung Qualitätsmanagementplan Asphalttragschichten
Freund, Stöckner € 12,50
- S 9: Meßwert- und rechnergestütztes Management der Stra-
ßenenerhaltung – Niederschrift und Referate des Erfahrungsaustau-
ches am 16. und 17. Mai 1995 in Berlin € 13,00
- S 10: 34. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und
Rollwiderstand
Ullrich, Glaeser, Sander € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen –
Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“ € 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdeh-
nungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnah-
men im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphalttschichten
Wolf € 13,00

- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Stra-
ßen-
erhaltungsmanagement € 14,50

- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Stand-
festigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nösler, Straube
Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von
Gesteinskörnungen
H.G. Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und lang-
jähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von
Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Trag-
schicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichte-
verlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen
Straßenenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenenerhaltung
€ 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany,
v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-
grund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim
Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf
wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolida-
tionsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-
grund - Aufgeständerte Gründungspolster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von
Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung
der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundes-
fernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität
des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am
25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines For-
schungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeits-
ausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saar-
brücken € 13,50

2003

S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50

S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues „Straßenrecht“ am 23./24. September 2002 in Saarbrücken
Golkowski € 13,50

S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsvorhabens der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50

S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50

S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50

S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00

S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel € 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 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 heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

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

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus
Grupp, Blümel in Vorbereitung

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 heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.