

# **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 239**



**bast**

# **Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen**

von

Bernhard Steinauer  
Markus Oeser  
Dirk Kemper  
Andreas Schacht

RWTH Aachen  
Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen

Gerald M. Klein

Mechatronic traffic  
Darmstadt

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 239**

**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 SV.0003/2009:**  
Dynamische Messungen der Griffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen

**Fachbetreuung**  
Annette Gail

**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 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-091-5

Bergisch Gladbach, Juni 2014

## Kurzfassung – Abstract

### Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes waren geeignete kontinuierlich messende Verfahren zur kontinuierlichen Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen aufzuzeigen und mögliche Zusammenhänge zwischen diesen kontinuierlichen Verfahren und den Ergebnissen des SRT-Pendelverfahrens herzuleiten. Hierdurch sollten die Grundlagen für eine kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen, insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Ausschreibung von Baumaßnahmen in Form von Funktionsbauverträgen oder ÖPP-Projekten, erarbeitet werden. Diesbezüglich wurden auf Grundlage einer Literaturrecherche drei kontinuierliche Griffigkeitsmesssysteme in die Untersuchungen einbezogen – das ViaFriction, der GripTester und das SKM-Messsystem. Um Vergleichswerte mit dem Standardbewertungsverfahren herleiten zu können, wurden drei verschiedene Markierungsmaterialien (Farbe, Kaltplastik und Folie) mit verschiedenen Griffigkeitsstufen auf einer Teststrecke appliziert und anschließend mit den kontinuierlichen Messsystemen sowie dem SRT-Pendelgerät hinsichtlich der Griffigkeit bewertet. Hierbei konnte eine Griffigkeitsspanne von 35 bis 75 SRT-Einheiten realisiert werden.

Als Ausgangspunkt der Untersuchungen dienten Vorversuche, die die erforderlichen Randbedingungen für eine kontinuierliche Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen definierten und die Grundlage für die anschließenden Hauptversuche bildeten. Betrachtet wurden hierbei der Einfluss der Markierungsbreite, der Messgeschwindigkeit sowie der Markierungsart (durchgängig oder nicht-durchgängig) auf die sogenannte „Erfassungsgüte“, d. h. die Qualität der Markierungsüberfahrt, der kontinuierlichen Verfahren ViaFriction und GripTester. Von einem Einsatz des SKM-Messfahrzeuges im Rahmen der Vorversuche wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber abgesehen. Die Ergebnisse der Vorversuche zeigten, dass sowohl bei dem ViaFriction als auch bei dem GripTester die Qualität der Messungen durch die gleichen Faktoren beeinflusst wird. Demgemäß wurde ersichtlich, dass die Erfassungsgüte der Messungen von der Markierungsbreite abhängt. Eine Abhängigkeit von der Messgeschwindigkeit konnte im Rahmen der Vorversuche

nicht nachgewiesen werden. Dies konnte allerdings in weitergehenden Untersuchungen auf einer längeren Messstrecke im Rahmen der späteren Hauptversuche nachgewiesen werden. Weiterhin wurde ersichtlich, dass gültige Messungen auf nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen unter Berücksichtigung notwendiger Übergangsbereiche beim Übergang zwischen Straßenoberfläche und Fahrbahnmarkierung und der Aufzeichnungsfrequenz der Messverfahren nicht bzw. lediglich bei reduzierter Messgeschwindigkeit realisiert werden konnten.

Im Rahmen der Hauptversuche konnten anhand von Vergleichsuntersuchungen mit dem SRT-Pendelverfahren und den drei kontinuierlich messenden Verfahren (ViaFriction, GripTester und SKM) Vergleichswerte für die Einhaltung der Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02 bzw. 50 SRT-Einheiten als „Übergabewert“ gemäß dem Diskussionspapier „Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen“ [FASA 2010/ Juni; 2010] hergeleitet werden. Dies bildet die Grundlage für eine „mitschwimmende“ Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen unter Verkehr. Weiterhin wurden für jedes kontinuierlich messende Verfahren und für jede Messgeschwindigkeit „ $\mu$ -Vertrauensbereiche“, „ $\mu$ -Unschärfbereiche“ und „ $\mu$ -Verwerfungsbereiche“ unter Berücksichtigung der Messabweichungen der Verfahren definiert. Hierdurch ließe sich zukünftig der Umfang notwendiger SRT-Messungen für die Bewertung des Griffigkeitszustandes von Fahrbahnmarkierungen auf ein Minimum reduzieren. Lediglich im „Unschärfbereich“ sind ergänzende SRT-Messungen durchzuführen, um die Aussagen der kontinuierlichen Messungen zu präzisieren. Im Vertrauens- oder Verwerfungsbereich sind demgegenüber derartige ergänzende Messungen nicht erforderlich.

Als Ergebnis der jetzigen Untersuchungen ist zusammenfassend festzuhalten, dass sich die in die Untersuchungen einbezogenen kontinuierlichen Messsysteme grundsätzlich für die kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen als geeignet erwiesen haben. Dennoch wird zum jetzigen Zeitpunkt empfohlen, die kontinuierliche Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen nicht allein für die Griffigkeitsbewertung von Markierungen in der Praxis heranzuziehen, sondern ergänzend zu dem SRT-Pendelverfahren einzusetzen. Vielmehr wird dazu geraten, vorab die zugrunde liegende Datenbasis auszuweiten, indem weitere Markierungsmaterialien sowie zusätzliche Griffigkeitsstufen betrachtet werden. Im Hinblick auf

den zunehmenden Einsatz von Strukturmarkierungen oder Agglomeraten erscheint auch die Bewertung der Griffigkeit von derartigen Fahrbahnmarkierungen mit kontinuierlich messenden Verfahren als sinnvoll.

### **Dynamic measurement of the skid resistance of road markings**

The focus of this research project was to identify suitable continuous measuring methods for the continuous evaluation of the skid resistance of road markings and derive possible connections between these continuous methods and the results of the skid-resistance-tester (called: SRT, measurement unit: british-pendulum-number "BPN"). This was to develop the bases for a continuous measurement of the skid resistance of road markings, particularly in view of the increasing tendering of building projects in the form of functional building contracts or public/private projects.

To this effect on the basis of literature research three continuous skid resistance measuring systems were included in the tests – the ViaFriction, the GripTester and the SKM measuring system. In order to derive reference values with the standard evaluation method, three different marking materials (paint, cold plastic and foil) with different levels of skid resistance were applied to a test stretch and subsequently evaluated with regard to skid resistance using the continuous measuring systems and the surface friction tester. A skid resistance range of 35 to 75 BPN could be realised.

The starting point for the investigations consisted of pre-tests which defined the necessary boundary conditions for a continuous evaluation of the skid resistance of road markings and formed the basis for the subsequent main tests. Here the influence of the marking width, the measuring speed and the type of marking (continuous or broken) was observed on the so-called "detection rating", i.e. the quality of the marking crossing of the continuous methods ViaFriction and GripTester. In agreement with the contracting authority it was decided not to use the SKM measurement vehicle in the pre-tests. The results of the pre-tests showed that with regard to both the ViaFriction and the GripTester the quality of the measurements is influenced by the same factors. Accordingly it became apparent that the detection quality of the measurements depends on the width of the markings. A dependence on the measurement speed could not be established in the

pre-tests. This could however be established in further tests on a longer test stretch in the course of the subsequent main experiments. Furthermore it became apparent that valid measurements on broken road markings, taking into account the necessary transition areas at the transition between the road surface and the road markings and the recording frequency of the measurement methods, could not be realised or only at a reduced measuring speed.

In the course of the main experiments, based on the reference tests with the SRT and the three continuous measurement methods (ViaFriction, GripTester and SKM), comparative values could be derived for the adherence to the minimum skid resistance of 45 BPN according to ZTV M 02 and 50 BPN as a "transfer value" according to the discussion paper "Guidelines on functional requirements of road markings" [FASA 2010/June; 2010]. This forms the basis for a "within the flow" evaluation of the skid resistance of road markings under traffic. In addition for each continuous measurement method and for each speed "μ-confidence areas", "μ-fuzzy areas" and "μ-rejection areas" were defined taking into account the measurement errors of the methods. This would make it possible to reduce the amount of necessary SRT-measurements for the evaluation of the skid resistance condition of road markings to a minimum in the future. Only in the "μ-fuzzy area" should additional SRT-measurements be carried out in order to make the statements of the continuous measurements more precise. In the confidence or rejection areas however such additional measurements are not necessary.

To summarise the results of the present investigation, the continuous measurement systems included in the tests basically proved to be suitable for the continuous measurement of the skid resistance of road markings. However, it is recommended at the present moment not to use solely the continuous evaluation of the skid resistance of road markings in practice, but to use it in addition to the skid-resistance-tester. It is also recommended to first enlarge the basic database by observing further marking materials and additional skid resistance levels. In view of the increasing use of structure markings and agglomerates the skid resistance evaluation of such road markings with continuous measurement methods also seems to make sense.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung</b> .....	7	5.2.1	SRT-Pendel .....	19
<b>2</b>	<b>Fahrbahnmarkierungen</b> .....	9	5.2.2	Ausflussmesser nach Moore .....	19
2.1	Allgemeines .....	9	5.3	Kontinuierlich messende Verfahren .....	19
2.2	Markierungsarten .....	9	<b>6</b>	<b>Bisherige Untersuchungen</b> .....	20
2.3	Markierungstypen .....	10	6.1	Harmonisierungsversuche .....	20
2.4	Markierungszeichen .....	10	6.1.1	PIARC Ringversuch 1992. ....	20
2.5	Materialien .....	11	6.1.2	Hermes Projekt 2001/2002. ....	21
2.5.1	Lösemittelhaltige Farben .....	11	6.2	Bisherige Untersuchungen an Fahrbahnmarkierungen .....	21
2.5.2	Dispersionen. ....	12	<b>7</b>	<b>Untersuchungskonzept</b> .....	23
2.5.3	Reaktive Stoffe (Kaltplastiken) .....	12	<b>8</b>	<b>Auswahl einer geeigneten Messstrecke</b> .....	24
2.5.4	Thermoplastische Stoffe (Heißplastiken) .....	12	<b>9</b>	<b>Auswahl geeigneter kontinuierlicher Messverfahren</b> .....	25
2.5.5	Vorgefertigte Markierungssysteme. ....	12	9.1	Definition von Randbedingungen. ....	25
2.6	Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen .....	13	9.2	ViaFriction. ....	26
2.6.1	Allgemeines .....	13	9.3	GripTester .....	28
2.6.2	Reflexionseigenschaften. ....	13	9.4	SKM .....	29
2.6.3	Dauerhaftigkeit .....	13	<b>10</b>	<b>Vorversuche</b> .....	30
2.6.4	Griffigkeit. ....	13	10.1	Applikation der Markierung. ....	30
<b>3</b>	<b>Mathematisch-statistische Auswerteverfahren</b> .....	15	10.2	Untersuchungs- und Auswertemethodik – Vorversuche. ....	32
3.1	Statistische Auswertung – Prüfung auf Ausreißer .....	15	10.3	Untersuchungsergebnisse .....	34
3.2	Variationskoeffizient .....	15	10.4	Analyse der Ergebnisse .....	35
3.3	Korrelationsanalyse .....	16	10.4.1	Einfluss der Messgeschwindigkeit ...	35
3.4	Varianzanalyse .....	16	10.4.2	Einfluss der Markierungsbreite. ....	37
3.5	Regressionsanalyse .....	16	10.4.3	Einfluss der Geschwindigkeit auf die Erfassung nicht-durchgängiger Fahrbahnmarkierungen .....	39
3.6	Konfidenzintervalle .....	17	10.4.4	Bewertung des eingesetzten WEBCAM-Systems .....	40
<b>4</b>	<b>Griffigkeit</b> .....	17	10.5	Zusammenfassung der Vorversuche und Ausblick auf die Hauptversuche .....	41
<b>5</b>	<b>Griffigkeitsmesssysteme</b> .....	18			
5.1	Allgemeines .....	18			
5.2	Lokal messende Verfahren. ....	19			

<b>11</b>	<b>Hauptversuche</b> .....	43	<b>Anhänge</b>	
11.1	Auswahl und Applikation der Markierung .....	43	<b>Anhang 1:</b>	Markierungsvorgaben gemäß RMS-2
11.2	Untersuchungs- und Auswerte- methodik – Hauptversuche .....	46	<b>Anhang 2:</b>	Ergebnisse der Vorversuche
11.3	Untersuchungsergebnisse .....	50	<b>Anhang 3:</b>	Statistische Auswertung der Vorversuche
11.4	Analyse der Geschwindigkeits- abhängigkeit der Erfassungsgüte im Rahmen der Hauptversuche .....	53	<b>Anhang 4:</b>	Notwendige Übergangsbereiche
11.5	Analyse der Hauptversuche .....	54	<b>Anhang 5:</b>	Ergebnisse Hauptversuche – SRT-Messungen
11.6	Schlussfolgerung für Agglomerat- bzw. Strukturmarkierungen .....	61	<b>Anhang 6:</b>	Ergebnisse Hauptversuche – ViaFriction
11.7	Zusammenfassung der Hauptversuche .....	61	<b>Anhang 7:</b>	Ergebnisse Hauptversuche – GripTester
<b>12</b>	<b>Fazit und Ausblick</b> .....	62	<b>Anhang 8:</b>	Ergebnisse Hauptversuche – SKM
<b>Literatur</b> .....		63	<b>Anhang 9:</b>	Ergebnisse Regressionsanalyse der Hauptversuche

Die Anhänge zum Bericht sind im elektronischen  
BAST-Archiv ELBA unter:

<http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar



## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Funktionsfähige, gut sichtbare und griffige Fahrbahnmarkierungen sind für eine sichere und flüssige Verkehrsführung, besonders in Baustellenbereichen, von überaus großer Bedeutung. Sie müssen, speziell auch durch den beständig anwachsenden Verkehr, höchsten Beanspruchungen standhalten und jederzeit eine fortlaufende optische Führung der Verkehrsteilnehmer gewährleisten. Insbesondere bei Dunkelheit und Nässe muss diese optische Führung in ausreichendem Maße gegeben sein, da ansonsten die Verkehrsteilnehmer nur vereinzelte Orientierungsmöglichkeiten haben. Dies wird durch sogenannte Typ-II-Markierungen erreicht, die durch ihre besondere Struktur und ihre großen Reflexperlen eine verbesserte Nachtsichtbarkeit bei Nässe gewährleisten. Neben lichttechnischen Anforderungen müssen Fahrbahnmarkierungen aber auch insbesondere Anforderungen an die Griffigkeit erfüllen. Gemäß den Richtlinien für die Markierung von Straßen, Teil 1 (RMS-1) [FGSV, 1993] gilt, dass Markierungszeichen dem Stand der Technik entsprechen und verkehrssicher, also mit ausreichender Griffigkeit, beschaffen sein müssen [JOHN, 1985; MESEBERG, 1993; FGSV RMS-1, 1993].

Die Griffigkeit einer Oberfläche ist definiert als der Gleitreibungswiderstand, den der Fahrzeugreifen auf der Fahrbahnoberfläche beim Bremsen wiederfindet. Sie kennzeichnet die Wirkung der Oberflächentextur und der Fahrbahnbeschaffenheit auf den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn unter festgelegten Bedingungen. Dieser Kraftschluss resultiert aus der Wechselwirkung zwischen Reifen und Oberfläche, dient der Übertragung von Kräften in der Reifenaufstandsfläche („Reifenlatsch“) durch Reibung und ist Voraussetzung für die Übertragung der Längs- und Seitenkräfte, Antriebs- und Bremskräfte sowie für die Spurhaltung des Fahrzeuges [KLUGER-EIGL et al., 2009].

Die Forderung nach einem Mindestmaß der Griffigkeit wird ausschließlich, wie bereits oben angesprochen, durch Sicherheitsüberlegungen geprägt: Fahrbahnmarkierungen dürfen in keinem Fall zusätzliche Unfallursachen darstellen. Daher sollte der Straßenbaulastträger, d. h. Bund, Land und Kommunen, die verkehrstechnischen Eigenschaften der Fahrbahnmarkierungen regelmäßig überprüfen, um seiner Verkehrssicherungspflicht Genü-

ge zu tun. Dabei ist neben den Reflexionseigenschaften (Tages- und Nachtsichtbarkeit) ein besonderes Augenmerk auch auf die Griffigkeit zu legen. Sollte sich bei dieser Überprüfung eine nicht ausreichende Griffigkeit der Markierung herausstellen, sind umgehend Gegenmaßnahmen durch den Straßenbaulastträger einzuleiten: kurzfristig durch eine entsprechende Beschilderung und langfristig durch eine Erneuerung und Verbesserung der Fahrbahnmarkierung [JOHN, 1999; MESEBERG, 1993; FGSV RMS-1, 1993].

Durch die ansteigende Anzahl von Ausschreibungen von Baumaßnahmen in Form von Funktionsbauverträgen oder ÖPP-Projekten wird die Erfassung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen zunehmend bedeutungsvoller, da der Auftragnehmer im Rahmen dieser Ausschreibungsform sowohl den Bau eines Objekts als auch dessen Instandhaltung über einen vertraglich vereinbarten Zeitraum übernimmt. Anders als in einem klassischen Bauvertrag, in dem die geschuldete Qualität durch die Beschreibung der verwendeten Materialien und der Bautechnik definiert wird, haben Funktionsbauverträge die Funktion des Gesamtbauwerks Straße über einen längeren Zeitraum zum Inhalt. Das Gesamtbauwerk umfasst dabei alle Ausstattungsmerkmale der Straße (Leiteinrichtungen, Schutzplanken, Beschilderung, Beleuchtung etc.), zu denen auch die Fahrbahnmarkierungen zählen. Der Zustand der Straßenoberfläche wird im Wesentlichen durch Zustands- und Schadensmerkmale, wie Quer- und Längsebenheit, Griffigkeit und Oberflächenschäden, die in vertraglich vereinbarten Intervallen visuell und messtechnisch überwacht werden müssen, gekennzeichnet. Bei Fahrbahnmarkierungen werden hingegen Zustandsmerkmale, wie Tagessichtbarkeit, Nachtsichtbarkeit (trocken und feucht) und Griffigkeit sowie Schadensmerkmale, wie Verschleiß, abweichende Geometrie vom Sollbild und Abweichung vom Farbort, herangezogen.

Die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen wird gemäß den ZTV M [FGSV ZTV M 02, 2002] mit dem lokal messenden SRT-Pendelverfahren als Standard-Messmethode für die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen erfasst. Als Anforderung wird darin die Klasse S1 gemäß der DIN EN 1436 [DIN EN 1436, 2009] gefordert, die einem SRT-Messwert von  $\geq 45$  SRT-Einheiten entspricht. Im Entwurf der ZTV M xx [FGSV ZTV M xx, 2008] wird diese Anforderung noch zusätzlich durch die Ergänzung „im Neu- und Gebrauchszustand“ erweitert. Abweichend hiervon wird im Diskussionspapier „Leitfaden



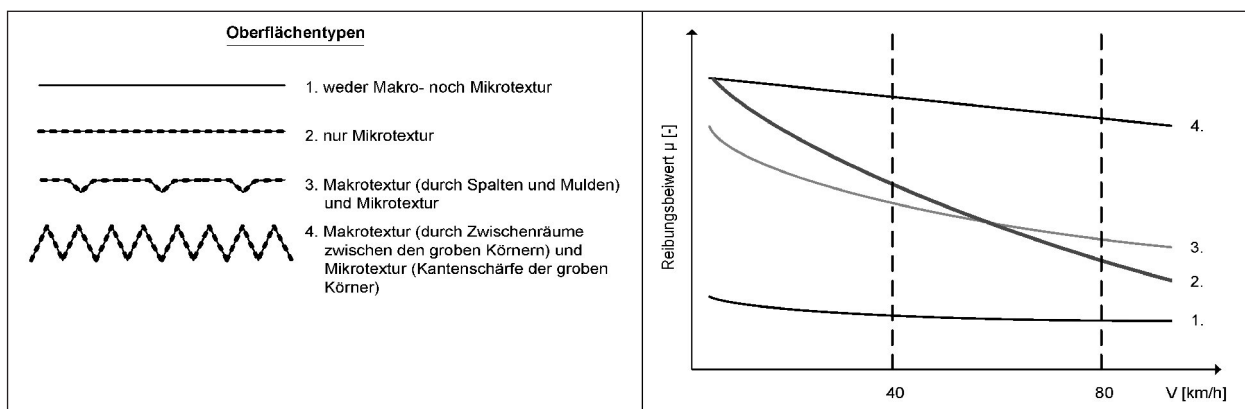
funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen“ [FASA 2010/Juni] diese Anforderung von 45 SRT-Einheiten lediglich für dauerhafte weiße Fahrbahnmarkierungen im Erhaltungszeitraum als Warn- und gleichzeitig Schwellenwert definiert. Dabei entspricht der Schwellenwert dem Zustandsmerkmal, bei dessen Unterschreitung Erhaltungsmaßnahmen einzuleiten und durchzuführen sind. Der Warnwert wiederum entspricht dem Zustandsmerkmal, bei dessen Unterschreitung die Analyse der Ursachen für die Zustandsverschlechterung und die Planung von Maßnahmen durchgeführt werden müssen. Als sogenannter Übergabewert, der zum Zeitpunkt der Übergabe der Fahrbahnmarkierung gefordert wird, wird abweichend von den ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002] eine Griffigkeit von mindestens 50 SRT-Einheiten gefordert [FASA 2010/Juni].

Ist eine Beurteilung der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen mit dem SRT-Pendel nicht möglich, wird sowohl in den ZTV M 02 als auch in der DIN EN 1436 darauf hingewiesen, dass die Beurteilung von Fahrbahnmarkierungen auch durch kontinuierlich messende Verfahren, die die Einwirkung eines Reifens auf nasser Fahrbahn abbilden und für die eine Korrelation zum SRT-Pendelgerät nachgewiesen ist, erfolgen kann [FGSV ZTV M 02, 2002; DIN EN 1436, 2009].

Die Verwendung von kontinuierlich messenden Verfahren würde des Weiteren zu einer Einbeziehung der, aus Sicht der Verkehrssicherheit wichtigen, Makrotextur in die Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen führen. Aufgrund des beim SRT-Pendelgerät vorliegenden Messprinzips ist lediglich eine Bewertung der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen auf Grundlage der Mikrotextur

der Oberfläche möglich – eine Beurteilung der Makrotextur mit dem Ausflussmesser nach Moore ist weder in den ZTV M 02 noch in der DIN EN 1436 vorgesehen. Eine Einbeziehung der Makrotextur erscheint aus Sicht der Verkehrssicherheit für eine „vollständige“ Beurteilung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen aber unumgänglich. Insbesondere bei höheren Fahrgeschwindigkeiten nimmt ohne eine ausreichende Makrotextur bzw. eine ausreichende Drainagefähigkeit der Oberfläche, d. h. eine nicht ausreichende Abführung des Wassers vor dem Reifen, der für die Verkehrssicherheit maßgebende Reibungsbeiwert rasant ab. Dieser Effekt verstärkt sich mit ansteigender Fahrgeschwindigkeit, was vor allem bei Außerortsstraßen, wie Landes- und Bundesstraßen sowie Bundesautobahnen, zu einer erheblichen Gefährdung der Verkehrsteilnehmer, insbesondere der Zweiradfahrer, bei nassen Bedingungen führen kann [FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004].

Durch die Einbeziehung der Makrotextur in die Beurteilung der Griffigkeit kann sich eine Verschiebung der Griffigkeitsbewertung der verschiedenen Oberflächen in der Art ergeben, dass beispielsweise Oberflächen mit einer ausgeprägten Mikrotextur und einer geringen Makrotextur hohe SRT-Messwerte, aber geringe Reibwerte bei höheren Geschwindigkeiten aufweisen (Oberflächentyp 2, vgl. Bild 1). Aufgrund der ausgeprägten Mikrotextur ergeben derartige Oberflächen bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h einen hohen, bei Geschwindigkeit von 80 km/h einen erheblich niedrigeren Reibungsbeiwert, weil infolge mangelnder Makrotextur der Reibungsbeiwert mit zunehmender Geschwindigkeit schnell absinkt. Das Drainagevermögen reicht aufgrund mangelnder Makrotextur nicht aus, um das Wasser abzuführen, so



**Bild 1:** Abhängigkeit der Reibungsbeiwerte von der Geschwindigkeit und dem Oberflächentyp [nach FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004]

dass die Mikrotextrur der Gesteinsoberflächen nicht wirken kann. Folglich werden gerade diese Oberflächen, die aus Sicht der Verkehrssicherheit bei höheren Geschwindigkeiten als ungenügend zu bezeichnen sind, bei der alleinigen Beurteilung mit dem SRT-Pendelgerät deutlich überbewertet (die Messwerte des SRT-Pendelverfahrens bilden dabei den Reibungsbeiwert des blockierten Schlepprades bei  $v = 40 \text{ km/h}$  ab) [FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004].

Hieraus wird die, aus Sicht der Verkehrssicherheit, große Bedeutung der Beurteilung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen unter Einbeziehung sowohl der Makro- als auch der Mikrotextrur ersichtlich. In Bild 1 ist gemäß der Beurteilung mit dem SRT-Pendel der Oberflächentyp 2 dem Oberflächentyp 3 vorzuziehen (vgl. Reihung bei  $40 \text{ km/h}$ ). Allerdings wird unter Berücksichtigung der Makrotextrur deutlich, dass bei einer Geschwindigkeit von  $80 \text{ km/h}$  der Oberflächentyp 3 dem Oberflächentyp 2 vorzuziehen ist. Aus Sicht der Verkehrssicherheit würde das bisherige Verfahren folglich zu einer Überbewertung der mit geringer Makrotextrur versehenen Markierung (entspricht Oberflächentyp 2) führen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes ist daher vorgesehen, ein geeignetes Verfahren zur kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen anhand einer ausführlichen Literaturanalyse sowie Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen kontinuierlich messenden Verfahren aufzuzeigen und mögliche Zusammenhänge zwischen diesen Verfahren und den Ergebnissen des SRT-Pendelverfahrens in einem definierten SRT-Bereich herzuleiten. Diese sollen eine Übertragung definierter SRT-Werte (45 bzw. 50 SRT-Einheiten) in kontinuierlich erfasste Reibungsbeiwerte erlauben. Damit sollen im Hinblick auf die Zunahme von Funktionsausschreibungen eine Möglichkeit zur Beurteilung der Griffigkeit mit kontinuierlich messenden Verfahren und somit ein Alternativverfahren zu dem stationären SRT-Pendelverfahren geschaffen werden. Zu diesem Zweck gilt es, neben Grenzwerten für die Mindestgriffigkeit von Fahrbahnmarkierungen gemäß DIN EN 1436 (Mindestgriffigkeit: 45 SRT-Einheiten) auch „Bewertungsbereiche“ für die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen festzulegen, in denen ggf. weiterhin ergänzende SRT-Messungen vorzusehen sind. Diese Grenzwerte und Bewertungsbereiche sind dabei für verschiedene kontinuierlich messende Verfahren und verschiedene Messgeschwindig-

keiten herzuleiten. Insbesondere sind hierbei Bereiche festzulegen, die eine konkrete Bewertung des Griffigkeitszustandes der Markierung unter Berücksichtigung der maximalen Messabweichungen der kontinuierlich messenden Verfahren zulassen. In den Bereichen, in denen keine konkrete Aussage hinsichtlich des Griffigkeitszustandes möglich ist, sind ergänzende SRT-Messungen durchzuführen. Damit ließe sich der Umfang notwendiger SRT-Messungen für die Bewertung des Griffigkeitszustandes von Fahrbahnmarkierungen auf ein Minimum reduzieren.

## 2 Fahrbahnmarkierungen

### 2.1 Allgemeines

Fahrbahnmarkierungen sind Markierungszeichen gemäß § 41 Abs. 3 und § 42 Abs. 6 StVO und Kapitel 2 der „Richtlinien für die Markierung von Straßen, Teil 1“ (RMS-1) [FGSV RMS-1, 1993]. Sie bilden gemeinsam mit Straßenmarkierungsknöpfen die horizontalen Signaleinrichtungen auf Straßen und umfassen Längsmarkierungen, Pfeile, Quermarkierungen, Texte und Symbole. Die Applikation von Fahrbahnmarkierungen erfolgt durch das Aufbringen von Farbe, Heiß- und Kaltplastikmassen sowie durch vorgefertigte Folien und Symbole. Fahrbahnmarkierungen müssen den „Technischen Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien (TL M)“ in der jeweils gültigen Fassung entsprechen [DIN EN 1436, 2009; FGSV ZTV M 02, 2002; FGSV ZTV M xx, 2008; FGSV TL M 06, 2006].

### 2.2 Markierungsarten

Gemäß den „Richtlinien für Markierungen von Straßen, Teil 1 (RMS-1)“ werden Fahrbahnmarkierungen in zwei maßgebende Fälle unterteilt: Markierungen der knotenpunktfreien Strecke und Markierung der Knotenpunktbereiche. Nachfolgend werden unter Berücksichtigung des angestrebten Projektziels, d. h. der Identifikation eines geeigneten Messverfahrens für die kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen, die wichtigsten Standardmarkierungen auf knotenpunktfreien Strecken außerhalb von Ortschaften näher erläutert. Auf die Markierung von knotenpunktfreien Strecken innerhalb von Ortschaften sowie von Knotenpunkten außerhalb bebauter Gebiete wird nicht näher eingegangen, sondern auf die Richtlinien für die Markie-

zung von Straßen [FGSV RMS 1, 1993; FGSV RMS-2, 1980] verwiesen.

### Dauerhafte Markierungen

Dauerhafte Markierungen sind weiße Fahrbahnmarkierungen in festgelegter endgültiger Lage [FGSV, ZTV M 02, 2002].

### Vorübergehende Markierungen

Im Bereich von Arbeitsstellen auf Straßen werden vorübergehende gelbe Fahrbahnmarkierungen appliziert. Diese heben für einen vorübergehenden Zeitraum die vorhandenen dauerhaften weißen Markierungen auf und zeigen dem Verkehrsteilnehmer dadurch eine geänderte Verkehrsführung innerhalb der Baustelle an [FGSV ZTV M 02, 2002].

Neben unstrukturierten Fahrbahnmarkierungen mit ebener Oberfläche werden auch strukturierte Markierungen (Muster, Profile bzw. mit einer unregelmäßigen Oberflächenbeschaffenheit) eingesetzt. Diesbezüglich sind besonders Agglomerate hervorzuheben.

### Agglomerate

Grobstrukturierte aus Einzelteilen bestehende Fahrbahnmarkierungen werden als Agglomeratmarkierungen bezeichnet. Diese werden aus regelmäßig oder unregelmäßig angeordneten unterschiedlichen Markierungsstoffen hergestellt. Dabei können die Agglomerate mit und ohne vollflächige Unterlegung (Grundstrich) appliziert werden [DIN EN 1436, 2009].

## 2.3 Markierungstypen

Fahrbahnmarkierungen lassen sich in zwei Typen unterscheiden. Maßgebend für diese Unterscheidung ist die Nachtsichtbarkeit bei Nässe der Markierungen. Typ-I-Markierungen weisen keine besonders ausgeprägte Nachtsichtbarkeit bei Nässe auf. Typ-II-Markierungen weisen demgegenüber allerdings eine erhöhte Nachtsichtbarkeit bei Nässe auf [FGSV ZTV M 02, 2002].

## 2.4 Markierungszeichen

Bei Fahrbahnmarkierungen werden in Abhängigkeit der Straßenkategorie unterschiedliche Strichbreiten verwendet. Auf Bundesautobahnen kommen als

	Autobahnen	Andere Straßen
Schmalstrich	15 cm	12 cm
Breitstrich	30 cm	25 cm

Tab. 1: Strichbreiten gemäß RMS-1 [FGSV RMS-1, 1993]

Schmalstrich Breiten von 15 cm und als Breitstrich 30 cm zum Einsatz (vgl. Tabelle 1). Demgegenüber kommen auf allen anderen Straßen als Schmalstrichmarkierungen mit einer Breite von 12 cm und als Breitstrichmarkierungen mit einer Breite von 25 cm zum Einsatz [FGSV RMS-1, 1993].

Neben der Breite der Fahrbahnmarkierung wird zwischen durchgängigen und nicht-durchgängigen Markierungen unterschieden. Beispielsweise dürfen nicht-durchgängige Markierungen (Leitlinien) vom Verkehrsteilnehmer überfahren werden und dienen diesem als Orientierungshilfe und Fahrstreifenkennzeichnung. Nachfolgend werden die verschiedenen Grundformen von Fahrbahnmarkierungen – Fahrbahnrandmarkierung, Warnlinien und Leitlinien – kurz erläutert. Für eine detaillierte Aufschlüsselung der verschiedenen Markierungsgrundformen wird auf die „Richtlinie für die Markierung von Straßen“ (RMS-1), Kapitel 2.1.2 verwiesen [FGSV RMS-1, 1993].

### Fahrbahnrandmarkierungen

Außerhalb von Ortschaften sind in der Regel Fahrbahnbegrenzungen zu applizieren, wenn die Breite der Fahrbahn  $\geq 5,0$  m beträgt oder die Ränder aufgrund anderer Bestandteile der Straße nicht eindeutig zu erkennen sind. Diese Fahrbahnbegrenzungsmarkierungen bestehen aus durchgehenden Strichen, die auf Straßen mit befestigten Seitenstreifen mit einer Breite  $\geq 1,0$  m als Breitstriche ausgeführt werden, sonst als Schmalstrich [FGSV RMS-1, 1993].

### Warnlinien

Mit Hilfe von Warnlinien werden Fahrstreifenbegrenzungen und einseitige Fahrstreifenbegrenzungen eingeleitet. Des Weiteren werden Warnlinien vor Fußgänger- und Radfahrerfurten und vor Fußgängerüberwegen appliziert. Sie bestehen aus nicht-durchgängigen Schmalstrichen mit einem Verhältnis Strich – Lücke von 2:1 [FGSV RMS-1, 1993].

Wie und wo die Fahrbahnmarkierung appliziert wird, ist den „Richtlinien für die Markierung von

Straßen, Teil 2“ (RMS-2) [FGSV RMS-2, 1980] zu entnehmen. Dabei sind die Markierungen in Abhängigkeit der befestigten Fläche gemäß den dargestellten Bildern zu applizieren. Im Anhang 1 werden beispielhaft die Applizierungsvorgaben für eine Landesstraße (RQ 9,5), eine Bundesstraße (RQ 10,5) sowie eine 2-streifige Autobahn (RQ 31 (früher RQ 29)) dargestellt, die im Rahmen des Projektes als Referenzquerschnitte für eine Landesstraße, eine Bundesstraße sowie eine Bundesautobahn dienen.

### Leitlinien

Außerhalb von Ortschaften sind Straßen mit befestigten Breiten  $\geq 5,5$  m zur Aufteilung in Fahrstreifen mit Leitlinien zu markieren. Diese bestehen aus gleich langen Strichen in regelmäßigen Abständen. Dabei sind die Abstände und Längen abhängig vom jeweiligen Einsatzbereich. Das Verhältnis Strich – Lücke hängt ebenfalls vom Einsatzbereich ab [FGSV RMS-1, 1993].

## 2.5 Materialien

Fahrbahnmarkierungen können in Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme sowie für vorgefertigte Markierungssysteme eingeteilt werden (vgl. Bild 2). Als Material für nicht

vorgefertigte Fahrbahnmarkierungen kommen lösemittelhaltige Farben, Dispersionen, reaktive Stoffe sowie thermoplastische Stoffe zum Einsatz (vgl. Bild 3). Meist ist die Einsatzbestimmung entscheidend dafür, welches Markierungssystem gewählt wird.

### 2.5.1 Lösemittelhaltige Farben

Lösemittelhaltige Farben bestehen aus Bindemitteln wie beispielsweise Acrylat- oder Epoxidharzen sowie Pigmenten, Lösemitteln, Füllstoffen und Additiven. Unterschieden werden ein- und mehrkomponentige lösemittelhaltige Farben. Bei einkomponentigen lösemittelarmen Farben erfolgt die sogenannte Filmbildung, d. h. die Aushärtung, rein physikalisch durch Verdunsten der enthaltenden organischen Lösemittel. Mehrkomponentige lösemittelarme Farben bestehen aus zwei oder mehreren Komponenten (Stammkomponente und Härterkomponente), wobei in der Regel die Stammkomponente pigmentiert und die Härterkomponente unpigmentiert ist. Die Aushärtung erfolgt durch Verdunsten der enthaltenen Lösemittel und durch chemische Reaktion. Die Prozesse laufen annähernd zeitgleich ab und das fertige Gemisch ist nur innerhalb der sogenannten Topfzeit, d. h. der Zeit bis zur Filmbildung, verarbeitbar [FGSV TL M 06, 2006; DSGS, 2011].

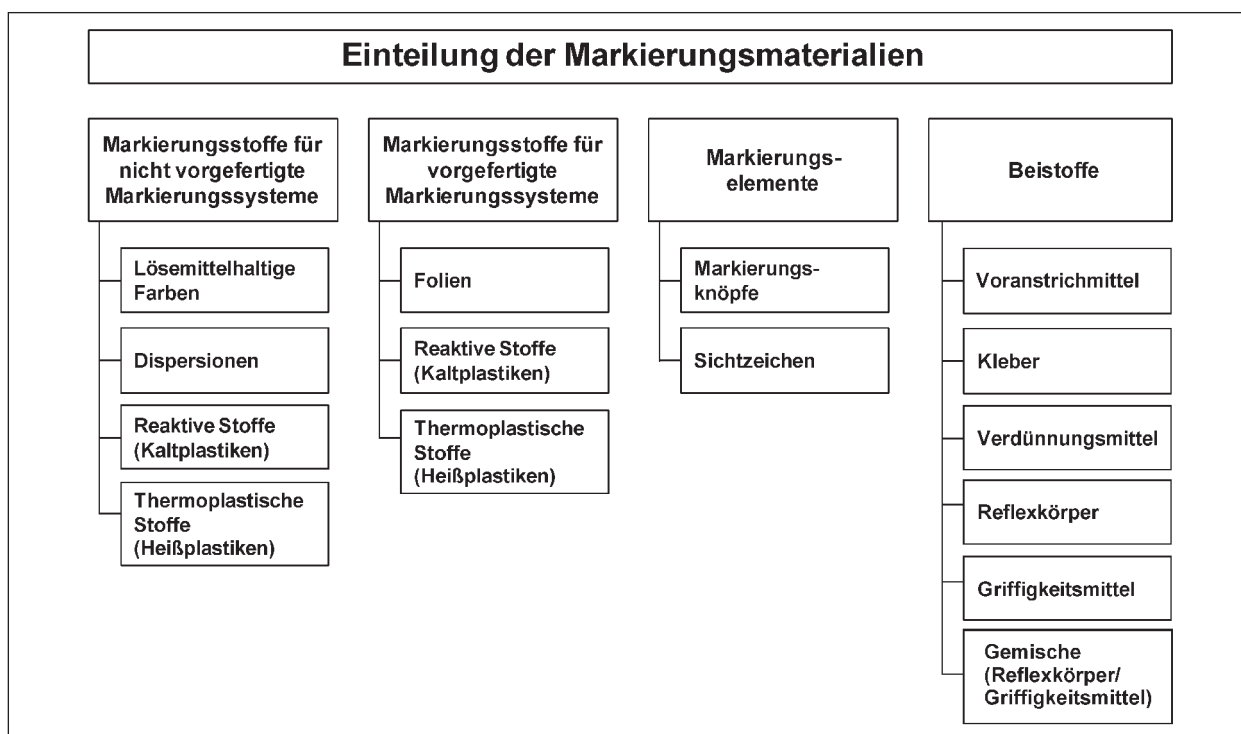


Bild 2: Einteilung der Markierungsmaterialien [FGSV TL M 06, 2006]



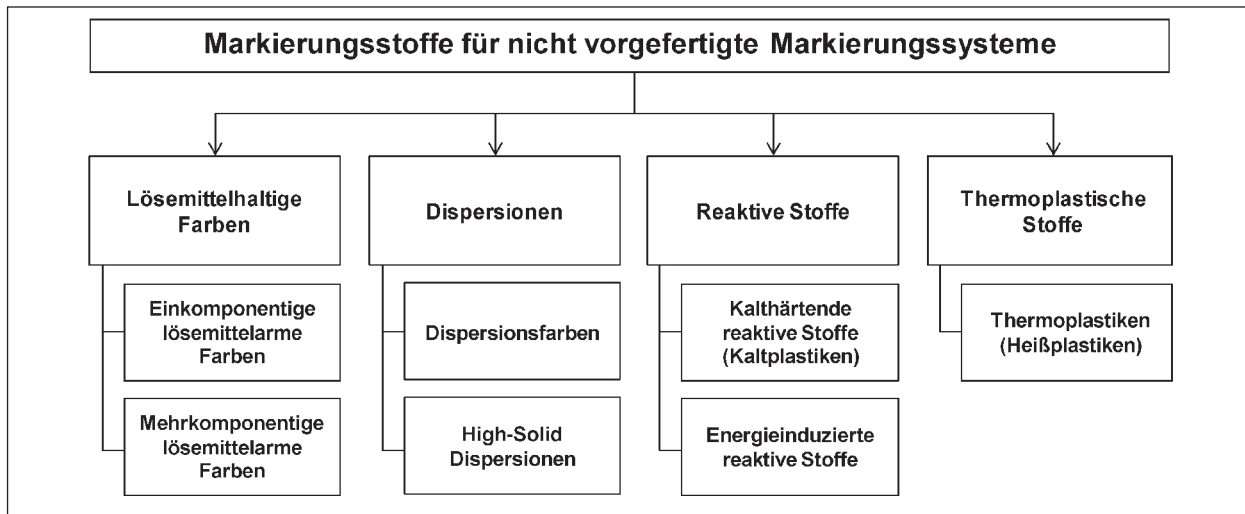


Bild 3: Einteilung der Markierungsstoffe für nicht vorgefertigte Markierungssysteme [FGSV TL M 06, 2006]

### 2.5.2 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 [FGSV TL M 06, 2006; DSGS, 2011].

Bei Dispersionsfarben besteht die flüchtige Komponente überwiegend aus Wasser. Der Gehalt an flüchtigen organischen Lösemitteln beträgt weniger als 2 Gew.-%. Der Gesamtgehalt an flüchtigen organischen Komponenten (Volatile usw.) beträgt weniger als 3 Gew.-% [FGSV TL M 06, 2006; DSGS, 2011].

Bei High-Solid-Dispersionen besteht die flüchtige Komponente überwiegend aus Wasser mit einem Gesamtanteil kleiner als 20 Gew.-%. Der Gehalt an flüchtigen organischen Lösemitteln beträgt weniger als 2 Gew.-%. Der Gesamtgehalt an flüchtigen organischen Komponenten (Volatile usw.) beträgt weniger als 3 Gew.-%. Der Feststoffgehalt insgesamt beträgt mehr als 80 Gew.-%. Bei High-Solid-Dispersionen findet neben der physikalischen Trocknung zusätzlich eine chemische Nachreaktion statt [FGSV TL M 06, 2006; DSGS, 2011].

### 2.5.3 Reaktive Stoffe (Kaltplastiken)

Reaktive Stoffe bestehen aus einer oder mehreren Komponenten, härten durch chemische Reaktion aus und sind lösemittelfrei. Bei der Aushärtung geht der reaktive flüssige Bestandteil in einen Feststoff

über und es entsteht ein duroplastischer Werkstoff, der je nach Zusammensetzung noch elastisch, jedoch nicht mehr schmelzbar ist. Kalthärtende reaktive Stoffe bestehen mindestens aus zwei Komponenten, wovon eine Komponente einen Härter und eine Komponente einen Beschleuniger enthält. Je nach Art des Systems werden die Komponenten in verschiedenen Verhältnissen gemischt, innerhalb der Topfzeit appliziert und härten durch geeignete Initiatorsysteme bei Umgebungstemperatur aus [FGSV TL M 06, 2006; DSGS, 2011].

### 2.5.4 Thermoplastische Stoffe (Heißplastiken)

Thermoplastische Stoffe beinhalten thermoplastische Bindemittel (z. B. Kohlenwasserstoff-, Maleinat- und Esterharze). Sie sind lösemittelfrei und haben in der Regel eine Verarbeitungstemperatur zwischen 150 °C und 230 °C. Bei der Abkühlung (Erstarrungsphase) bildet sich ein zusammenhängender Film [FGSV TL M 06, 2006; DSGS, 2011].

### 2.5.5 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 gleich bleibend 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 [FGSV TL M 06, 2006].

## 2.6 Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen

### 2.6.1 Allgemeines

Fahrbahnmarkierungen sind Ausstattungskomponenten von Straßen- und Verkehrsanlagen, die in entscheidendem Maße die Sicherheit und Ordnung des Verkehrs beeinflussen und unnötige Verkehrsstörungen vermeiden sollen. Sie sind daher zur Aufrechterhaltung einer geregelten, sicheren Verkehrsabwicklung unerlässlich. Um diese Funktion zu gewährleisten, müssen Fahrbahnmarkierungen Anforderungen an die Reflexionseigenschaften, die Dauerhaftigkeit und die Griffbarkeit erfüllen. Diese sind unabhängig davon, ob es sich um vorübergehende gelbe oder dauerhafte weiße Markierungen handelt [FGSV TL M 06, 2006; FGSV ZTV M 02, 2002; FGSV ZTV M xx, 2008].

Nachfolgend wird diesbezüglich auf die verkehrstechnischen Eigenschaften, Reflexionseigenschaften, Dauerhaftigkeit und Griffbarkeit näher eingegangen.

### 2.6.2 Reflexionseigenschaften

Alle Führer von Kraftfahrzeugen müssen zu jeder Zeit in der Lage sein, die Markierung eindeutig zu erkennen und wahrnehmen zu können. Diese Anforderung ist demnach unabhängig von der Tageszeit sowie den Witterungsbedingungen. Oft tritt z. B. das Problem auf, dass Markierungen bei Nässe in der Dunkelheit sehr schwer zu erkennen sind. Um die Eignung eines Markierungssystems im Hinblick auf die Sichtbarkeit zu überprüfen, wird der Leuchtdichtkoeffizient  $Q_d$  bei diffuser Beleuchtung (Tagessichtbarkeit) bzw. die Retroreflexion  $R_L$  zur Berücksichtigung der Fahrzeugscheinwerfer (Nachtsichtbarkeit) bestimmt. Werden hierbei festgelegte Mindestwerte erreicht, so ist die Markierung für den Einsatz geeignet. Zusätzlich werden auf europäischer Ebene die Grenzwerte noch in verschiedene Klassen unterteilt, da die Markierung nicht für jeden Einsatzzweck und -ort die gleichen Sichtbarkeitseigenschaften aufweisen muss [DIN EN 1436, 2009].

### 2.6.3 Dauerhaftigkeit

Die Dauerhaftigkeit der Markierung spielt nicht nur für die Verkehrssicherheit eine Rolle, sondern es sind auch wirtschaftliche Gesichtspunkte von Bedeutung. Endet die Lebensdauer von Fahrbahn-

Verkehrsklasse	Anzahl der Überrollungen auf der RPA
P2	100.000
P3	200.000
P4	500.000
P5	1.000.000
P6	2.000.000
P7	> 2.000.000

Tab. 2: Verkehrsklassen von Markierungssystemen nach ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002]

markierungen frühzeitig, so ist eine Erneuerung erforderlich. Aus diesem Grund sollte die Fahrbahnmarkierung die gestellten Anforderungen an die Dauerhaftigkeit möglichst lange erfüllen. Die Dauerhaftigkeit hängt in erster Linie von der Anzahl der Überrollungen ab. Hierbei gilt, dass häufiges Überfahren oder Berühren die Markierung schwächt. Die Witterung hingegen spielt, abgesehen von Schneefall und dem damit verbundenen Winterräumdienst, keine übergeordnete Rolle. Vor diesem Hintergrund werden Fahrbahnmarkierungen bezüglich der Dauerhaftigkeit in Verkehrsklassen eingeteilt. Diese Verkehrsklassen kennzeichnen die Anzahl der Überrollungen, die auf die untersuchte Markierung ohne Verlust der Funktion eingetragen werden können. Die Anzahl der Radüberrollungen wird auf der Rundlaufprüfanlage (RPA) der BASt bestimmt (Verkehrsklassen gemäß Tabelle 2).

### 2.6.4 Griffbarkeit

Fahrbahnmarkierungen müssen zur Erfüllung ihrer Funktionen für die Sicherheit und Ordnung des Verkehrs, im Interesse der Wirtschaftlichkeit und zur Vermeidung unnötiger Verkehrsstörungen neben Anforderungen an die Reflexionseigenschaften und die Dauerhaftigkeit insbesondere auch Anforderungen an die Griffbarkeit erfüllen. Gemäß den ZTV M [FGSV ZTV M 02, 2002] ist das Maß für die Griffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen der nach DIN EN 1436 mit dem SRT-Pendelgerät (SRT = Skid Resistance Tester) gemessene SRT-Wert. Die Griffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen muss den Anforderungen der Klasse S1 (SRT  $\geq$  45 SRT-Einheiten, vgl. Tabelle 3) der DIN EN 1436 genügen.

Im Vergleich zu den Anforderungen an die Griffbarkeit von Straßenoberflächen liegt diese Mindestanforderung allerdings unterhalb des Schwellenwertes von 50 SRT-Einheiten für Straßenoberflächen



Klasse	Mindestwerte der Griffigkeit
S0	Keine Anforderung
S1	SRT $\geq$ 45
S2	SRT $\geq$ 50
S3	SRT $\geq$ 55
S4	SRT $\geq$ 60
S5	SRT $\geq$ 65

Die Klasse S0 ist für den Fall vorgesehen, dass der SRT-Wert nicht gemessen werden kann

Tab. 3: Griffigkeitsanforderungen [DIN EN 1436, 2009]

Zustandswerte		Zustandsgrößen	
Zustandswert	Bedeutung	Messverfahren SRT/AM	
		SRT [Einheiten]	AM [s]
1,5	Zielwert	65	$\leq$ 30
3,5	Warnwert	55	$\leq$ 60
4,5	Schwellenwert	50	$\leq$ 120

Tab. 4: Einordnung der Griffigkeit beim Messverfahren SRT/AM hinsichtlich Zustandswerten und -größen [FGSV, MB Griff-StB 2003]

bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von  $v > 50$  km/h (Zustandswert = 4,5, vgl. Tabelle 4) gemäß dem „Merkblatt zur Bewertung der Straßen-griffigkeit bei Nässe“ [FGSV MB Griff-StB, 2003].

Diesbezüglich ist festzuhalten, dass sich das Merkblatt nicht mit Fahrbahnmarkierungen befasst. Allerdings wird durch den Vergleich mit dem MB Griff ersichtlich, dass bei Fahrbahnmarkierungen geringere Mindestanforderungen an die Griffigkeit gestellt werden als bei Straßenoberflächen. Dies könnte zum einen durch die Lage auf der Straßenoberfläche (zumeist in nicht befahrenen Rand- oder Mittelbereichen) und zum anderen durch den geringen flächenmäßigen Anteil der Fahrbahnmarkierung an der Gesamtstraßenoberfläche begründet werden.

Der Umfang der SRT-Messungen zur Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen wird gemäß ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002] bei Längsmarkierungen durch die Länge, bei anderen Markierungszeichen durch die Fläche der zu beurteilenden Markierung bestimmt (vgl. Tabelle 5). Dabei umfasst ein Messabschnitt gemäß ZTV M 02 bei durchgängigen Längsmarkierungen 100 m Länge, bei nicht-durchgängigen Längsmarkierun-

Zu beurteilende Länge einer Längsmarkierung [km]	Anzahl der Messabschnitte
< 1	1
1 bis 5	2
> 5 bis 10	3
> 10	4

Tab. 5: Anzahl der Messabschnitte nach ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002]

gen 10 Strichlängen und bei allen anderen Markierungen ein Einzelteil. Diese in den ZTV M 02 definierten Messabschnitte weichen allerdings von den Vorgaben der „Technischen Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil Messverfahren SRT“ (TP Griff-StB (SRT)) [FGSV, 2004] ab. Hierbei sind Messabschnitte mit Längen von 25 m für die Bewertung einer Gesamtlänge von 300-500 m heranzuziehen. Gemäß ZTV M 02 sind in der ersten Bewertungsstufe in jedem der Messabschnitte 5 Messpunkte gleichmäßig verteilt auszuwählen und das arithmetische Mittel aus den Einzelwerten zu bilden [DIN EN 1436, 2009; FGSV ZTV M 02, 2002; FGSV ZTV M xx, 2008]

Liegt dieses arithmetische Mittel innerhalb des Messwertbereichs von  $42 \leq \text{SRT} \leq 48$  ist die Prüfung um 5 weitere Messpunkte zu ergänzen (gemäß ZTV M 02 – Anhang 6, Tabelle A 6.1). Liegt es außerhalb dieses Bereiches, ist die Prüfung mit dem Ergebnis „Anforderung erfüllt ( $> 48$  SRT-Einheiten)“ oder „Anforderung nicht erfüllt ( $< 42$  SRT-Einheiten)“ zu beenden. Liegt das um 5 weitere Messwerte ergänzte arithmetische Mittel aller Messergebnisse oberhalb bzw. unterhalb der Mindestanforderung von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02, ist diese erfüllt bzw. nicht erfüllt.

Diese Vorgehensweise ist allerdings nur bei flachen Fahrbahnmarkierungen sowie bei in geringem Maße profilierten Fahrbahnmarkierungen anwendbar. Dies bedeutet, dass das Verfahren für Fahrbahnmarkierungen, die in hohem Maße profiliert sind, oder für Agglomeratmarkierungen ungeeignet ist, weil sich die für die Messung mit dem SRT-Pendel notwendige Reiblänge aufgrund der Strukturierung nicht einstellen lässt. Daher können gemäß DIN EN 1436 für derartige Fahrbahnmarkierungen, bei denen die Bewertung mit dem SRT-Pendelverfahren nicht realisiert werden kann, kontinuierlich messende Verfahren verwendet werden, die die Einwirkung eines Reifens auf eine Fahrbahn unter nassen Bedingungen abbilden und für die eine

Messgeschwindigkeit [km/h]	Mindestwerte $\mu_{GT}$ , gemittelt über die Streckenlänge von 100 m
6 (Schiebebetrieb)	0,48
40	0,41
60	0,34
80	0,27

Tab. 6: Mindestreibungsbeiwerte GripTester [FGSV, 1999]

Zustandswerte		Zustandsgrößen	
Zustandswert	Bedeutung	LFC-Messverfahren (GripTester) $\mu_{LFC}$ bei $v =$	
		40 km/h	60 km/h
1,5	1,5 Wert	0,64	0,62
3,5	Warnwert	0,46	0,44
4,5	Schwellenwert	0,38	0,36

Tab. 7: Einordnung der Griffigkeit beim LFC-Verfahren für Straßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von  $v > 50$  km/h (bezogen auf 100-m-Mittelwerte) bei den kontinuierlich messenden Verfahren [FGSV Entwurf MB Griff-StB, 2010]

nachweisliche Korrelation zu den SRT-Messwerten besteht.

Derartige Vergleichswerte bei Fahrbahnmarkierungen zwischen kontinuierlich und lokal messenden Verfahren wurden erstmals in den inzwischen durch das ARS 3/2002 aufgehobenen „Hinweisen für die Fahrbahnmarkierungen mit erhöhter Nachsichtbarkeit bei Nässe“ [FGSV, 1999] definiert. Für Fahrbahnmarkierungen, die nicht mit dem SRT-Pendel beurteilt werden konnten, konnte demnach der GripTester (LFC-Verfahren) eingesetzt werden. Es wurden minimal zulässige Reibwerte des GripTesters bei verschiedenen Geschwindigkeiten definiert, um die Mindestanforderung von 45 SRT-Einheiten zu gewährleisten (vgl. Tabelle 6) [DIN EN 1436, 2009; FGSV, 1999; FGSV ZTV M 02, 2002].

Diese Mindestwerte liegen allerdings, ebenso wie die Anforderung an den SRT-Wert, unterhalb des Schwellenwertes für Straßenoberflächen bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von  $v > 50$  km/h (Zustandswert = 4,5, vgl. Tabelle 7) gemäß dem Entwurf des „Merkblattes zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe“ [FGSV Entwurf MB Griff-StB, 2010]. Auch hier kann dies zum einen durch die Lage auf der Straßenoberfläche (zumeist in nicht befahrenen Rand- oder Mittelbereichen) und zum anderen durch den geringen flächenmäßigen

Anteil der Fahrbahnmarkierung an der Gesamtstraßenoberfläche begründet werden. Aus Sicht der Verkehrssicherheit ist dennoch zu hinterfragen, ob diese geringeren Anforderungen an die Griffigkeit nicht zu einem erhöhten Gefährdungspotenzial der Verkehrsteilnehmer führen.

### 3 Mathematisch statistische Auswerteverfahren

In diesem Kapitel werden die eingesetzten statistischen Auswerteverfahren kurz vorgestellt. Hier werden lediglich das Ziel sowie das Prinzip und die Voraussetzungen für diese Verfahren dargestellt. Die beschriebenen statistischen Verfahren wurden im Rahmen dieses Projektes in Bezug auf die Aufgabenstellung sowohl bei den Vor- als auch insbesondere bei den Hauptversuchen angewendet. Im Rahmen dieses Projektes kam die Statistiksoftware „SPSS“ zum Einsatz.

#### 3.1 Statistische Auswertung – Prüfung auf Ausreißer

Die Prüfung auf Ausreißer erfolgt gemäß dem „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern“ [FGSV, 2003].

Inwieweit ein Messwert als statistischer Ausreißer zu gelten hat, wird mit dem statistischen Ausreißertest nachgewiesen. Mit einem solchen Test wird entschieden, ob die Abweichung des ausreißerverdächtigen Wertes von den übrigen Werten der Messreihe im Rahmen der Gegebenheit und Voraussetzungen statistisch signifikant ist. Erweist sich die Abweichung als statistisch signifikant, ist der betreffende Messwert als statistischer Ausreißer identifiziert und daher aus der Messreihe zu eliminieren. Die Prüfung auf statistische Ausreißer erfolgt nach dem Verfahren von DAVIES/GATHER mit dem Hampel-Identifizierer in 8 Schritten gemäß dem „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern“ der FGSV [FGSV, 2003].

#### 3.2 Variationskoeffizient

Der von K. PEARSON eingeführte Variationskoeffizient dient zum Vergleich der Variabilität von Verteilungen.

lungen, d. h. der relativen Standardabweichung von Merkmalen mit unterschiedlichen Mittelwerten. Der Variationskoeffizient kennzeichnet die Standardabweichung in Einheiten des arithmetischen Mittels. Dabei setzt der Variationskoeffizient eine Verhältnisskala voraus und bleibt als relatives Streuungsmaß konstant, wenn jedes  $x$  mit einer Konstante multipliziert wird. Der Variationskoeffizient dient auch als Konzentrationsmaß, d. h., dass eine im Verhältnis zum arithmetischen Mittelwert große Standardabweichung einer schwachen Konzentration entspricht [SACHS, HEDDERICH, 2009].

### 3.3 Korrelationsanalyse

Betrachtet man die Verteilung zweier Variablen, so stellt man häufig fest, dass die Veränderung der einen Variablen einen Einfluss auf die Veränderung der anderen Variablen besitzt. Mit Hilfe der Korrelationsanalyse werden derartige stochastische Zusammenhänge zwischen gleichwertigen Variablen anhand einer Stichprobe untersucht. Als Maß für die Stärke und Richtung des linearen Zusammenhanges wird dabei der sogenannte Korrelationskoeffizient herangezogen. Dieser variiert von  $-1$  bis  $+1$ , womit nicht nur die Stärke des Zusammenhanges, sondern auch die Richtung angezeigt wird. Die Korrelationsanalyse ist in der Regel nur eine Zwischenstufe für andere Verfahren, wie zum Beispiel die Faktorenanalyse oder die Regressionsanalyse [SACHS, HEDDERICH, 2009].

### 3.4 Varianzanalyse

Die Wirkung einer unabhängigen Variablen auf eine abhängige Variable wird mit der sogenannten Varianzanalyse (engl.: ANOVA = analysis of variance) untersucht. Dabei wird geprüft, ob sich die Werte einer kontinuierlichen Zielvariablen in verschiedenen Subgruppen der Stichprobe signifikant unterscheiden. Die Gruppierung erfolgt auf der Basis der Ausprägungen einer oder mehrerer kategorialer Variablen, die als unabhängige Variable fungieren und in der Varianzanalyse als Faktoren bezeichnet werden. Man unterscheidet dementsprechend ein-, zwei- und mehrfaktorielle Varianzanalysen, je nachdem, ob eine, zwei oder mehrere unabhängige Variablen betrachtet werden [BACKHAUS et al., 2006].

Die Grundidee der Varianzanalyse besteht darin, die gesamte Varianz des zu erklärenden Merkmals

(der Zielvariablen) in die Varianz zwischen den Gruppen (die Abweichung der Gruppenmittelwerte vom Gesamtmittelwert) und in die Varianz innerhalb der Gruppen (die einzelnen Messwerte innerhalb der Gruppen vom Gruppenmittelwert) aufzuteilen (zu „zerlegen“). Sind die Unterschiede zwischen den Gruppen bei gleichzeitig nicht allzu großer Varianz innerhalb der Gruppen relativ groß, so kann man davon ausgehen, dass die Gruppenzugehörigkeit einen Einfluss auf die abhängige Variable hat. Es handelt sich also dem Grundsatz nach um einen Mittelwertvergleich. Annahme- bzw. Rückweisekriterium der Nullhypothese ist der F-Wert bzw. die Signifikanz der Varianzanalyse. Ist der empirische F-Wert größer als der theoretische, kann die Nullhypothese verworfen werden. Ebenso kann die Nullhypothese verworfen werden, wenn die Signifikanz der Varianzanalyse kleiner als das vorgegebene Testniveau (1 Vertrauenswahrscheinlichkeit) ist [BACKHAUS et al., 2006].

### 3.5 Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse ist eines der flexibelsten und am häufigsten eingesetzten mathematisch-statistischen Analyseverfahren und dient der Analyse von Beziehungen zwischen einer abhängigen Variablen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen. Insbesondere kann die Regressionsanalyse eingesetzt werden, um zum einen Zusammenhänge quantitativ zu beschreiben und sie zu erklären und zum anderen Werte der abhängigen Variablen zu schätzen bzw. vorherzusagen [BACKHAUS et al., 2006].

Bei den in einer Regressionsanalyse unterstellten Kausalbeziehungen (Ursache-Wirkungs-Beziehungen) handelt es sich oft nur um Hypothesen, die lediglich eine Vermutung des Untersuchers darstellen. Derartige Hypothesen müssen immer auf ihre Plausibilität geprüft werden, wozu es neben statistischem Wissen auch außerstatistisches Wissen bedarf, d. h. theoretischer und sachlogischer Überlegungen oder auch der Durchführung von Experimenten. Besitzen sowohl die abhängige Variable als auch die unabhängigen Variablen metrisches Skalenniveau, wird die Regressionsanalyse für die Analyse der Zusammenhänge angewendet [BACKHAUS et al., 2006].

Das sogenannte Bestimmtheitsmaß der Regression misst die Güte und Qualität der Anpassung der Regressionsfunktion an die empirischen Daten. Die

Abweichungen zwischen den Beobachtungswerten und den geschätzten Werten von  $Y$ , also die Residualgrößen, bilden die Basis für die Bestimmung des Bestimmtheitsmaßes. Es ist eine normierte Größe, deren Wertebereich zwischen null und eins liegt und umso größer wird, je höher der Anteil der erklärten Streuung an der Gesamtstreuung ist. Allgemein kann ab einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,7$  davon ausgegangen werden, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang auf dem vorliegenden Niveau zwischen den untersuchten Variablen besteht [BACKHAUS et al., 2006].

### 3.6 Konfidenzintervalle

Ein Parameterschätzwert lässt sich als Punkt auf einer Zahlengeraden auftragen, weshalb dieser als Punktschätzung bezeichnet wird. Diese liefert allerdings keinerlei Informationen über die Güte der Schätzung. D. h., es ist nicht bekannt, wie weit der Wert des gesuchten Parameters von dem durch das Streuen der Realisierungen beeinflussten Schätzwert abweicht. Man ist daher bestrebt, ein möglichst kleines Intervall anzugeben, in dem der gesuchte Parameter zu finden ist. Dies wird als Intervallschätzung bezeichnet. Diese bietet die Möglichkeit, die Präzision des Messergebnisses zu verdeutlichen [BENNING, 2002].

Die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Stichprobenfunktion lässt sich mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Grundgesamtheit einer Zufallsvariablen  $X$  bestimmen. So lässt sich bestimmen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Stichprobenfunktion Werte in einem bestimmten Intervall annimmt (vgl. Bild 4).

Das Konfidenzintervall wird ausgehend vom Mittelwert und seiner Standardabweichung mit dem Freiheitsgrad  $f = (n - 1)$  (mit  $n =$  Stichprobengröße) mit

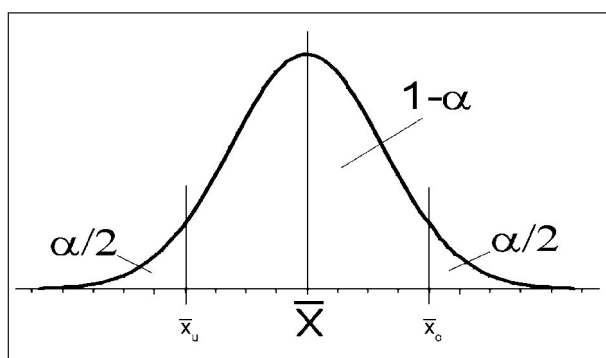


Bild 4: Konfidenzintervall einer Zufallsvariablen

einem Konfidenzniveau (statistische Sicherheit =  $1 -$  Irrtumswahrscheinlichkeit) berechnet. Gemäß dem „Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen zur Präzision von Prüfverfahren“ der FGSV [FGSV, 2000] ist im Straßenbau eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % entsprechend einer statistischen Sicherheit von 95 % (auch Konfidenzniveau genannt) üblich und in einschlägigen Vorschriften festgelegt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die betreffende Zufallsvariable außerhalb dieses Intervalls liegt, wird Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  genannt [BENNING, 2002; FGSV, 2000].

## 4 Griffigkeit

In diesem Kapitel werden die wesentlichen wissenschaftlichen Erkenntnisse über den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn sowie über die Griffigkeit dargestellt. Die Übertragung von Kräften in der Reifenaufstandsfläche (Reifenlatsch) durch Reibung wird als „Kraftschluss“ bezeichnet. Dieser resultiert aus der Wechselwirkung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche. Diese Wechselwirkung wiederum wird durch die Rauheit der Oberfläche, die Eigenschaften des Reifens, die Anwesenheit eines Zwischenmediums, wie beispielsweise Wasser, Öl oder Schmutz, sowie durch die Geschwindigkeit beeinflusst [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008].

Die Wirkung der Textur und der stofflichen Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche auf den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn unter festgelegten Bedingungen wird durch die „Griffigkeit“ gekennzeichnet. Diese ist für die Übertragung der Längskräfte (Brems- und Antriebskräfte) und der Seitenkräfte (Kurvenfahrt) vom Reifen auf die Fahrbahn maßgebend [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008; FGSV MB Griff-StB, 2003; KLUGER-EIGL, 2009].

Die kennzeichnende Größe für die Griffigkeit wird in der Literatur oft als Reibwert, Reibbeiwert, Reibungswert, Reibungskoeffizient, Reibungswiderstand oder Kraftschlussbeiwert bezeichnet. Dieser stellt den Quotienten aus der durch Kraftschluss zwischen Reifen und Straßenoberfläche unter Messbedingungen aktivierten Reibungskraft und der Normalkraft dar und wird standardmäßig auf angrenzendster Fahrbahnoberfläche gemessen. Unterschieden wird je nach Schlupfzustand und Radstellung zwischen dem Längsreibungsbeiwert am „konstant gebremsten Rad“ (LFC = Longitudinal



Friction Coefficient), dem Gleitreibungsbeiwert am „blockierten Rad“ und dem Seitenkraftbeiwert am „schräglaufenden Rad“ (SFC = Sideway Friction Coefficient). Der Schlupfzustand beschreibt die Relativbewegung zwischen dem Reifen und der Fahrbahnoberfläche. Schlupf tritt immer dann auf, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Reifens von der eigentlichen Fahrgeschwindigkeit abweicht. Der Schlupf wird in Prozent angegeben, wobei ein frei laufendes Rad einen Schlupf von 0 % und ein blockiertes Rad einen Schlupf von 100 % besitzt. Läuft das Rad im Verhältnis zum zurückgelegten Weg zu langsam (gebremst), besitzt es einen Schlupf zwischen 0 % und 100 % [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008; FGSV MB Griff-StB, 2003; KLUGER-EIGL, 2009].

Die Griffigkeit sowie weitere praxisrelevante Gebrauchseigenschaften der Straßenoberfläche wie das Reifengeräusch, die Sprühfahnenbildung, die Verschleißwirkung der Oberfläche auf die Fahrzeugreifen und der Rollwiderstand der Fahrbahnoberfläche werden durch die Textur, d. h. durch die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche im Wellenlängenbereich von wenigen Mikrometern bis zu einigen Dezimetern, beeinflusst. Unterschieden wird dabei, in Abhängigkeit der Wellenlänge, in Mikro-, Makro- und Megatextur. Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung  $< 0,5$  mm werden als „Mikrotextur“ bezeichnet. Diese Rauheitselemente beschreiben den Schärfegrad der Gesteinsoberflächen, welcher neben dem Reifenmaterial maßgeblich die Griffigkeit der Straßenoberfläche beeinflusst. Speziell Rauheiten mit einer Größenordnung von bis zu  $0,01$  mm haben einen großen Einfluss auf die (Nass-)Reibung zwischen Reifengummi und Fahrbahnoberfläche. Die Mikrotextur beeinflusst damit maßgeblich den Reibungskoeffizienten. Bei Rauheitselementen mit einer horizontalen Ausdehnung zwischen  $0,5$  mm und  $50$  mm spricht man von der „Makrotextur“. Hierbei beeinflussen jedoch nur Rauheitselemente bis zu einer Größenordnung von  $10$  mm die Drainagewirkung. Ab einer horizontalen Ausdehnung von  $50$  mm bis  $500$  mm schließt sich die „Megatextur“ an. Diese hat im Allgemeinen keinen Einfluss auf die Griffigkeit, sondern beeinflusst lediglich die Bildung von Wasseransammlungen auf der Fahrbahn [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008; FGSV MB Griff-StB, 2003; KLUGER-EIGL, 2009].

Für das Erreichen einer ausreichenden Griffigkeit bei Nässe und höheren Geschwindigkeiten ist eine gute Ausbildung sowohl der Mikro- als auch Makro-

textur eine grundlegende Voraussetzung. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten wird der Reibungsbeiwert, d. h. die Griffigkeit, maßgeblich durch die Mikrotextur (Grad der Schärfe der Gesteinsoberflächen) beeinflusst. Die Mikrotextur ist dabei weitestgehend unabhängig von der Makrotextur. In höheren Geschwindigkeitsbereichen hängt der Reibungsbeiwert hingegen stärker von der Makrotextur ab. Ein gutes Drainagevermögen der Fahrbahnoberfläche, d. h. eine ausreichende Makrotextur, hilft, das Wasser abzuführen, sodass die Mikrotextur der Gesteinsoberflächen wirken kann. Erst durch diese wird es dem Fahrzeugreifen ermöglicht den letzten dünnen Wasserfilm, der nach dem Verdrängen der Hauptmenge des Wassers durch den Reifen verbleibt, zu durchbrechen. Durch dieses Durchbrechen können ausreichend viele Punkte trockenen Kontaktes zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche als Voraussetzung für den Aufbau der benötigten Reibungskraft entstehen [KLUGER-EIGL, 2009].

## 5 Griffigkeitsmesssysteme

### 5.1 Allgemeines

Gemäß dem „Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (MB Griff)“ [FGSV MB Griff-StB, 2003] sind durch Griffigkeitsmessverfahren gewonnene Messergebnisse, d. h. Griffigkeitskennwerte eines bestimmten Verfahrens, gemittelte Werte, die für die Bewertung der tatsächlichen Verhältnisse herangezogen werden können. Allerdings gelten diese nur unter ganz bestimmten messsystem-spezifischen Voraussetzungen. Ein Vergleich der Messergebnisse unterschiedlicher Messverfahren ist gemäß MB Griff [FGSV MB Griff-StB, 2003] vom Grundsatz her problematisch, da in der Regel jedes Messverfahren systemimmanente Eigenarten aufweist. Damit dürfen bei strengen Anforderungen nur Messergebnisse miteinander verglichen werden, die mit dem gleichen Messsystem ermittelt wurden. Des Weiteren sind gemäß MB Griff keinerlei Korrelationen zwischen verschiedenen Messverfahren zulässig, da je nach Oberflächenstruktur die mit den verschiedenen Messverfahren gemessenen Ergebnisse unterschiedlich beeinflusst werden und daher nicht vergleichbar sind. Dessen ungeachtet können Griffigkeitsmessverfahren im Allgemeinen in lokal und kontinuierlich messende Verfahren unterschieden werden [FGSV MB Griff-StB, 2003].

## 5.2 Lokal messende Verfahren

Als lokal messende Verfahren kommen zumeist Kleingeräte zum Einsatz, die eine punktuelle Erfassung der Griffigkeit mit relativ geringem Aufwand ermöglichen. Vorteilhaft bei diesen sind die geringen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten sowie die einfache Anwendung und der geringe Platzbedarf während der Messung. Negativ wirken sich allerdings die Beeinträchtigungen des Verkehrs (Absperrung des zu untersuchenden Straßenabschnittes), die erhebliche Gefährdung des Messpersonals auf der Straße sowie die lediglich punktuelle Erfassung der Griffigkeit aus. Demzufolge werden diese lokal messenden Verfahren für die Projektebene und für Bereiche eingesetzt, welche mit kontinuierlich messenden Verfahren, wie beispielsweise dem GripTester oder dem SKM-Verfahren, nicht erreichbar sind. Weltweit hat sich dabei das sogenannte SRT-Pendel (Skid-Resistance-Tester) in Kombination mit dem Ausflussmesser nach Moore als lokal messendes Verfahren zur Beurteilung der Griffigkeit von Straßenoberflächen durchgesetzt [KLUGER-EIGL, 2009].

### 5.2.1 SRT-Pendel

Das SRT-Pendelgerät (Skid-Resistance-Tester) wurde ursprünglich vom Road Research Laboratory (RRL, heute: UK Transport Research Laboratory (TRL)) entwickelt, ist in Deutschland in der DIN EN 13036-4:2003 genormt und unter Berücksichtigung der genehmigten A-Abweichung in der TP Griff-StB (SRT) umgesetzt [FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004].

Das SRT-Pendelgerät (vgl. Bild 5) besteht aus einem dreibeinigen Basisgestell mit Skalenschild und einem Pendelarm. Am Ende dieses Pendelarms ist der Gleitkörper, bestehend aus einer

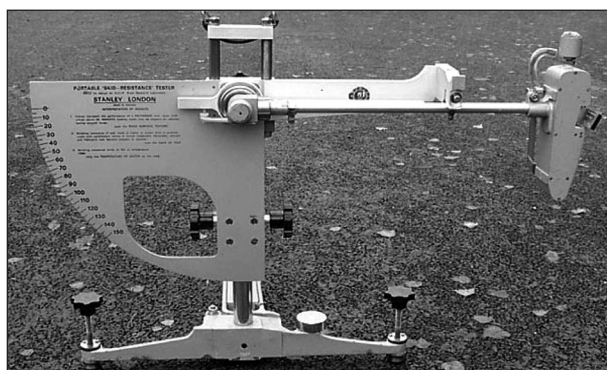


Bild 5: SRT-Pendel

Trägerplatte aus Aluminium und einer aufvulkanisierten Gummischicht, federnd angebracht. Die mit einer bestimmten Vorspannung versehene Feder drückt beim Durchschwingen des Pendels mit einer Geschwindigkeit von ca. 10 km/h die berührende Kante des Gleitkörpers mit einer annähernd gleichbleibenden Kraft gegen die zu prüfende Oberfläche. Das Maß für die Griffigkeit der Oberfläche ist der Verlust an Energie, den das Pendel durch das Gleiten der Gummikante über eine bestimmte Länge der zuvor angehängten Prüfoberfläche erfährt. Der Energieverlust wird über die Steighöhe des Pendelarms mit Hilfe eines Schleppteigers messtechnisch erfasst und auf einer Skala als sogenannte SRT-Einheiten angezeigt. Die Berührungslänge (Gleitlänge) ist durch die Höhe der Pendelachse über der Fahrbahnoberfläche gegeben und muss vor jeder neuen Messung anhand des Maßstabes mit großer Genauigkeit eingestellt werden. Benötigt wird dabei ein Messbereich, dessen Breite mindestens der des Gleitkörpers (76,2 mm) und dessen Länge an der Spitze des Profils mindestens der Gleitlänge des Gleitkörpers (126 mm +/- 1 mm) entspricht [FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004].

### 5.2.2 Ausflussmesser nach Moore

Bei dem Ausflussmesser nach Moore (AM) gemäß DIN EN 13036-3 handelt es sich um ein Gerät zur Ermittlung der Ausflusszeiten eines definierten Wasservolumens als Maß für die entwässernde Wirkung der Makrotextur der Fahrbahnoberfläche. Im Rahmen der „Kombinierten Griffigkeitsmessung“ werden zur Beurteilung der Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche das SRT-Pendelgerät und der Ausflussmesser in Kombination eingesetzt. Hierdurch ist eine Bewertung der Griffigkeit auf Grundlage der Mikrotextur (SRT-Pendel) und der Makrotextur (AM) möglich [FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004].

## 5.3 Kontinuierlich messende Verfahren

Gegenüber den lokal messenden Verfahren zur Beurteilung der Griffigkeit haben kontinuierlich messende Verfahren den Vorteil, dass mit ihnen die Griffigkeit durchgängig und mit geringeren Verkehrsbehinderungen erfasst werden kann. Am geeignetsten sind die kontinuierlich messenden Verfahren, um große Streckennetze kontinuierlich zu messen, da aufgrund der Messgeschwindigkeit



eine hohe Tageskilometerleistung erreicht werden kann [KLUGER-EIGL, 2009]

Derzeit existiert in Europa eine Vielzahl von kontinuierlich messenden Verfahren mit unterschiedlichen Messprinzipien (LFC = Longitudinal Friction Coefficient, SFC = Sideway Friction Coefficient). Die größte Verbreitung haben die SCRIM (in Deutschland: SKM), der GripTester, der Skiddometer BV 11 und der Stuttgarter Reibungsmesser SRM. Zudem gibt es zahlreiche weitere landesspezifische kontinuierlich messende Systeme wie beispielsweise der Tatra Runway Tester (kurz: TRT). Allerdings wird an dieser Stelle auf eine Darstellung der verschiedenen kontinuierlich messenden Systeme verzichtet und vielmehr auf die einschlägige Fachliteratur, wie beispielsweise [FEHRL, 2006], [DO et al., 2008], [FGSV, 2007], [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008] oder [KLUGER-EIGL et al. 2007], verwiesen, da im Rahmen dieses Projektes grundsätzlich abweichende Anforderungen an die Systeme gestellt werden als bei der Bewertung der Griffbarkeit von Fahrbahnoberflächen (vgl. Kapitel 9 und Tabelle 8). Vielmehr ist die generelle Eignung der ehemals für die Bewertung der Griffbarkeit von Straßenoberflächen entwickelten kontinuierlich messenden Systeme im Hinblick auf eine kontinuierliche Messung der Griffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen zu bewerten und entsprechende Messsysteme auszuwählen. Die diesbezüglich ausgewählten kontinuierlich messenden Verfahren und die bei der Auswahl berücksichtigten Randbedingungen im Rahmen dieses Projektes sind in Kapitel 9 dargestellt und werden daher an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt.

## 6 Bisherige Untersuchungen

Im Rahmen dieses Projektes soll die Griffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen sowohl mit dem lokal messenden SRT-Pendelverfahren als auch mit kontinuierlich messenden Verfahren bewertet werden. Diesbezüglich gilt es, Vergleichswerte zwischen den beiden Verfahren (lokal und kontinuierlich) herzustellen, um Grenzwerte für kontinuierlich messende Verfahren für die Mindestgriffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen (45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02) herleiten zu können. Daher gilt es, diesbezügliche Erfahrungen („Harmonisierungsversuche“) auf Fahrbahnoberflächen zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 6.1). Des Weiteren gilt es, bisherige Erfahrungen hinsichtlich der Bewertung der Griffbarkeit

von Fahrbahnmarkierungen auch in die Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes einfließen zu lassen (vgl. Kapitel 6.2). Dementsprechend werden nachfolgend die bisherigen Erfahrungen hinsichtlich der Harmonisierung der verschiedenen kontinuierlich messenden Verfahren und der Bewertung der Griffbarkeit von Fahrbahnmarkierungen dargestellt.

### 6.1 Harmonisierungsversuche

Derzeit sind weltweit die unterschiedlichsten Griffbarkeitsmesssysteme im Einsatz, die zum einen auf der eigenständigen Entwicklung einiger Länder und zum anderen auf der Übernahme und Modifikation erprobter Messsysteme beruhen. Vor allem in Europa sind daher sehr viele verschiedene Messsysteme im Einsatz (siehe Kapitel 5.3), deren Messergebnisse nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Allerdings wäre gerade diese Vergleichbarkeit aufgrund der europaweiten Ausschreibung von Baumaßnahmen wünschenswert. Demzufolge wird eine Harmonisierung der verschiedenen Griffbarkeitsmesssysteme in Europa angestrebt, bei der Verfahren entwickelt werden, die eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse durch die Transformation auf einen einheitlichen Bezugswert ermöglichen. Dies ist notwendig, um zum einen Anforderungen an die Straßenbaustoffe in Europa normieren zu können, und zum anderen, um ein grenzübergreifendes Erhaltungsmanagement zu ermöglichen [KLUGER-EIGL, 2009].

Nachfolgend werden die wesentlichen Versuche zur Harmonisierung von Griffbarkeitsmesssystemen kurz zusammengefasst.

#### 6.1.1 PIARC Ringversuch 1992

Von der „Permanent International Association of Road Congresses“ (kurz: PIARC) wurde im Jahre 1992 ein Ringversuch durchgeführt, der einen Vergleich der weltweit vorhandenen Griffbarkeitsmessverfahren und eine internationale Harmonisierung der Messergebnisse dieser Verfahren ermöglichen sollte.

Insgesamt waren an diesen Versuchen 17 Länder (USA, Kanada, Japan, GB, Schottland, Frankreich, Belgien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Dänemark, Polen, Deutschland, Österreich, Schweiz, Spanien und Italien) beteiligt, die jeweils ein repräsentatives Griffbarkeitsmesssystem zur

Verfügung gestellt haben [WAMBOLD et al., 1995].

Die an diesen Versuchen beteiligten Griffigkeitsmesssysteme wurden in vier Gruppen zzgl. Texturmessgeräte eingeteilt. Insgesamt wurden für diesen Ringversuch 26 Messstrecken in Spanien (trockenes Klima) und 28 Messstrecken in Belgien (feuchtes Klima) ausgesucht, von denen 40 auf dem öffentlichen Straßennetz, 10 auf Flughäfen und 4 auf einer Rennstrecke waren. Jedes Griffigkeitsmesssystem führte, wenn möglich, Messungen mit den drei Geschwindigkeiten, 30, 60 und 90 km/h durch [WAMBOLD et al., 1995].

Die Auswertung des Ringversuches zeigte, dass die Ableitung einer Beziehung zwischen den unterschiedlichen Griffigkeitsmessverfahren ohne Berücksichtigung zusätzlicher Komponenten nicht möglich war. Durch die Weiterentwicklung des Pennsylvania-State-Modells, welches die Reibung zur Schlupfgeschwindigkeit in Beziehung setzt, sowie unter Einbeziehung der Textur der Fahrbahnoberfläche konnte ein internationaler Reibungsindex (International Friction Index = IFI) definiert werden. Dieser ermöglichte eine bessere Korrelation zwischen den verschiedenen Messsystemen. Die notwendigen Eingangsgrößen zur Bestimmung des IFI sind der Reibungsbeiwert (gemessen bei beliebiger Geschwindigkeit), die Textur (z. B. der MPD) und die Schlupfgeschwindigkeit. Im Zuge des PIARC-Ringversuches wurden aus linearen Regressionsbeziehungen Kalibrierkonstanten für sämtliche am Versuch beteiligte Griffigkeits- und Texturmessgeräte abgeleitet. Bei der Ermittlung des IFI wird der Wert der „wahren“ Griffigkeit (F60) aus den Ergebnissen einer Griffigkeitsmessung und einer Texturmessung berechnet [WAMBOLD et al., 1995].

Die Ergebnisse des Ringversuches zeigen, dass eine universelle Reibungsmessung (IFI) definiert werden kann, nach der sich alle Reibungsmessverfahren richten sollen. Die Untersuchungen ergaben, dass ein Texturwert bei der Bestimmung von F60 notwendig ist und dass dieser Texturwert auch neben F60 angegeben werden sollte, um die Brauchbarkeit der Griffigkeitsmessungen zu verbessern [WAMBOLD et al., 1995].

### 6.1.2 Hermes Projekt 2001/2002

In den Jahren 2001 bis 2002 wurde vom Forum of European National Highway Research Laboratories (kurz: FEHRL) das Projekt „Harmonization of

European Routine and research Measuring Equipment for Skid resistance (Hermes)“ durchgeführt. Das Ziel dieser Untersuchung bestand darin, die Grundlage für eine einheitliche europäische Norm zur Griffigkeitsmessung auf Straßen und Flughäfen zu schaffen. Zudem sollten ein einheitlicher Faktor für die Griffigkeit, der European Friction Index (EFI), sowie ein harmonisiertes Kalibrierungsverfahren für ganz Europa entwickelt werden. An dem Harmonisierungsversuch nahmen acht Länder (GB, Frankreich, Belgien, Niederlande, Norwegen, Dänemark, Polen und Spanien) mit 15 verschiedenen Griffigkeitsmesssystemen, die in drei Gruppen eingeteilt wurden, teil [FEHRL, 2006]:

- blockiertes Messrad (ADHERA, PFT, SRT-3),
- konstanter Schlupf (2 x ROAR, ROAR II, DWW Trailer, OSCAR, IMAG, GripTester),
- Seitenkraft (3 x SCRIM, 2 x Odoliograph).

Durch die Ergänzung des PIARC Ringversuches durch zusätzliche Messungen auf speziellen Deckschichttypen, eine Neuberechnung der Texturparameter und die Fokussierung auf europäische Griffigkeitsmesssysteme konnte der European Friction Index (EFI) definiert werden. Der Hauptunterschied des EFI zu dem IFI ist eine unterschiedliche Referenzgeschwindigkeit. Während diese beim IFI 60 km/h beträgt, liegt sie beim EFI bei 30 km/h. Zusammenfassend zeigte sich, dass der EFI die Vergleichbarkeit von verschiedenen Griffigkeitsmesssystemen nicht verbessert, aber diese auch nicht verschlechtert [FEHRL, 2006].

## 6.2 Bisherige Untersuchungen an Fahrbahnmarkierungen

Bisher sind nur wenige Untersuchungen hinsichtlich der kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen durchgeführt worden.

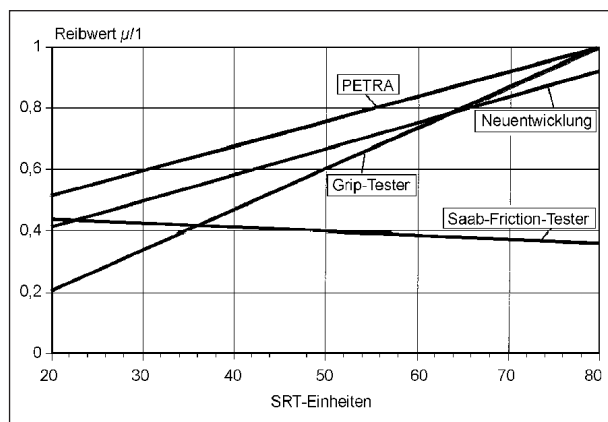
Im Rahmen des Forschungsprojektes BMW 03.252 G91C mit dem Titel „Entwicklung von Anforderungen, Prüfverfahren und -bedingungen in Verbindung mit der Untersuchung von kostengünstigen, geräuscharmen und winterdienstresistenten Markierungssystemen zur Gewährleistung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe“ wurden „dynamische Verfahren“ entwickelt und untersucht, die eine kontinuierliche Messung von Markierungseigenschaften, wie insbesondere Nachtsichtbarkeit, Griffigkeit und Geräusch, ermöglichen sollten. Zu diesem Zweck wurden zwei

Markierungsprüffelder angelegt – auf der BAB 60 im Bereich Ingelheim und auf der BAB 61 im Bereich Pfalzfeld-Laudert [WAMBSGANß, EWALD, 1995].

Anhand einer Literaturstudie wurden vier geeignete kontinuierliche Verfahren für die Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen ausgewählt und getestet. Dazu gehörten der Saab-Friction-Tester, der GripTester, das System PETRA und eine Neuentwicklung, die im Rahmen des Forschungsprojektes realisiert wurde. Zusätzlich wurden Referenzmessungen mit dem SRT-Pendelgerät durchgeführt. Bei der Auswahl der Messsysteme wurde insbesondere Wert darauf gelegt, dass das Messrad rechts bzw. links am Messfahrzeug installiert sein sollte, um große Behinderungen des rückwärtigen Verkehrs bzw. umfangreiche und kostenintensive Absicherungsmaßnahmen bei der Messung zu verhindern. Während der Messungen mit den kontinuierlichen Systemen wurden die Messdaten kontinuierlich in Abhängigkeit der Wegstrecke aufgezeichnet und anschließend statistisch ausgewertet [WAMBSGANß, EWALD, 1995].

Hierbei zeigte sich, dass die ausgewählten Messsysteme tendenziell vergleichbare Griffigkeitswerte der Fahrbahnmarkierungen lieferten. In Verbindung mit den SRT-Messungen wurde weiterhin ersichtlich, dass der GripTester die beste und der Saab-Friction-Tester die schlechteste Korrelation zum SRT-Pendelverfahren aufgewiesen haben. Dabei galt, je steiler der Verlauf der jeweiligen Regressionskurve, desto besser konnte das System die SRT-Einheiten wiedergeben, d. h., desto höher war die Korrelation zum SRT-Pendelgerät [WAMBSGANß, EWALD, 1995].

Die in Bild 6 dargestellten Kurven lassen sich dahingehend deuten, dass ein steilerer Verlauf der



**Bild 6:** Vergleich der untersuchten Messsysteme (Regressionsgeraden) [WAMBSGANß, EWALD, 1995]

Regressionsgeraden Griffigkeitsunterschiede der Fahrbahnmarkierungen (in SRT-Einheiten gemessen) deutlicher differenziert als ein flacher Verlauf. D. h., dass geringe Unterschiede der SRT-Bewertung deutlicher ersichtlich werden [WAMBSGANß, EWALD, 1995].

Weiterhin wurde in den „Hinweisen für Fahrbahnmarkierungen mit erhöhter Nachtsichtbarkeit bei Nässe“ der FGSV [FGSV, 1999] der GripTester als kontinuierlich messendes Verfahren erwähnt. Allerdings sind die in den Hinweisen definierten Mindestwerte des Reibungsbeiwertes von Fahrbahnmarkierungen gemessen mit dem GripTester bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten, die der Anforderung von 45 SRT-Einheiten entsprechen, durch das „Allgemeine Rundschreiben“ ARS 3/2002 aufgehoben worden.

Daneben wurden insbesondere in Schweden Untersuchungen hinsichtlich der kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen durchgeführt. Bezüglich des vorliegenden FE-Projektes sind insbesondere zwei Forschungsprojekte interessant, die nachfolgend kurz vorgestellt werden. In dem vti-Projekt „Relationship between road marking skid resistance and texture“ wurden vor allem mobile, d. h. kontinuierliche Verfahren, betrachtet, um alle relevanten Eigenschaften von Fahrbahnmarkierungen, wie beispielsweise die Reflexionseigenschaften oder die Griffigkeit, mit-schwimmend im Verkehr bewerten zu können. Im Rahmen des Projektes wurde die Griffigkeit von Markierungen anhand von mobilen Messungen sowohl der Makrotextur als auch der Retroreflexion abgeschätzt. Durch die Messung des Texturparameters MPD (Mean Profil Depth = mittlere Profiltiefe) und der Retroreflexion der Markierung wurde die Griffigkeit der Markierung in einem linearen Modell berechnet. Die Untersuchungen zeigten, dass flache, profilierte und neue Fahrbahnmarkierungen getrennt voneinander betrachtet werden müssen. Daher wurde das hergeleitete Modell für flache, profilierte und neue Markierungen getrennt voneinander durch Messungen mit dem VTI Portable Friction Tester (PFT) kalibriert (vgl. Bild 7) [LUNDKVIST et al., 2008].

Im Rahmen der Kalibrierung zeigte sich, dass die Beziehung zwischen der Griffigkeit und der Retroreflexion bzw. dem MPD für Fahrbahnmarkierungen sehr komplex ist. Bei älteren Markierungen hängt die Griffigkeit von der Retroreflexion ab, während bei neuen Markierungen die Primär-Textur



Bild 7: PFT-Messverfahren [www.kdhighwaysystems.co.uk]

entscheidend ist. Für die Praxis bedeutet dies, dass man zunächst feststellen muss, welchem Markierungstyp die zu messende Markierung angehört, was möglicherweise schwer sein könnte. Aus diesem Grund wurde ein allgemeines Modell entwickelt, welches für alle ebenen Markierungen anwendbar ist, aber eine geringere Genauigkeit aufweist. Dies ist sowohl für ältere als auch für neue Markierungen und für Längs- als auch für Quermarkierungen anwendbar [LUNDKVIST et al., 2008].

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde in einem weiteren vti-Projekt mit dem Titel „Development of Road Marking Tester“ (Projektlaufzeit: 2004-2008) ein mobiles Messverfahren entwickelt, das neben der Retroreflexion der Fahrbahnmarkierungen auch die Messung weiterer Gebrauchseigenschaften, wie beispielsweise der Griffigkeit oder der Geometrie der Fahrbahnmarkierung, ermöglichen sollte. Der diesbezüglich entwickelte sogenannte „Road Marking Tester (RMT)“ erlaubt die kontinuierliche Messung der Retroreflexion trockener Fahrbahnmarkierungen, der mittleren Profiltiefe MPD, der Griffigkeit (abgeleitet aus dem MPD und der Retroreflexion) sowie der Dicke und Geometrie der Fahrbahnmarkierung. Durch die fortwährende Modifikation und Optimierung des RMT wird das Messverfahren auch nach Abschluss des Forschungsprojektes weiterentwickelt. Beispielsweise wurde im Jahr 2010 das System mit einer dreidimensionalen Kamera ausgestattet, sodass die Dicke und die Geometrie der Fahrbahnmarkierungen, im Vergleich zum Erstsysteem, mit einer höheren Genauigkeit bestimmt werden konnten [LUNDKVIST, NIELSEN, 2009].

Inwieweit die in Schweden erarbeitete Methodik, von der Retroreflexion der Markierungsoberfläche auf die Griffigkeit zu schließen, auf Agglomerate

oder strukturierte Markierungen übertragbar ist, wäre noch nachzuweisen. Allerdings ist diesbezüglich nicht auszuschließen, dass gerade derartige Oberflächen zu einer veränderten Reflexion und damit zu verfälschten Griffigkeitseinschätzungen führen könnten.

## 7 Untersuchungskonzept

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung wurden vier maßgebliche Bearbeitungsschritte definiert, deren Ziele kurz erläutert werden.

- Auswahl der Messstrecke

Im Vorfeld der Untersuchungen galt es eine geeignete Teststrecke ausfindig zu machen, auf der die Applikation von verschiedensten Markierungen unterschiedlicher Griffigkeiten und Geometrien sowie die Durchführung der Vor- und Hauptversuche möglichst ohne große Absperr- oder Sicherungsmaßnahmen realisiert werden konnten (vgl. Kapitel 8).

- Auswahl geeigneter kontinuierlich messender Verfahren

Im Rahmen der Auswahl geeigneter kontinuierlich messender Verfahren galt es, weiterhin, die Eignung der 25 in Europa vorhandenen kontinuierlichen Messverfahren für die kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen zu bewerten und geeignete Verfahren für die Durchführung der Vor- und Hauptversuche im Rahmen dieses Projektes auszuwählen (vgl. Kapitel 9).

- Vorversuche

Im Rahmen der Vorversuche war zu überprüfen, ob mit den ausgewählten Messsystemen eine kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen unterschiedlicher Breite sowie Ausführung (durchgängig bzw. nicht-durchgängig) unter Variation der Messgeschwindigkeit möglich ist (vgl. Kapitel 10). Hierdurch sollten ferner auch Randbedingungen für die späteren Hauptversuche sowie den Einsatz der kontinuierlich messenden Verfahren im späteren Betrieb definiert werden.

- Hauptversuche

Im Anschluss an die Definition notwendiger Randbedingungen im Rahmen der Vorversuche galt es, im Rahmen der nachfolgenden Hauptversuche Vergleichswerte zwischen dem lokal messenden SRT-Pendel und den betrachteten kontinuierlich mes-



senden Verfahren bei der Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen herzuleiten (vgl. Kapitel 11). Diesbezüglich wurde auf eine Variation der Markierungsbreite sowie der Markierungsart (durchgängig und nicht-durchgängig) verzichtet. Vielmehr wurde die Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen variiert, um Vergleichswerte herzuleiten.

## 8 Auswahl einer geeigneten Messstrecke

Bei der Auswahl einer geeigneten Messstrecke wurden nachfolgende Randbedingungen berücksichtigt:

- maximale Messgeschwindigkeit von 80 km/h möglich,
- minimale Messgeschwindigkeit von 40 km/h möglich,
- möglichst keine Absperr- oder Sicherungsmaßnahmen bei minimaler Geschwindigkeit erforderlich,
- Möglichkeit der Applikation von beliebigen Fahrbahnmarkierungen (Breite, Griffigkeit, Lage etc.),
- Länge der Messstrecke = ca. 2 km – Beschleunigung der Messfahrzeuge auf maximal 80 km/h möglich + Bremsvorgang sicher realisierbar, geringe Kurvigkeit der Messstrecke, um den Einfluss der Kurvenfahrt zu minimieren,

- möglichst kein Individual-Verkehr (ggf. ist eine geringe Verkehrsbelastung zu akzeptieren),
- ausreichende Wendemöglichkeiten für die kontinuierlich messenden Verfahren.

Gemäß den o. g. Randbedingungen wurde eine Messstrecke in der Nähe des Ortes Pier bei Inden ausgewählt. Hierbei handelt es sich um ein Teilstück der Landesstraße 257, das im Zuge des Braunkohletagebaus Inden dem Verkehr entzogen wurde und damit nicht mehr Bestandteil des öffentlichen Straßennetzes ist. Seitdem befährt lediglich geringer Werksverkehr der RWE Power AG diesen Streckenabschnitt. Die Teststrecke hat eine Länge von etwa 2,4 km und wurde als RQ 10,5 trassiert. Dieser Querschnitt entsprach damit exakt dem als Referenzquerschnitt angesetzten Querschnitt für Bundesstraßen und bot damit eine ausreichende Breite für die Applikation der benötigten Fahrbahnmarkierungen, da die Applikation mehrerer Fahrbahnmarkierungen parallel auf der Strecke realisiert werden sollte.

Der Streckenverlauf der Landesstraße 257 ermöglichte die Applikation von 2 geraden Messfeldern mit Längen von ca. 400 m (Hauptversuche) bzw. 200 m (Vorversuche). Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der Nutzung der Strecke als Werkstraße war die Applikation verschiedenster Fahrbahnmarkierungen unterschiedlicher Griffigkeiten realisierbar. Auch Fahrbahnmarkierungen mit Griffigkeiten unter der Mindestanforderung der ZTV M 02, d. h. mit Griffigkeiten < 45 SRT-Einheiten,

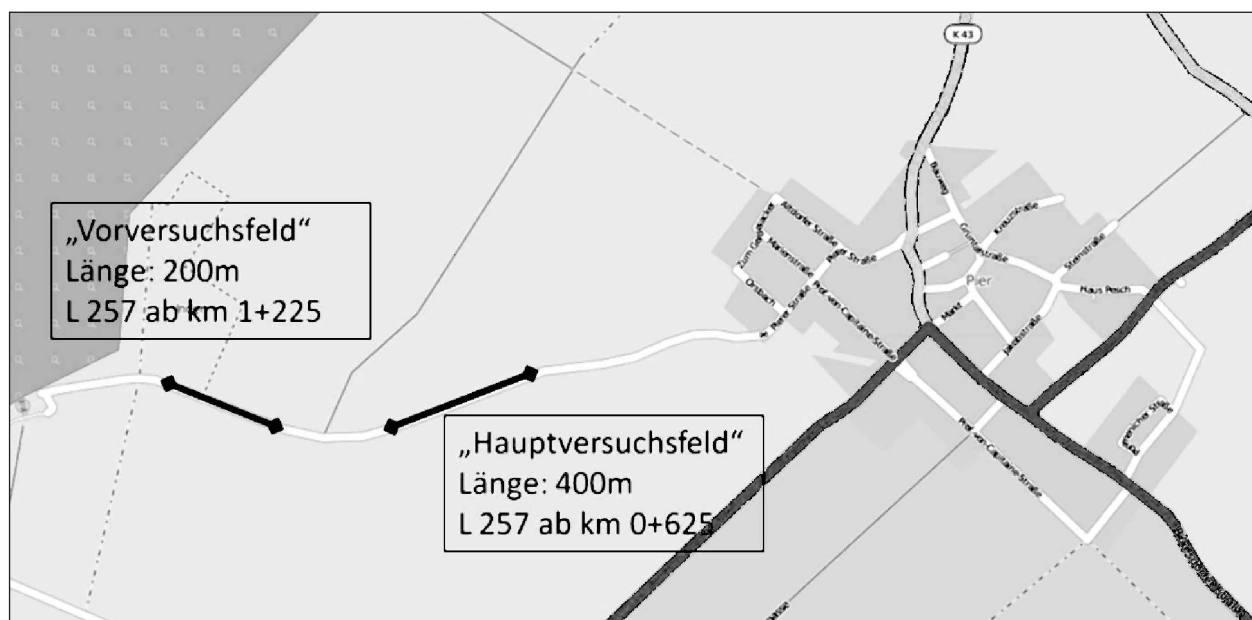


Bild 8: Teststrecke bei Pier/Inden [www.openstreetmap.de]

konnten demgemäß appliziert werden. Eine Entfernung der Markierung nach den Untersuchungen war zudem nicht erforderlich.

Ein Lageplan der ausgewählten Teststrecke ist in Bild 8 dargestellt.

## 9 Auswahl geeigneter kontinuierlicher Messverfahren

### 9.1 Definition von Randbedingungen

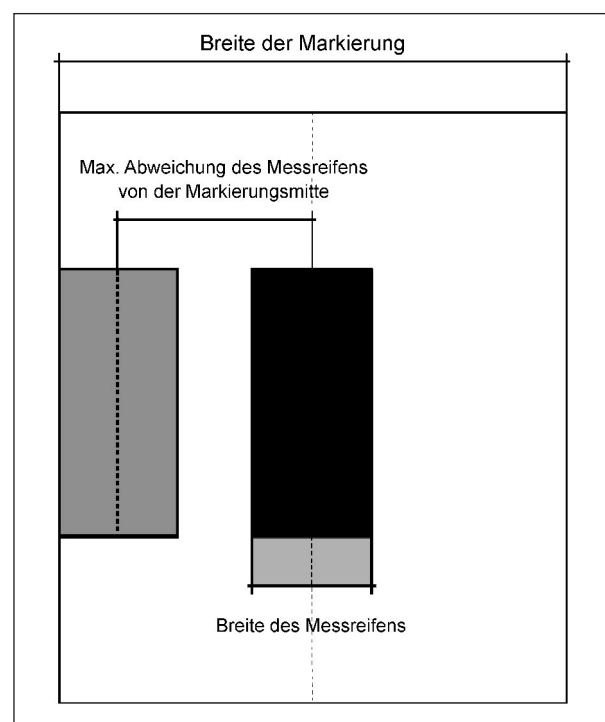
Bei der Auswahl der kontinuierlich messenden Verfahren im Rahmen dieses Projektes wurden nachfolgende Besonderheiten, die bereits in Untersuchungen [WAMBSGANß, EWALD, 1995] aufgeführt worden sind, berücksichtigt.

Während die Messung der Fahrbahngriffigkeit gerätespezifisch in der Regel in der rechten Rollspur (bspw. SKM) bzw. in einigen Sonderfällen auch in der rechten und linken Rollspur gleichzeitig sowie in Fahrstreifenmitte (bspw. GripTester) erfolgt, ist bei Markierungen die Erfassung der Griffigkeit gerätebedingt schwierig. Das Messfahrzeug muss zu meist versetzt auf der Fahrbahn fahren, was zu umfangreichen Absicherungsmaßnahmen und Verkehrsbeeinflussungen führt. Des Weiteren sind zur Erfassung der linken Fahrbahnmarkierung, beispielsweise auf Autobahnen, Umbauten an jedem momentan auf dem Markt befindlichen Gerät notwendig. Allerdings ist sowohl mit dem GripTester als auch mit dem ViaFriction eine Messung der linken Fahrbahnmarkierung unter gewissen Einschränkungen möglich. Beim GripTester kann dies durch eine Ankopplung des Messanhängers an die linke Kupplungsposition realisiert werden, sodass eine Messung der linken Rollspur ermöglicht wird. Allerdings ragt der GripTester dabei geringfügig nach links heraus, was auch hier Absicherungsmaßnahmen erforderlich macht. Des Weiteren kann auch beim Messsystem ViaFriction durch einen Umbau des Messreifens auf die linke Seite des Messanhängers eine Bewertung der Griffigkeit auf der linken Fahrbahnseite ermöglicht werden. Dies erfordert allerdings einen vollständigen Umbau des Messanhängers. Dennoch ragt auch hier das Messgerät, wie beim GripTester, geringfügig in die Nebenfahrs pur, sodass auch hier Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen sind.

Bei der Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen ist weiterhin auch zu berücksichti-

gen, dass aufgrund der geringen Breite der Fahrbahnmarkierung (12/15 cm bzw. 25/30 cm) nur Geräte für die Messungen in Betracht gezogen werden können, bei denen das Messrad eine geringe Aufstandsfläche (d. h. eine geringe Breite des Reifenlatsches) aufweist. Beispielsweise kann bei einer Markierungsbreite von nur 12 cm bereits eine geringfügige Abweichung von wenigen Zentimetern von der Markierungsmitte dazu führen, dass die Oberfläche der Markierung nicht mehr vollständig erfasst wird (vgl. Bild 9). Derartige Messsysteme mit einer großen Reifenlatschbreite sind dementsprechend nicht für eine Beurteilung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen heranzuziehen. Somit können beispielsweise der RoadStar und der ADHERA, die ein Messrad der Dimension 165 R 15 verwenden (Breite des Reifenlatsches  $\approx$  16 cm), nicht eingesetzt werden [MAURER, 2007; DO et al., 2008].

Weiterhin muss sichergestellt sein, dass sich der Messreifen während der gesamten Messung kontinuierlich auf der Fahrbahnmarkierung befindet, da sonst das Ergebnis verfälscht würde. Dies kann beispielsweise durch eine Modifikation des Abstandsführungssystems, wie es derzeit beim SKM-Verfahren (Seitenkraftmessverfahren) zum Einsatz kommt, oder durch eine Echtzeit-Visualisierung



**Bild 9:** Darstellung der maximalen Abweichung von der Markierungsmitte bei der Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen



(Videoaufzeichnung des Messbereichs und Bereitstellung für den Fahrer) realisiert werden. Die Genauigkeit der Spurhaltung ist allerdings sehr stark vom Fahrer abhängig und ist nicht messsystemspezifisch. Diesbezüglich hängt auch die o. g. maximale Breite des Reifenlatsches vom Können des Fahrzeugführers und vom Spurführungssystem ab. Hierbei gilt: Je breiter der Reifenlatsch des Messreifens, desto geringer ist die mögliche Abweichung von der Sollfahrspur (vgl. Bild 9).

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist die Datenrate bei der Messwertaufzeichnung, vor allem um bei nicht-durchgängigen Markierungen und hohen Messgeschwindigkeiten (bis zu 80 km/h) gewährleisten zu können, dass ausreichend Messwerte im Bereich der Fahrbahnmarkierung aufgezeichnet werden.

Zusammenfassend wurden für die Auswahl geeigneter Griffigkeitsmesssysteme im Rahmen des Projektes folgende Randbedingungen definiert:

- minimale Breite des Messreifens (Reifenlatsch des Messreifens),
- Messung der Griffigkeit auch möglichst in der linken Rollspur möglich,
- Verfügbarkeit in Deutschland gewährleistet,
- mögliche Messgeschwindigkeit: 40-80 km/h,
- hohe Aufzeichnungsfrequenz,
- Präzision des Verfahrens,
- Bewertungshintergrund vorhanden.

Auf Grundlage der Analyse (vgl. Tabelle 8) der verschiedenen kontinuierlich messenden Verfahren hinsichtlich der Eignung zur Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen wurden neben dem lokal messenden SRT-Pendelverfahren aus den vier möglichen kontinuierlichen Messsystemen (vgl. Tabelle 8) die nachfolgenden drei kontinuierlich messenden Verfahren (2 x LFC-Verfahren und 1 x SFC-Verfahren) ausgewählt:

- GripTester (LFC-Verfahren),
- ViaFriction (LFC-Verfahren),
- SKM (SFC-Verfahren).

Die ausgewählten kontinuierlich messenden Verfahren GripTester, ViaFriction und SKM erscheinen bzgl. der definierten Randbedingungen für die Messung der Griffigkeit im Sinne der Aufgabenstellung

am besten geeignet. Allerdings liegen lediglich für den GripTester und das SKM-Verfahren Arbeitsanleitungen bzw. Technische Prüfvorschriften vor. Das ViaFriction hingegen wird standardmäßig auf vereister Straßenoberfläche ohne definierten Wasserfilm verwendet. Daher liegen bisher keine Arbeitsanleitungen hinsichtlich der Präzision auf angehäuseter, d. h. nicht vereister, Fahrbahnoberfläche vor. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lag lediglich ein Entwurf einer Technical Specification (CEN/TS 15901-14:2011 (E) – Stand: 2011-06-09) vor, der Angaben zur Präzision des Verfahrens auf angehäuseter Fahrbahn enthält. Zum Zeitpunkt der Griffigkeitsmessungen im Rahmen dieses FE-Projektes lagen diese Erkenntnisse in Deutschland allerdings noch nicht vor.

Nachfolgend werden die Eigenschaften der drei ausgewählten kontinuierlich messenden Verfahren dargestellt und erläutert, warum diese Verfahren für die Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes ausgewählt wurden.

## 9.2 ViaFriction

Das Griffigkeitsmesssystem ViaFriction (vgl. Bild 10 und 11) wurde von der norwegischen Firma ViaTech in Zusammenarbeit mit dem norwegischen Straßenbauministerium Statens Vegvesen entwickelt. Das Messsystem arbeitet sowohl mit variablem als auch konstantem Schlupf in einem Geschwindigkeitsbereich von 15 km/h bis 80 km/h. Das Gerät arbeitet nach dem LFC-Messverfahren



Bild 10: Messeinheit des ViaFriction [eigene Darstellung]



Bild 11: Messeinheit des ViaFriction [eigene Darstellung]

**Tab. 8:** Zusammenstellung der vorhandenen kontinuierlich messenden Verfahren und Prüfung auf die Eignung zur kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahbahnmarkierungen unter Verkehr [CEN/TS 15901; DO et al., 2008; FGSV, 2007; FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008; KLUGER-EIGL, 2009]

Bezeichnung	Messprinzip (LFC/SFC)	Hersteller	Messreifen		Schlupf/Schräglaufwinkel		Auflast „Wert“	Messgeschwindigkeit	Messlinie	Bewertungshintergrund	Temperaturbereich	Präzision	in D. verfügbar	geeignet für Markierungen
			Größe	Aufstandsweite	Standard-Messbedingungen	Veränderbar?								
GripTester	LFC	ASTM	E1844-96, 10 Zoll Durchmesser (254 mm), 10 x 4,5-5, (58 ± 2) Shore A	-7,5 cm	15 ± 1 %	nein	(250 ± 20) N	Schiebebetrieb: 5 km/h Zugbetrieb: 20-100 km/h	links, mitte und rechts	ja	5-50 °C	r = 0,03 (tolerierte Ungenauigkeit der 100-m-Einzelwerte zwischen zwei Messfahrten)	ja	ja
ViaFriction	LFC	ASTM + Diverse	ASTM: RL2, 4.00-8 NHS Profireifen: 3.50-8	ASTM: -7,5 cm Profireifen: -9 cm	20 %	variabel 0-75 % (Messung der gesamten $\mu$ -Schlupf-Kurve möglich)	500 N	15-80 km/h	rechts (durch Umbau auch links)	k. A.	-35-35 °C	gemäß dem Entwurf der Technical Spezifikation CEN/TS 15901-14:2011 gilt für die Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung bei 90 % aller Prüfungen $\Delta\mu < 0,04$ (10-m-Abschnitte)	ja	ja
SKM	SFC	IWS/Heidenau	SKM-Reifen 3 x 20 Zoll	< 8,13 cm (7,64 cm/cos 20°)	Schlupf: 32 % Schräglaufwinkel: (20 ± 1)°	nein	(1.960 ± 10) N	40-80 km/h	rechts	ja	5-50 °C	r = 0,05 (tolerierte Ungenauigkeit der 100-m-Einzelwerte zwischen zwei Messfahrten) R = 0,015 (Toleranz für Wiederholmessungen für den Gesamtmittelwert auf dem 2 km langen Gültigkeitsabschnitt)	ja	ja
SCRIM	SFC	AVON	SCRIM-Reifen 76/508 mm	< 8,13 cm (7,64 cm/cos 20°)	Schlupf: 32 % Schräglaufwinkel: (20 ± 1)°	nein	(1.960 ± 10) N	40-80 km/h	rechts	ja	5-50 °C	r < 0,03 R < 0,07	(ja)	ja
TRT	LFC	ASTM	k. A.	k. A.	25 %	0-100 %	1.000 N	40-120 km/h	links	k. A.	5-50 °C	r = 0,03 R = 0,05	nein	nein
ROAR	LFC	ASTM	k. A.	k. A.	20 % (ROAR DK) 86 % (ROAR NL)	1-99 %	1.200 N	20-80 km/h	rechts	k. A.	6-50 °C	ROAR DK: Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung bei 90 % aller Prüfungen $\Delta\mu < 0,04$ (10-m-Abschnitte), Differenz der Standardabweichung der Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung bei 90 % aller Prüfungen $\Delta\sigma < 0,05$ (10-m-Abschnitte) ROAR NL: r = 0,04 und R = 0,05	nein	nein
RoadStar 1	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	18 %	37,5 %, 50 %, 75 % und ABS-Bremmung	3.500 N	30-60 km/h	rechts	k. A.	5-50 °C	Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung $\Delta\mu < 0,03$ (50-m-Abschnitte), 2fache Standardabweichung der Differenz der Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung $2\sigma < 0,05$ (50 m Abschnitte)	nein	nein
RoadStar 2	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	18 %	25 %, 50 %, 62,5 % und ABS-Bremmung	3.500 N	30-60 km/h	rechts	k. A.	5-50 °C		nein	nein
SRM	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	100 %	(15 ± 1) % oder ABS-Bremmung	3.500 N	40-80 km/h	rechts oder links	k. A.	10-30 °C	Differenz der Mittelwerte zweier Prüfungen $\Delta\mu < 0,03$ , Standardabweichung zweier Prüfungen nach erfolgter Kalibrierung $\sigma < 0,02$	(ja)	nein
BV 11 und SFT	LFC	Trelleborg	k. A.	< 10,16 cm	17 %	nein	1.000 N	max. 70 km/h	rechts oder links	k. A.	> 5 °C	k. A.	nein	nein
Skiddometer BV-8	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	14 ± 1 % oder 100 %	nein	3.500 N	40-80 km/h	rechts oder links	k. A.	10-30 °C	Differenz der Mittelwerte zweier Prüfungen $\Delta\mu < 0,03$ , Standardabweichung zweier Prüfungen nach erfolgter Kalibrierung $\sigma < 0,02$ , R < 0,03	nein	nein
OSCAR	LFC	ASTM	E 524-88	k. A.	18 %	3-75 %	4.826 N	k. A.	links	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
ADHERA	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	100 %	0-100 %	2.500 N	40-120 km/h	rechts	k. A.	5-50 °C	r = 0,03 R = 0,05	nein	nein
IMAG	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	15 %	nein	1.500 N	40-140 km/h	mittig zwischen den Rollspuren	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
RWS NL	LFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	86 %	nein	1.962 N	50-70 km/h	rechts	k. A.	2-45 °C	r = 0,04 R = 0,05	nein	nein
Odoligraph	SFC	PIARC	165 R 15	< 16,5 cm	Schlupf: 34 % Schräglaufwinkel: 20°	nein	2.700 N	max. 80 km/h	Teststreifen am Fahrzeug (Pkw) montiert	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
VTI Portable Friction Tester (PFT)	LFC	k. A.	4.00-6	< 10,16 cm	25 %	nein	125 N	(nur Schiebebetrieb) 0,5 ± 0,1 m/s	nicht spezifiziert	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
Mu-Meter Mk-5 und Mk-6	SFC	k. A.	k. A.	k. A.	13 % (Laufwinkel der äußeren Reifen: 7.5°)	k. A.	k. A.	20-80 km/h	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
SALTAR friction meter	LFC	Bridgestone	8F-228 135R X 12	< 13,5 cm	k. A.	variabel von freiliegend bis blockiert	700 N	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
VTI Skiddometer BV-12	LFC oder SFC möglich	k. A.	Abmessungen wie normaler Pkw-Reifen	k. A.	k. A.	Schlupf: 0 %-100 % Laufwinkel: bis 20°	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
VTI Skiddometer BV-14	LFC	Trelleborg	k. A.	< 10,16 cm	17 %	k. A.	1.000 N	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
DWW Trailer	k. A.	PIARC-Reifen, profillos, 165 R15	k. A.	k. A.	86 %	k. A.	1.960	50 km/h	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
VTT Friction Lorry	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	100 %; Neigungswinkel: 8°	k. A.	3.900 N	60 km/h	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein
T2GO Portable Friction Tester	LFC	ASFT	Größe 3"	< 7,62 cm	20 %	nein	k. A.	5 km/h	nicht spezifiziert	k. A.	k. A.	k. A.	nein	nein

(LFC = Lontitudinal Friction Coefficient). Die Messeinheit besteht aus einem Messanhänger und einem Triebfahrzeug, in das der Wassertank mit einem Volumen von ca. 1.000 Litern eingebaut ist. Durch das elektrische Bremssystem des profillosen ASTM-Messreifens (ASTM RL2, 4.00-8NHS) und den damit verbundenen variablen Schlupf von 0-75 % kann das ViaFriction an die Schlupfbedingungen jedes Griffigkeitsmesssystems angepasst werden. Eine Anpassung der Auflast/Normalkraft ist demgegenüber nicht möglich. Bei Standardmessungen kommt allerdings ein Schlupf von 20 % zum Einsatz. Mit dem System können Wasserfilmdicken von 0,5 bis 1,0 mm auf der Straßenoberfläche erzeugt werden. Standardmäßig wird das ViaFriction auf eisglatter Straße ohne die Aufbringung eines Wasserfilms betrieben, sodass bisher keine Erfahrungen auf angenässter Fahrbahnoberfläche vorliegen. Auch Regelwerke oder Angaben hinsichtlich der Präzision existieren bis dato in Deutschland nicht. Zum Berichtszeitpunkt (Mai 2012) lag lediglich ein erster Entwurf einer Technical Specification (CEN/TS 15901-14:2011 (E) – Stand: 2011-06-09) vor. Hierin werden insbesondere Angaben zum Messsystem, zu den Messparametern sowie ersten Erkenntnissen zu Wiederholgenauigkeiten gemacht. Diesbezüglich gilt für die Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung bei 90 % aller Prüfungen  $\Delta\mu < 0,04$  (10-m-Abschnitte) [CEN/TS 15901].

Das Messsystem ViaFriction zeichnet sich vor allem durch den möglichen Geschwindigkeitsbereich bei der Messung von 15 bis 80 km/h sowie einen variabel einstellbaren Schlupf (0-75 %) aus. Allerdings ist durch die mittige Kopplung des Messanhängers am Zugfahrzeug und die Anordnung des Messreifens an der rechten Seite des Messanhängers die Messbarkeit von Fahrbahnmarkierungen am linken Fahrbahnrand nicht möglich. Durch einen Umbau der Messeinheit auf die linke Seite des Messanhängers ließe sich aber auch eine Messung auf der linken Fahrzeugseite realisieren. Der Messreifen (ASTM-Reifen, RL2, 4.00-8 NHS und Profilreifen 3.50-8) weist einen Reifenlatsch von ca. 7,5 cm auf, sodass auch Fahrbahnmarkierungen mit 12 cm Breite erfasst werden können. Hierbei ist eine exakte Spurhaltung des Messfahrzeuges während der Messung erforderlich, sodass ein exaktes Spurführungssystem sowie ein geübter Fahrzeugführer benötigt werden. Das Messsystem befindet sich im Besitz des Instituts für Straßenwesen Aachen und war somit jederzeit im Rahmen des Projektes verfügbar. Für das Messsystem existier-

ten zum Einsatzzeitpunkt keine Arbeitsanleitungen oder Prüfnormen, sodass keine Korrektur der Messwerte infolge Temperaturschwankungen oder Ähnlichem erfolgte.

### 9.3 GripTester

Der GripTester (vgl. Bild 12) wurde im Jahre 1987 von der Firma Findlay Irvine in Schottland entworfen, konstruiert und als Version MK I auf den Markt gebracht. Seit 2003 ist das Nachfolgemodell (Version MK II) auf dem Markt, welches sich äußerlich nur unwesentlich vom MK I unterscheidet, aber mit einer verbesserten Elektronik und einer modifizierten Messachse ausgestattet ist. Das ursprünglich für den Einsatz an Hubschrauberlandeplätzen entwickelte Messsystem besteht im Wesentlichen aus dem GripTester-Messanhänger, einem Bewässerungssystem, einer Datenerfassungseinheit und einem Zugfahrzeug. Das eigentliche Messgerät besteht aus einem Anhänger mit zwei Laufrädern und einem kleinen Messrad. Die Reifenabmessungen sind ähnlich denen eines „Gokart“-Reifens. Für Griffigkeitsmessungen kann der GripTester in zwei Betriebsarten eingesetzt werden. Er kann sowohl im Zugbetrieb als auch bei beengten Verhältnissen manuell mit geringer Geschwindigkeit im Schiebetrieb eingesetzt werden. Im Zugbetrieb wird der GripTester an ein beliebiges Fahrzeug angehängt, welches mit einem vollautomatischen Bewässerungssystem mit Wassertank ausgestattet ist. In dieser Betriebsart können Messgeschwindigkeiten von 20 km/h bis 80 km/h erreicht werden [DO et al., 2008; KLUGER-EIGL, 2009].

Der GripTester ist in Deutschland in der „Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester)“ der FGSV [FGSV, 2007] beschrieben. Die Ermittlung des Reibungsbeiwertes erfolgt bei einem konstanten Schlupf von



Bild 12: GripTester [eigene Darstellung]



15 ± 1 % mit einem kleinen Messreifen nach dem Messprinzip des definiert gebremsten und geradeaus laufenden Messrades auf einer mit Wasser benetzten Fahrbahnoberfläche. Abhängig vom Kraftschluss zwischen dem Messreifen und der Fahrbahnoberfläche wirkt am Messrad eine horizontale Längsreibungskraft, die in der Messradachse erfasst wird. Gleichzeitig wird auch die auf das Messrad wirkende Normalkraft erfasst. Der Quotient aus Horizontal- und Normalkraft bildet den Kraftschlussbeiwert [FGSV, 2007].

Gemäß der Arbeitsanleitung erfolgt bei der Auswertung der Messergebnisse eine Korrektur für die Messbedingungen. Neben einer Geschwindigkeitskorrektur erfolgt des Weiteren auch eine Korrektur der Messwerte anhand der Fahrbahnoberflächentemperatur. Dabei sind die Messwerte auf die Sollgeschwindigkeit sowie auf die Bezugstemperatur von 20 °C zu beziehen. Für detailliertere Informationen wird auf die Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester) der FGSV verwiesen [FGSV, 2007].

Die Wiederholpräzision des GripTesters beträgt  $r = 0,03$ , während die Reproduzierbarkeit (abhängig von der Messgeschwindigkeit)  $R = 0,08$  bei 30 km/h,  $R = 0,07$  bei 50 km/h und  $R = 0,06$  bei 80 km/h beträgt [FGSV, 2007; DO et al., 2008; KLUGER-EIGL, 2009]

Der GripTester zeichnet sich durch einen anforderungsgerechten Geschwindigkeitsbereich bei der Messung von 20-100 km/h im Zugbetrieb bzw. von 5 km/h im Schiebetrieb aus. Daneben entspricht der Messreifen (ASTM-Reifen, profillos, 10 Zoll, 10 x 4,5-5) mit einem Reifenlatsch kleiner 8 cm den Anforderungen, sodass auch Fahrbahnmarkierungen mit 12 cm Breite erfasst werden können. Auch hierbei ist, wie beim ViaFriction, eine exakte Spurlagehaltung des Messfahrzeuges während der Messung erforderlich. Dieses erfordert ebenfalls ein exaktes Spurführungssystem sowie einen geübten Fahrzeugführer. Durch die mögliche Kopplung des GripTesters am Zugfahrzeug in drei Positionen (links, mittig, rechts) eröffnet sich zudem die Möglichkeit der Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen sowohl auf der rechten als auch auf der linken Fahrbahnseite. Des Weiteren ist die Verfügbarkeit durch die Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projektes mit der Mechatronic Traffic GmbH jederzeit gegeben. Die Mechatronic Traffic GmbH hat ihren Geschäftsbetrieb im November 2010 eingestellt – dennoch ist die Verfügbarkeit des

GripTesters auch zukünftig durch andere Firmen sichergestellt (vgl. [www.ggm-ev.de](http://www.ggm-ev.de)).

## 9.4 SKM

Das Seitenkraftmessverfahren (SKM) wurde in Deutschland entwickelt und basiert auf dem Gerät SCRIM, wobei einige Modifikationen vorgenommen wurden. Bei dem SKM werden im Vergleich zum Originalsystem eigens produzierte Messreifen eingesetzt und die Griffigkeitsmesseinrichtung mit speziellen Stoßdämpfern ausgestattet.

Das Messgerät erfasst die Querreibung mit Hilfe eines schmalen profillosen Gummireifens (vgl. Messeinheit des SKM in Bild 13), der in einem Winkel von 20° zur Fahrtrichtung zwischen Vorder- und Hinterachse des Messfahrzeuges befestigt ist. Aus der erfassten Seitenkraft und der bekannten Radlast kann der Seitenkraftbeiwert bestimmt werden [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008; DO et al., 2008; KLUGER-EIGL, 2009].

Das SFC-Verfahren ist im Wesentlichen von den Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche, vom Schräglauwinkel, vom verwendeten Reifen, von der Geschwindigkeit, von der Wasserfilmdicke, von einer eventuell vorhandenen Verunreinigung und von den Temperaturen (Reifen, Wasser, Fahrbahnoberfläche und Luft) abhängig. Demgemäß erfolgt bei der Auswertung der Messdaten eine Messwertkorrektur. Neben einer Geschwindigkeitskorrektur erfolgt außerdem eine Korrektur bzgl. der Fahrbahn- und Wassertemperatur. Dabei sind die Messwerte auf die Sollgeschwindigkeit sowie auf die Bezugstemperaturen des Wassers (20 °C) und der Fahrbahn (20 °C) zu beziehen. Für detailliertere Informationen wird auf die „Technischen Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM)“ verwiesen. Die Prä-

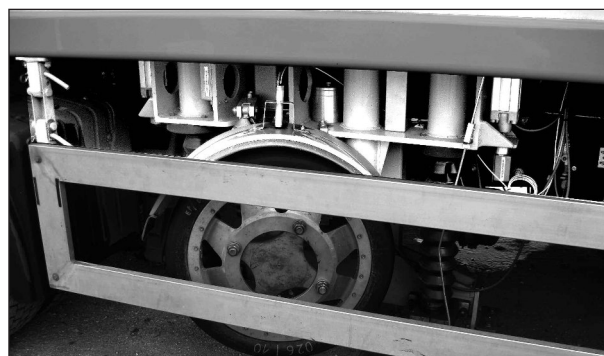


Bild 13: Messeinheit des SKM [eigene Darstellung]

zision des Messsystems beläuft sich auf eine Wiederholgenauigkeit zwischen 2 Messungen von  $\pm 0,015$  über den Gültigkeitsabschnitt mit einer Länge von 2 km. Die auf die jeweiligen 100-m-Einzelwerte bezogene Toleranz zwischen zwei Messfahrten darf im 100-m-Abschnitt nicht größer als  $\pm 0,05$  sein [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008].

Ausgewählt wurde das SKM-Verfahren, da es neben dem GripTester den größten Bewertungshintergrund aufweist und sich durch einen anforderungsgerechten Geschwindigkeitsbereich bei der Messung von 40-100 km/h sowie eine gute Verfügbarkeit auszeichnet. Weiterhin entspricht der Messreifen mit einer rechnerischen Breite von 8,13 cm quer zur Fahrtrichtung (schräg laufender Messreifen mit einer Breite von 7,64 cm und einem Schräglaufwinkel von  $20^\circ$  – Breite =  $7,64/\cos 20^\circ$ ) dem definierten Anforderungsprofil.

## 10 Vorversuche

Im Rahmen der Vorversuche war zu überprüfen, ob mit den ausgewählten kontinuierlich messenden Verfahren eine kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen unterschiedlicher Breite sowie Ausführungen (durchgängige bzw. nicht-durchgängige Markierung) unter Variation der Messgeschwindigkeiten möglich ist.

Zusammenfassend wurden daher nachfolgende Fragestellungen im Rahmen der Vorversuche betrachtet:

- Welchen Einfluss hat die Breite der Fahrbahnmarkierungen auf die Erfassungsgüte?
- Welchen Einfluss hat die Messgeschwindigkeit auf die Erfassungsgüte?
- Welche Mindestbreite ist erforderlich, um eine ausreichende Erfassungsgüte für die kontinuierliche Bewertung der Griffigkeit realisieren zu können? Mangels Erfahrungswerten wurde eine Erfassungsgüte von mindestens 50 % angestrebt.
- Ist die Erfassung von nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen realisierbar?
- Erfüllen die eingesetzten Mittel der Spurüberwachung, d. h. das zu entwickelnde kameragestützte Visualisierungssystem (WEBCAM-System), die gestellten Anforderungen? Ist eine

Überprüfung der Messreifenlage in Relation zur Markierung möglich? Ist eine gezielte Korrektur der Fahrtrichtung möglich?

- Welche Randbedingungen lassen sich für die Hauptversuche definieren?

Zur Untersuchung der o. g. Fragestellungen wurden im Rahmen der Vorversuche die zwei ausgewählten kontinuierlich messenden LFC-Verfahren – das ViaFriction und der GripTester – eingesetzt. Ein Einsatz des SKM-Messverfahrens wurde aufgrund der angestrebten geringen Breite der applizierten Markierungen von 12 cm und unter Berücksichtigung der Größe des Messsystems in Absprache mit dem Auftraggeber als nicht zielführend erachtet.

### 10.1 Applikation der Markierung

Bei der Applikation der Fahrbahnmarkierungen für die Vorversuche wurden die geplanten Einsatzbereiche der kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen bei einer Geschwindigkeit größer 50 km/h (Landesstraße, Bundesstraße, Bundesautobahn) berücksichtigt. Dementsprechend wurden Fahrbahnmarkierungen für die Regelquerschnitte RQ 9,5 (Landesstraße), RQ 10,5 (Bundesstraße) und RQ 31 (Bundesautobahn) als Referenz verwendet. Die verschiedenen Fahrbahnmarkierungen wurden in einer Länge von jeweils 100 m appliziert. Diese Länge entsprach damit dem Messumfang für Griffigkeitsmessungen von durchgängigen Fahrbahnmarkierungen mit dem SRT-Pendelgerät gemäß ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002].

Für die Vorversuche wurden sowohl unterschiedliche Breiten (12, 15, 25, 30 cm) als auch verschiedene Ausführungen (durchgängig und nicht-durchgängig) auf der Teststrecke appliziert (vgl. Tabelle 9). Maßgebendes Kriterium bei der Auswahl der Markierung war ein maximaler Kontrast zwischen Fahrbahn und Fahrbahnmarkierung, um die spätere visuelle Erfassung der Markierung mit Hilfe eines Kamerasystems gewährleisten zu können. Des Weiteren wurde ein Griffigkeitsunterschied zwischen Fahrbahn und Markierung angestrebt, um in Verbindung mit dem Kamerasystem eine genaue Differenzierung zwischen Markierung und Fahrbahn zu ermöglichen. Diesbezüglich kamen für die Vorversuche Farbmarkierungen mit einer Griffigkeit von ca. 45 SRT-Einheiten zum Einsatz. Ein Nachstreuen mit Perlen oder Griffigkeitsmitteln sowie eine Variation des Materials und der Griffigkeit der

Markierungen erfolgten nicht. Die applizierten Breiten und Ausführungen der Fahrbahnmarkierungen wurden dabei, wie bereits oben beschrieben, nach den geplanten Einsatzbereichen der kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen (Bundesautobahnen, Bundes- und Lan-

Breite	Ausführung	Referenz
12 cm	durchgängig (Fahrbahnrand)	Landes- und Bundesstraße
12 cm	nicht-durchgängig (Leitlinie 1:2, 4:8 m)	
25 cm	durchgängig (Fahrbahnrand mit Seitenstreifen)	
15 cm	durchgängig (Fahrbahnrand)	Bundesautobahn
15 cm	nicht-durchgängig (Leitlinie 1:2, 6:12 m)	
30 cm	durchgängig (Fahrbahnrand)	

Tab. 9: Fahrbahnmarkierungen für die Vorversuche (inkl. Breite, Ausführung und Referenz)

desstraßen) und den Vorgaben der „Richtlinien für die Markierung von Straßen – Teil 2“ ausgewählt. Das sogenannte „Vorversuchsfeld“ wurde auf einer Länge von 200 m appliziert. Dabei wurden jeweils zwei Markierungen (rechts: 25 und 30 cm nur durchgängig, Mitte: 15 cm, durchgängig und nicht-durchgängig (6:12), links: 12 cm, durchgängig und nicht-durchgängig (4:8)) mit einer jeweiligen Länge von 100 m nacheinander auf der Strecke aufgebracht (vgl. Bild 14).

Die Grenze zwischen Fahrbahn und Markierung bzw. zwischen zwei Markierungen in Längsrichtung wurden im Hinblick auf eine spätere getrennte Auswertung durch einen 30 cm breiten Querstrich kenntlich gemacht (vgl. Bild 14 und Tabelle 10). Dabei wurden die Fahrbahnmarkierungen in Querrichtung mit einem seitlichen Abstand von 80 cm appliziert (vgl. Tabelle 10 „y“). Die Applikation der Fahrbahnmarkierungen erfolgte durch Mitarbeiter eines Markierungsherstellers durch manuelles Aufsprühen der Farbe nach vorheriger Vormarkierung der Streckenbereiche durch Mitarbeiter des Institutes für Straßenwesen Aachen.

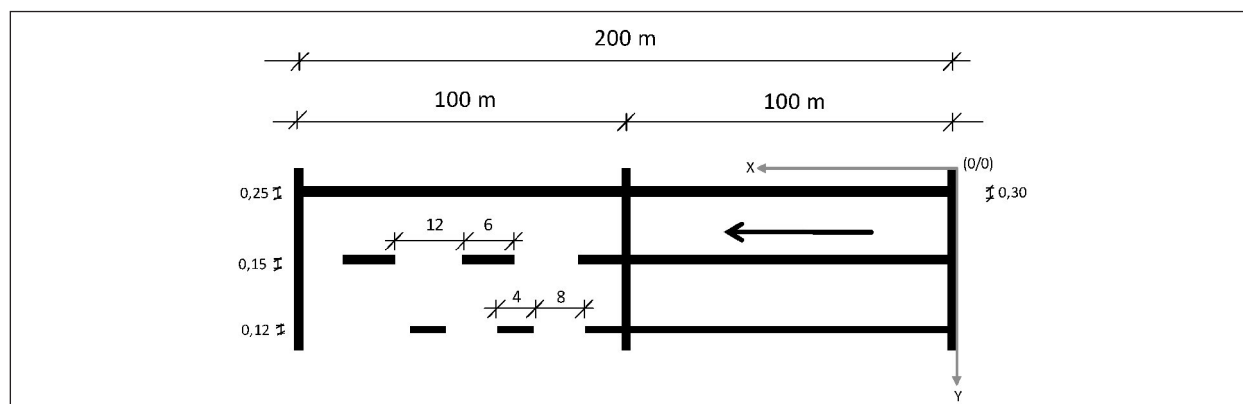


Bild 14: Applikationsplan für die Vorversuche

Markierung	x [m]	y [m]	Lage Global [m]	Breite [m]	Länge [m]	Applikationsart
Startlinie	0,00	0,00	1.225,00	3,75	0,30	durchgängig
	0,30	1,40	1.225,30	0,30	100,00	durchgängig
	0,30	2,20	1.225,30	0,15	100,00	durchgängig
	0,30	3,00	1.225,30	0,12	100,00	durchgängig
Querlinie	100,30	0,00	1.325,30	3,75	0,30	durchgängig
	100,60	1,40	1.325,60	0,25	100,00	durchgängig
	100,60	2,20	1.325,60	0,15	100,00	6:12
	100,60	3,00	1.325,60	0,12	100,00	4:8
Endlinie	200,60	0,00	1.425,60	3,75	0,30	durchgängig

Tab. 10: Applikationsplan des Vorversuchsfeldes. Dargestellt sind die jeweilige globale Lage, die Lage im Messfeld (x), die Breite und die Länge (y) der applizierten Fahrbahnmarkierungen (Koordinatensprung: vgl. Bild 14)



Ein Nachstreuen mit Perlen oder Griffigkeitsmitteln erfolgte nicht, sodass eine niedrige Griffigkeit von nur ca. 45 SRT-Einheiten erreicht werden konnte. Gleichmaßen konnte so auch, wie angestrebt, ein Griffigkeitsunterschied zwischen Fahrbahn (52 SRT-Einheiten) und Markierung bei den Vorversuchen realisiert werden. Ein größerer Griffigkeitsunterschied wurde nicht für notwendig erachtet, da im Rahmen der Vorversuche lediglich die sogenannte Erfassungsgüte, d. h. die Genauigkeit der Markierungsüberfahrt, untersucht werden sollte. Der Griffigkeitsunterschied diente bei der Auswertung (vgl. Kapitel 10.2) vielmehr nur als weiteres Indiz für die Auf- bzw. Abfahrt von der Markierung. Bei der Applikation der nicht-durchgängigen Markierungen (6:12 und 4:8) wurden die geforderten Abmessungen der Zwischenbereiche durch Auflegen eines Pappkartons gewährleistet. Aufgrund der manuellen Sprühapplikation des Farbmaterials sowie örtlicher Gegebenheiten wiesen die Markierungen eine geringfügige Welligkeit auf, die aber auf die nachfolgenden Vorversuche keinen Einfluss hatte – die geringfügige Welligkeit wurde vielmehr laut eigener Aussage der Fahrzeugführer bei der Überfahrt mit Geschwindigkeiten von 40-80 km/h weder erkannt noch als störend empfunden.

## 10.2 Untersuchungs- und Auswertemethodik – Vorversuche

In die Vorversuche wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber nur die kontinuierlich messenden Verfahren ViaFriction und GripTester einbezogen. Dies war insbesondere auf die applizierte Markierungsbreite von minimal 12 cm sowie die Breite des Reifenlatsches der ausgewählten Messverfahren zurückzuführen (vgl. Kapitel 9). Die Untersuchungen mit dem ViaFriction wurden durch Personal des Institutes für Straßenwesen Aachen durchgeführt. Dabei erfolgten die Messungen mit standardmäßigem Schlupf von 20 % und Geschwindigkeiten von 40 bis 80 km/h (40, 50, 60, 70 und 80 km/h) mit jeweils fünffacher Belegung. Daneben wurden Untersuchungen mit dem GripTester durch Personal der Mechatronic Traffic GmbH, ebenfalls in fünffacher Belegung sowie mit Messgeschwindigkeiten von 40 bis 80 km/h (40, 50, 60, 70 und 80 km/h), durchgeführt. Dabei wurde ein standardmäßiger Schlupf von  $15 \pm 1$  % verwendet.

Um die Fahrbahnmarkierungen unterschiedlicher Breite zielgerichtet und unbeeinflusst prüfen zu können, bedurfte es der spurngenauen Überfahrt der

Fahrbahnmarkierungen. Hierfür wurde durch das Institut für Straßenwesen ein Kamerasystem entwickelt, das die Echtzeitkontrolle der Messreifenposition in Relation zur Fahrbahnmarkierung sowie die Aufzeichnung der Videodaten ermöglichte. Dieses Kamerasystem beruht auf einer USB-basierten Webcam, die im Hinblick auf die hier gestellten Anforderungen modifiziert wurde. Insbesondere wurde auf einen ausreichenden Spritzschutz des Kameraobjektivs Wert gelegt. Des Weiteren mussten geeignete Befestigungspunkte an den kontinuierlich messenden Systemen identifiziert werden, die ein ausreichendes Sichtfeld des Kamerasystems sicherstellten und gleichzeitig den reibungslosen Betrieb der Messsysteme jederzeit ermöglichten (vgl. Bilder 15-17). Das Kamerasystem ermöglichte die Erfassung der genauen Messrei-



Bild 15: Position der USB-Kamera am ViaFriction



Bild 16: Position der USB-Kamera am GripTester (1)

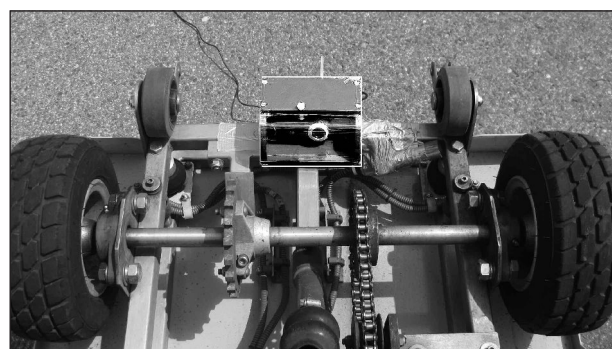


Bild 17: Position der USB-Kamera am GripTester (2)

fenposition in Relation zur Fahrbahnmarkierung und stellte diese Informationen dem Fahrzeugführer visuell in Echtzeit im Führerhaus zur Verfügung. Somit war der Fahrzeugführer in der Lage, die Messspurlage des Messfahrzeuges auf Grundlage des ihm zur Verfügung gestellten Videobildes mit Hilfe von Korrekturlenkbewegungen zu beeinflussen. Durch die gleichzeitige Speicherung der Videodaten wurde zudem ein späterer Abgleich mit den Messdaten des Griffigkeitsmesssystems ermöglicht. Hierfür wurden die Überfahrvideos mit dem sogenannten ISAC-DVA (Digitale-Video-Analyse), einem durch das Institut für Straßenwesen entwickelten Video-Auswertetool, hinsichtlich des Weißanteils im Videobild ausgewertet. Der hierzu notwendige Auswertebereich des Videobildes wurde dazu im Vorfeld der Auswertung genau vor dem jeweiligen Messreifen definiert (vgl. Bild 18, hellgrauer Bereich). Durch die Auswertung des jeweiligen Weißanteils ließ sich so feststellen, ob sich der Messreifen während der Messung auf einer Fahrbahnmarkierung oder auf der Fahrbahn be-

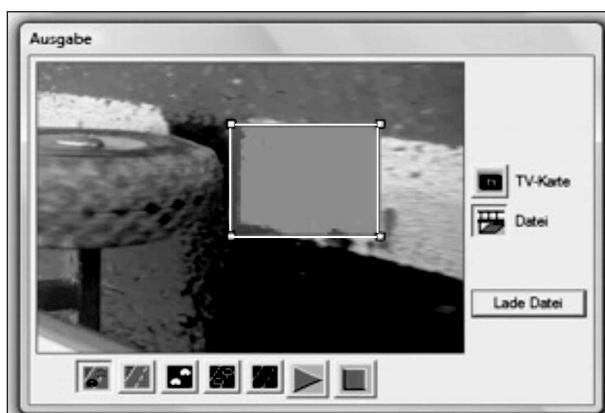


Bild 18: Auswertebereich ISAC-DVA

fand, da der Weißanteil der Asphaltbefestigung im Vergleich zu dem Weißanteil der Fahrbahnmarkierung deutlich geringer ist.

Bei der Analyse war die Lage des gesamten Messreifens als maßgebendes Kriterium für eine exakte Messung der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierung heranzuziehen. Nur wenn die gesamte Breite des Reifens die Markierung überrollt hat, war eine unbeeinflusste Bestimmung des Reibwertes der Markierung möglich. Befand sich der Messreifen nicht exakt über der Markierung, waren die Messdaten dementsprechend zu verwerfen. Die für einen späteren Abgleich der Video- und Griffigkeitsdaten notwendige Synchronisation der Daten wurde mit Hilfe der nachfolgend beschriebenen Methodik sichergestellt.

Bei den Untersuchungen wurde die Videoaufzeichnung in einem Abstand von ca. 200 m (erste graue Quermarkierung) vor der ersten weißen Quermarkierung (Startlinie) gestartet. Die Griffigkeitsmessung wurde nachfolgend bei der zweiten Graumarkierung (ca. 100 m vor der ersten weißen Quermarkierung), die auf dem Bildschirm für den Fahrzeugführer ersichtlich war, gestartet (vgl. Bild 19). Hierdurch konnte gewährleistet werden, dass alle Messungen annähernd am gleichen Punkt gestartet wurden ( $\pm 0,3$  m bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h).

In dieser Vorlaufstrecke von 100 m vor dem eigentlichen Messfeld erfolgte der Aufbau des benötigten Schlupfzustandes der Systeme bzw. das Warmfahren des Messreifens (laut Aussage der Mechatronic Traffic GmbH waren 100 m ausreichend). Der Nullpunkt der Videoaufzeichnung wurde mit Hilfe eines Videoschnittprogrammes gleichermaßen auf die

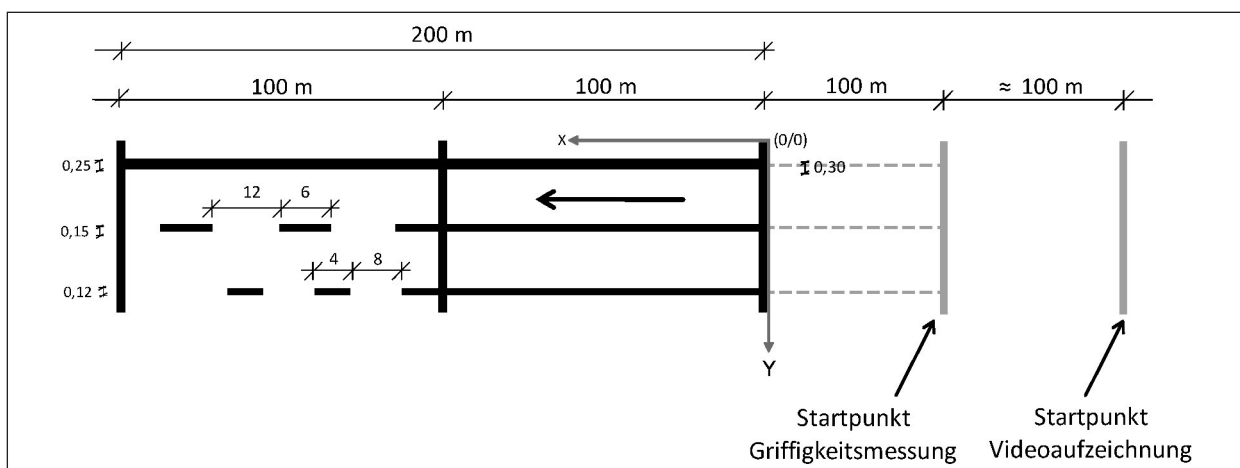


Bild 19: Schematische unmaßstäbliche Darstellung der Synchronisationsstrecke in den Vorversuchen

sen Nullpunkt (2. graue Quermarkierung, 100 m vor dem Messfeld) gesetzt. Die spätere Auswertung der Griffigkeitswerte und der Videoaufzeichnung erfolgte weiterhin erst nach einer Messstrecke von ca. 100 m, d. h. am Anfang des Messfeldes (100 m nach der 2. grauen Quermarkierung = Anfang des Messfeldes). Die Erfassungsgüte der kontinuierlichen Messungen im Hinblick auf die jeweils erfasste Länge der Fahrbahnmarkierungen erfolgte mit Hilfe der bereits beschriebenen Videoauswertesoftware und eines Abgleichs der Video- und Griffigkeitsdaten. Validiert wurde dieses Verfahren durch die Auswertung der Griffigkeitsdaten im Hinblick auf Griffigkeitsunterschiede zwischen Fahrbahn (ca. 52 SRT-Einheiten) und Fahrbahnmarkierungen (ca. 45 SRT-Einheiten), da bereits diese Griffigkeitsunterschiede Rückschlüsse auf die Lage des Messreifens ermöglichten. Des Weiteren ließ sich hierdurch die Synchronisation der Video- und Griffigkeitsdaten neben dem oben beschriebenen Verfahren optimieren. Als Bewertungskriterium der jeweiligen Messüberfahrten wurde die Erfassungsgüte als Qualitätsmaß herangezogen. Definiert wurde diese als prozentualer Anteil der erfassten Markierung im Verhältnis zur Gesamtmarkierungslänge. Diese Vorgehensweise erfolgte für alle applizierten Markierungen gleichermaßen. Demgemäß wurde der Verhältniswert dabei bei der durchgängigen Fahrbahnmarkierung auf 100 m (30 cm, 25 cm, 15 cm und 12 cm Breite) und bei den nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen auf die maximal erfassbare Markierungslänge von 36 m (15 cm Breite, 6:12, und 12 cm Breite, 4:8) bezogen. Beispielsweise erhielt man gemäß der o. g. Vorgehensweise bei einer Gesamtlänge von 100 m und einer sicher erfassten Länge von 44 m eine Erfassungsgüte von 44 %. Durch diese Vorgehensweise stand ein Qualitätsmerkmal zur Verfügung, das eine Bewertung der Messbarkeit der Fahrbahnmarkierungen in Abhängigkeit der Breite sowie der Geschwindigkeit ermöglichte.

Inwieweit nicht-durchgängige Fahrbahnmarkierungen mit den kontinuierlich messenden Verfahren bei verschiedenen Geschwindigkeiten bewertet werden konnten, wurde durch eine parallele Auswertung der Griffigkeitsdaten und der Videodaten untersucht. Diesbezüglich war zu untersuchen, ob die jeweilige Strich-Lücke-Kombination in Abhängigkeit der Geschwindigkeit korrekt von den verwendeten kontinuierlich messenden Verfahren wiedergegeben werden konnte. Dies bedeutet, dass zu untersuchen war, ob die Länge des erwarteten Griffigkeitsabfalls auf der Fahrbahnmarkierung bzw.

des Griffigkeitsanstieges auf der Fahrbahn der jeweils applizierten Länge entsprach (Fahrbahn: 52 SRT-Einheiten, Markierung: 45 SRT-Einheiten).

Zusammenfassend konnten nachfolgende Arbeitsschritte für die Analyse der Video- und Griffigkeitsdaten im Rahmen der Vorversuche definiert werden:

- Start der Videoaufzeichnung ca. 200 m vor dem Messfeld (1. graue Quermarkierung),
- Start der Griffigkeitsmessung 100 m vor dem Messfeld (bei Überfahrt über die 2. graue Quermarkierung),
- Auswertung der Griffigkeitswerte ab 100 m Messstrecke (100 m nach der 2. grauen Quermarkierung),
- Nullpunkt der Videoaufzeichnung setzen (bei Startpunkt Griffigkeitsmessung),
- Auswertung der Videoaufzeichnung nach 100 m Messstrecke (100 m nach der 2. grauen Quermarkierung),
- Aufsummierung der verwertbaren Bereiche und Verhältnisbildung zur Gesamtlänge der Markierung (Bestimmung der „Erfassungsgüte“),
- Analyse der Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Einflussfaktoren Messgeschwindigkeit, Markierungsbreite und Markierungsart.

### 10.3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der Vorversuche mit den kontinuierlich messenden Verfahren ViaFriction und GripTester sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 dargestellt. In den Tabellen ist die mittlere Erfassungsgüte bei Geschwindigkeiten von 40 bis 80 km/h in Stufen von 10 km/h für alle applizierten Fahrbahnmarkierungen abgebildet. Als Bewertungskriterium für die Gültigkeit der Markierungsüberfahrten ist weiterhin die Erfassungsgüte (Definition der Erfassungsgüte vgl. Kapitel 10.2) dargestellt. Bei den nicht-durchgängigen Markierungen wurde bei der Ermittlung der Güte die tatsächliche Markierungslänge als Bezugslänge verwendet (sowohl bei einem Verhältnis Strich – Lücke von 4:8 als auch bei einem Verhältnis Strich – Lücke von 6:12 lag eine Markierungslänge von 36 m vor). Der dargestellte Mittelwert wurde jeweils aus fünf Einzelwerten bestimmt. Ausreißer wurden zuvor verworfen. Für eine detailliertere Darstellung wird auf den Anhang 2 verwiesen.

v [km/h]	Güte Messungen ViaFriction [%]					
	Markierungsbreite [cm]					
	30	25	15	15 ---*	12	12 ---**
40	75	82	62	74	54	53
50	84	65	55	75	50	80
60	80	71	45	94	51	77
70	67	70	50	86	43	54
80	91	90	-	-	-	-

--- nicht-durchgängige Markierung  
\* Werte auf tatsächliche Markierungslänge bezogen – nur 36 % weiß, da 6:12  
\*\* Werte auf tatsächliche Markierungslänge bezogen – nur 36 % weiß, da 4:8

Tab. 11: Güte der Messungen – ViaFriction

v [km/h]	Güte Messungen GripTester [%]					
	Markierungsbreite [cm]					
	30	25	15	15 ---*	12	12 ---**
40	93	60	34	47	42	50
50	67	71	39	46	53	39
60	75	62	34	52	52	35
70	78	64	36	33	51	36
80	86	62	-	-	-	-

--- nicht-durchgängige Markierung  
\* Werte auf tatsächliche Markierungslänge bezogen – nur 36 % weiß, da 6:12  
\*\* Werte auf tatsächliche Markierungslänge bezogen – nur 36 % weiß, da 4:8

Tab. 11: Güte der Messungen – GripTester

Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h und Markierungsbreiten von 15 cm bzw. 12 cm erwies sich eine genaue Überfahrt der Fahrbahnmarkierungen mit beiden betrachteten kontinuierlich messenden Verfahren als nicht realisierbar. Die Markierungen konnten aufgrund der geringen Breite weder genau angefahren werden, noch war bei dieser Geschwindigkeit eine zielgerichtete Korrektur der Fahrtrichtung durch den Fahrzeugführer möglich. Dementsprechend wurde nachfolgend auf diese Messungen verzichtet und bei den weiteren Auswertungen bei Breiten von 15 cm und 12 cm lediglich vier Geschwindigkeiten berücksichtigt. Die geringen Erfassungsgüten beim GripTester bei einer Markierungsbreite von 15 cm sind auf verschlechterte äußere Bedingungen am Ende des ersten Messtages der Vorversuche mit dem GripTester am

13. Juli 2010 zurückzuführen. Durch eine aufziehende Schlechtwetterfront und die damit verbundenen Winde und Wolken wurde die Korrektur der Fahrtrichtung während der Messung negativ beeinflusst. Leider konnte eine erneute Durchführung der Messungen mit dem GripTester nicht realisiert werden. Somit war dieser Faktor bei der Bewertung der Erfassungsgüte bei einer Markierungsbreite von 15 cm zu berücksichtigen.

## 10.4 Analyse der Ergebnisse

Im Rahmen der Analyse der Ergebnisse der Vorversuche war der Einfluss der Messgeschwindigkeit, der Markierungsbreite und -art auf die Erfassungsgüte zu untersuchen. Zudem sollten Randbedingungen für die Hauptversuche definiert werden. Die jeweils ermittelten statistischen Ausreißer wurden kenntlich gemacht und bei der weiteren statistischen Auswertung nicht berücksichtigt. Auch die abgebildeten Diagramme sind ausreißerbereinigt.

### 10.4.1 Einfluss der Messgeschwindigkeit

Bei der Analyse des Einflusses der Messgeschwindigkeit auf die Erfassungsgüte wurde untersucht, ob mit steigender Geschwindigkeit die Erfassungsgüte abnimmt. Bei der Untersuchung wurden nur die durchgängigen Fahrbahnmarkierungen betrachtet, um die Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Messgeschwindigkeit unbeeinflusst durch die nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen beurteilen zu können. Eine Prüfung der nicht-durchgängigen Markierungen erfolgte nicht, da der Einfluss durch den Wechsel zwischen Markierungs- und Fahrbahnoberfläche auf die Erfassungsgüte in Absprache mit dem Auftraggeber als zu groß erachtet wurde.

Erwartet wurde, dass mit zunehmender Messgeschwindigkeit die Erfassungsgüte der Messungen abgenommen hat, da der Schwierigkeitsgrad für eine qualitativ hochwertige Messung laut Aussage der Fahrzeugführer mit steigender Geschwindigkeit deutlich zugenommen hatte. Insbesondere wurden trotz geschwindigkeitsabhängiger Lenkung zielgerichtete Korrekturlenkbewegungen mit steigender Geschwindigkeit schwieriger. Begründet war dies dadurch, dass der Fahrzeugführer während der gesamten Messung die visuellen Reize, insbesondere die Lage des Messreifens sowie die Position der Fahrbahnmarkierung, in ausreichender Geschwindigkeit verarbeiten und in Korrekturlenkbewegun-



gen umsetzen musste. Neben der Erfahrung und dem Können des Fahrzeugführers hing dies maßgeblich von der Reaktionszeit des Fahrzeugführers ab und konnte nicht weiter beeinflusst werden. Bei angenommener konstanter Reaktionszeit des Fahrzeugführers war demgemäß zu erwarten, dass die Korrekturlenkbewegungen mit ansteigender Geschwindigkeit zunehmend zeitverzögert und nicht mehr zielgerichtet erfolgten und somit zu einer Verringerung der Messqualität führen würden. Die für die Analyse notwendigen gerundeten Messergebnisse sind in Tabelle 13 und Tabelle 14 dargestellt.

Allerdings zeigte die durchgeführte statistische Analyse der Messergebnisse, dass im Rahmen der Untersuchungen sowohl beim ViaFriction als auch beim GripTester kein statistischer Zusammenhang zwischen Messgeschwindigkeit und Erfassungsgüte festgestellt werden konnte. Im Rahmen einer Korrelationsanalyse konnte lediglich ein schwacher linearer Zusammenhang zwischen diesen Variablen mit Korrelationskoeffizienten von 0,181 (ViaFriction) bzw. 0,177 (GripTester) festgestellt werden. Eine anschließende Varianzanalyse mit der Nullhypothese „Die festgestellten Unterschiede

	Güte [%] – ViaFriction			
	Markierungsbreite [cm]			
v [km/h]	30	25	15	12
40	75	82	62	54
50	84	65	55	50
60	80	71	45	51
70	67	70	50	43
80	91	90	-	-

Tab. 13: Einfluss der Geschwindigkeit auf die Güte bei unterschiedlichen Markierungsbreiten – ViaFriction

	Güte [%] – GripTester			
	Markierungsbreite [cm]			
v [km/h]	30	25	15	12
40	93	60	34	42
50	67	71	39	53
60	75	62	34	52
70	78	64	36	51
80	86	62	-	-

Tab. 14: Einfluss der Geschwindigkeit auf die Güte bei unterschiedlichen Markierungsbreiten – GripTester

der Erfassungsgüte sind nicht auf die unterschiedlichen Geschwindigkeiten zurückzuführen (Nullhypothese war gemäß der o. g. Erwartung zu widerlegen)“ ergab Signifikanzen von 0,167 (ViaFriction) bzw. 0,838 (GripTester). Da die Signifikanz im vorliegenden Fall größer als das vorgegebene Testniveau (1 Vertrauenswahrscheinlichkeit) war, wurde die Nullhypothese für beide kontinuierlichen Griffigkeitsmesssysteme nicht verworfen. Somit waren die festgestellten Qualitätsunterschiede im vorliegenden Fall nicht auf die verschiedenen Geschwindigkeiten zurückzuführen. Bei der Bewertung der Ergebnisse der Fahrbahnmarkierung mit einer Breite von 25 cm ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei der Messüberfahrt bereits eine Strecke von 100 m (Markierung mit einer Breite von 30 cm, vgl. Bild 19) überfahren wurde. Im Rahmen der Untersuchungen konnte diesbezüglich nicht bestimmt werden, ob dies einen negativen oder positiven Einfluss auf die Erfassungsgüte besessen hat.

Dessen ungeachtet konnten die Ergebnisse der Korrelations- und Varianzanalyse durch die Ergebnisse einer nachfolgenden Regressionsanalyse bestätigt werden. Die Regressionskoeffizienten  $R^2$  der Regressionsgeraden zeigten, dass im vorliegenden Fall keine linearen Zusammenhänge mit statistischer Sicherheit festgestellt werden konnten. Die Verläufe der Regressionsgeraden zeigten allerdings einen nahezu konstanten bzw. geringfügig ansteigenden (30 und 25 cm Breite) bzw. abfallenden (15 und 12 cm Breite) Verlauf der Erfassungsgüte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit auf (vgl. Bild 20 und Bild 21).

Der geringfügige Anstieg könnte zum einen durch „Gewöhnungseffekte“ und zum anderen durch eine gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer begründet werden. Gewöhnungseffekte könnten daher rühren, dass im Rahmen der Vorversuche alle Messungen an einem Messtag durchgeführt wurden. Dabei wurde ausgehend von einer Geschwindigkeit von 40 km/h die Messgeschwindigkeit kontinuierlich bis zu einer Geschwindigkeit von 80 km/h gesteigert, sodass derartige Gewöhnungseffekte nicht ausgeschlossen werden können. Bei zukünftigen Untersuchungen ist daher auf eine Vermeidung solcher Effekte zu achten. Dies ergänzend könnte eine gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer während der Messung den erwarteten Effekt der gesteigerten Geschwindigkeit aufgrund der geringen Messstrecke von nur 100 m weitestgehend abgemindert haben. Leider war aufgrund



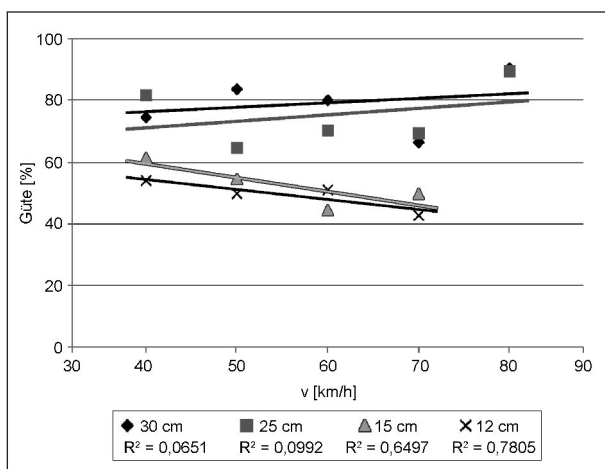


Bild 20: Einfluss der Messgeschwindigkeit auf die Erfassungsgüte – ViaFriction

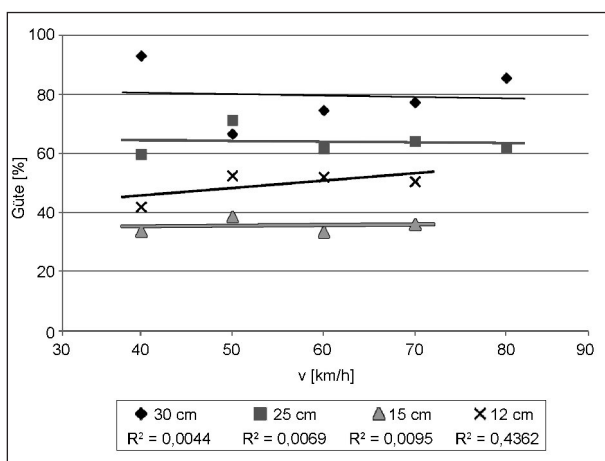


Bild 21: Einfluss der Messgeschwindigkeit auf die Erfassungsgüte – GripTester

der örtlichen Gegebenheiten keine Applikation längerer Markierungen im Vorversuchsfeld möglich. Daher wurde dieser Effekt der gesteigerten Konzentration in Abstimmung mit dem Auftraggeber durch eine diesbezügliche Analyse der Erfassungsgüte im Rahmen der späteren Hauptversuche weiter betrachtet. Für eine detailliertere Darstellung der durchgeführten statistischen Analyse wird auf Anhang 3 verwiesen.

#### 10.4.2 Einfluss der Markierungsbreite

Bei der Analyse des Einflusses der Markierungsbreite auf die Erfassungsgüte wurde weiterhin untersucht, ob mit geringerer Markierungsbreite die Erfassungsgüte, d. h. die Messqualität, abgenommen hat. Um dabei den Einfluss nicht-durchgängiger Markierungen auf die Erfassungsgüte auszuschließen, wurden bei der Analyse nur die durchgängigen Fahrbahnmarkierungen des Vorversuchs-

v [km/h]	Güte [%] – ViaFriction			
	Markierungsbreite [cm]			
	30	25	15	12
40	75	82	62	54
50	84	65	55	50
60	80	71	45	51
70	67	70	50	43
80	91	90	-	-

Tab. 15: Einfluss der Markierungsbreite auf die Güte der Messungen – ViaFriction (gerundete Werte)

v [km/h]	Güte [%] – GripTester			
	Markierungsbreite [cm]			
	30	25	15	12
40	93	60	34	42
50	67	71	39	53
60	75	62	34	52
70	78	64	36	51
80	86	62	-	-

Tab. 16: Einfluss der Markierungsbreite auf die Güte der Messungen – GripTester (gerundete Werte)

feldes betrachtet. Die nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen mit einer Breite von 15 cm bzw. 12 cm und einem Verhältnis von Strich zu Lücke von 6:12 bzw. 4:8 wurden im Rahmen dieser Auswertung nicht berücksichtigt. Der Einfluss der Zwischenräume auf die Erfassungsgüte wurde auch hier als zu groß erachtet.

Erwartet wurde, dass die Markierungsbreite die Erfassungsgüte stark beeinflusst hat, da laut Aussage der Fahrzeugführer die Markierungsüberfahrt und ggf. notwendige Richtungskorrekturen mit abnehmender Markierungsbreite erheblich schwieriger wurden. Bei der diesbezüglich durchgeführten statistischen Analyse erfolgte, trotz der vorangegangenen Analyse des Einflusses der Messgeschwindigkeit auf die Erfassungsgüte, wonach kein Einfluss festgestellt werden konnte, eine separate Betrachtung der Geschwindigkeiten (vgl. Tabelle 15 und Tabelle 16). Die Analyse erfolgte daher im vorliegenden Fall auf Grundlage von Mittelwerten je Messgeschwindigkeit und Markierungsbreite. Die diesbezüglich durchgeführte statistische Analyse der Messergebnisse zeigt, dass im Rahmen der Untersuchungen sowohl beim ViaFriction als auch beim GripTester ein statistischer Zusammenhang zwi-

schen Markierungsbreite und mittlerer Erfassungsgüte festgestellt werden konnte.

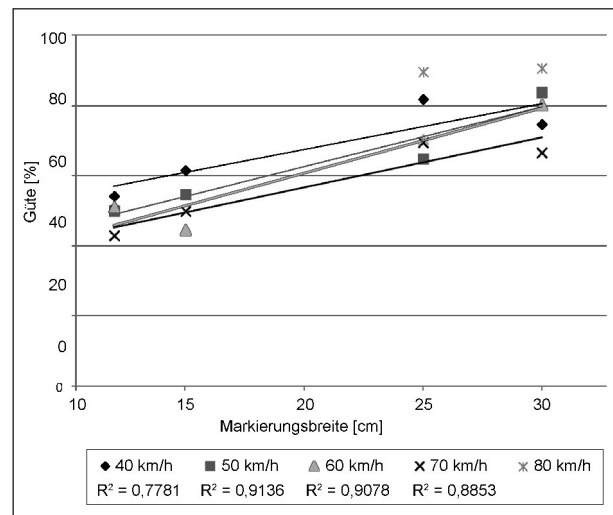
Im Rahmen einer Korrelationsanalyse konnte ein starker linearer Zusammenhang zwischen den Variablen Markierungsbreite und Erfassungsgüte mit Korrelationskoeffizienten von 0,878 (ViaFriction) bzw. 0,815 (GripTester) festgestellt werden. Eine anschließende Varianzanalyse mit der Nullhypothese „Die festgestellten Unterschiede der Erfassungsgüte sind nicht auf die unterschiedlichen Markierungsbreiten zurückzuführen (Nullhypothese ist gemäß der o. g. Erwartung zu widerlegen)“ ergab des Weiteren Signifikanzen von 0,000 (ViaFriction) bzw. 0,000 (GripTester). Da die Signifikanz im vorliegenden Fall kleiner als das vorgegebene Testniveau (1 Vertrauenswahrscheinlichkeit) war, wurde die Nullhypothese für beide kontinuierlich messenden Verfahren verworfen. Somit waren die festgestellten Unterschiede der mittleren Erfassungsgüte im vorliegenden Fall auf die verschiedenen Markierungsbreiten zurückzuführen. In einer nachfolgenden Regressionsanalyse wurden diese Ergebnisse präzisiert. Demnach wird ersichtlich, dass im vorliegenden Fall mit abnehmender Markierungsbreite die mittlere Erfassungsgüte der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Messungen sowohl für das ViaFriction als auch für den GripTester über alle Geschwindigkeiten abgenommen hat (vgl. Bild 22 und Bild 23).

Hierbei ergaben sich bei dem ViaFriction Bestimmtheitsmaße der Regression von 0,78 bis 0,91 (für Geschwindigkeiten von 40 bis 70 km/h, vgl. Bild 22) und bei dem GripTester Bestimmtheitsmaße von 0,62 bis 0,84 (für Geschwindigkeiten von 40 bis 70 km/h, vgl. Bild 23). Bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h konnte keine Regressionsanalyse durchgeführt werden, da lediglich Messdaten für die Markierungsbreiten von 25 und 30 cm vorlagen.

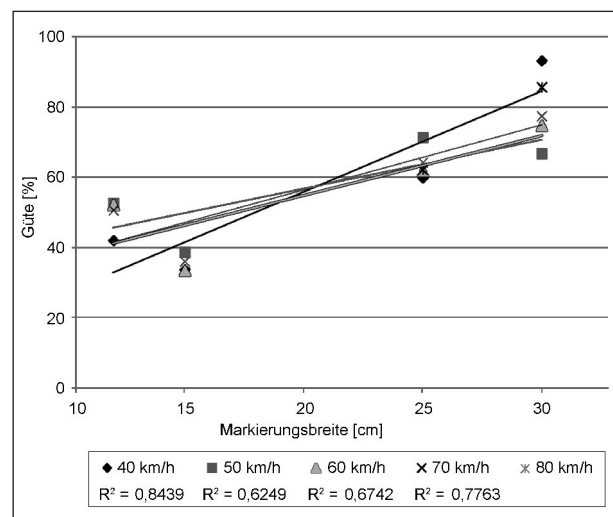
Beide Griffigkeitsmesssysteme zeigten ausgehend von einer Erfassungsgüte von ca. 80 % bei einer Markierungsbreite von 30 cm einen fast identischen weiteren Verlauf der Gütekurve. Zusammenfassend wird deutlich, dass der erwartete Zusammenhang zwischen Markierungsbreite und Messqualität im vorliegenden Fall statistisch nachgewiesen werden konnte. Um einen ggf. vorhandenen Einfluss der Markierungslänge auf die o. g. Ergebnisse beziffern zu können, wurde dieser Effekt durch eine diesbezügliche Analyse der Erfassungsgüte im Rahmen der späteren Hauptversuche weiter be-

trachtet. Die Notwendigkeit dieser weitergehenden Analyse wurde erst während der Datenauswertung der Vorversuche sowie nach Applikation des Hauptversuchsfeldes ersichtlich (vgl. Kapitel 11), sodass hierfür nur Fahrbahnmarkierungen mit einer Gesamtlänge von 400 m und einer konstanten Breite von 30 cm zur Verfügung standen (es wurden nur Markierungen mit konstanter Breite appliziert, da ursprünglich nur Zusammenhänge zwischen den verschiedenen kontinuierlichen Messverfahren und dem SRT-Pendelverfahren hergeleitet werden sollten. Eine weitergehende Analyse der Einflussfaktoren auf die Erfassungsgüte war nicht geplant).

Für eine detailliertere Darstellung der durchgeführten statistischen Analyse wird auf Anhang 3 verwiesen.



**Bild 22:** Einfluss der Markierungsbreite auf die Erfassungsgüte – ViaFriction



**Bild 23:** Einfluss der Markierungsbreite auf die Erfassungsgüte – GripTester

### 10.4.3 Einfluss der Geschwindigkeit auf die Erfassung nicht-durchgängiger Fahrbahnmarkierungen

Bei der Analyse des Einflusses der Geschwindigkeit auf die Erfassungsgüte von nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen wurde weiter untersucht, welche Mindestlängen für die Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen erforderlich sind. Erwartet wurde, dass die Griffigkeitssysteme die Griffigkeitsdifferenzen zwischen Fahrbahnmarkierung und Straßenoberfläche in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit unterschiedlich gut abbilden können. Betrachtet wurden bei der Analyse die Geschwindigkeiten 40, 60 und 80 km/h.

Um ggf. notwendige „Übergangsbereiche“ bei der Auffahrt auf die Markierungsoberfläche beziffern zu können, erfolgte im ersten Schritt eine Analyse der Anfangsbereiche der Markierungen am Anfang des Vorversuchsfeldes. Hierzu wurden Messergebnisse der Markierungen am Anfang des Vorversuchsfeldes näher in Augenschein genommen (vgl. Bild 14). Verwendung fanden hierbei insbesondere die Messfahrten, bei denen die Markierung direkt überfahren wurde und dementsprechend eine Aussage hinsichtlich erforderlicher Übergangsbereiche getätigt werden konnte. Die Übergangsbereiche wurden durch den Abfall der Griffigkeit bei der Auffahrt auf die Markierung gekennzeichnet. Es kam zu einem Reibwertabfall, da die Fahrbahnmarkierung im Vergleich zur Straßenoberfläche eine geringere Griffigkeit aufwies. Die Straßenoberfläche wies einen SRT-Wert von 52 SRT-Einheiten auf, während die Markierungsoberfläche nur einen SRT-Wert von 45 SRT-Einheiten aufgewiesen hat. Die Länge der Bereiche wurde bei der Auswertung aus den jeweiligen Abbildungen (vgl. Bild 24 und Bild 25) herausgelesen. Die Grundlage für die Bestim-

mung der Länge der Übergangsbereiche bildete dabei das Griffigkeitsniveau der Fahrbahnmarkierung im Vergleich zur Straßenoberfläche. Diesbezüglich sind beispielhaft die Verläufe des Reibwertes sowie des Weißanteils (mittels WEBCAM-System aus dem Videobild bestimmt) über den Weg für das ViaFriction bei Geschwindigkeiten von 40 und 80 km/h dargestellt. Die Lage der Markierung ist hellgrau hinterlegt. Die weiteren Abbildungen (ViaFriction bei 60 km/h und GripTester bei 40, 60 und 80 km/h) sind Anhang 4 zu entnehmen (bestimmt an den Anfangsbereichen der durchgängigen Markierungen).

Die festgestellten Übergangsbereiche (vgl. Tabelle 17) sind in dem vorliegenden Zusammenhang besonders kritisch zu betrachten, da dort eine „gewisse Anpassung“ der Griffigkeitsmesssysteme an das veränderte Griffigkeitsniveau erfolgte. Die minimal messbare Länge einer Fahrbahnmarkierung wird dementsprechend durch die Länge dieser Übergangsbereiche zzgl. der Länge des angestrebten Bewertungsbereiches definiert. Unter Berücksichtigung der minimalen Aufzeichnungsfrequenz der kontinuierlich messenden Verfahren von 1 m ist ein Bewertungsbereich von 3 bis 5 m anzustreben. Lediglich dieser Bereich kann für eine Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen herangezogen werden.

v [km/h]	Übergangsbereiche [m]	
	ViaFriction	GripTester
40	3	3
60	6	5
80	10	7

Tab. 17: Übergangsbereiche beim Übergang Fahrbahnmarkierung

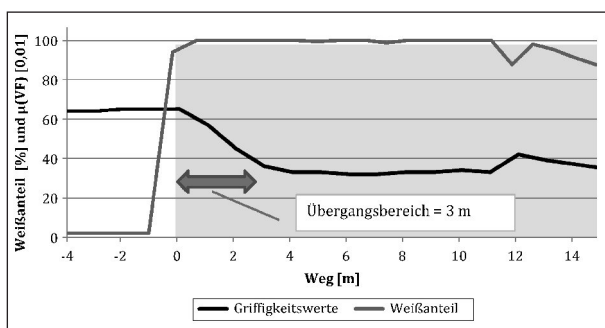


Bild 24: Übergangsbereich beim Übergang von Fahrbahn zu Markierung bei  $v = 40$  km/h – ViaFriction – dargestellt sind der Weißanteil in [%] sowie der Reibungsbeiwert  $\mu$  [0,01] (größere Darstellung: vgl. Anhang 4)

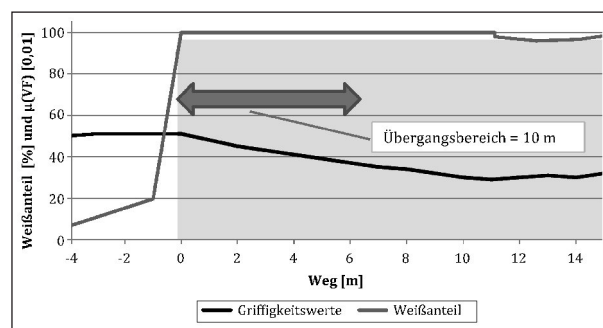


Bild 25: Übergangsbereich beim Übergang von Fahrbahn zu Markierung bei  $v = 80$  km/h – ViaFriction – dargestellt sind der Weißanteil in [%] sowie der Reibungsbeiwert  $\mu$  [0,01] (größere Abbildung: vgl. Anhang 4)

Diese an den Anfangsbereichen des Vorversuchsfeldes ermittelten Ergebnisse konnten allerdings im Rahmen dieses Projektes nicht durch die Analyse der Messergebnisse der applizierten nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen bestätigt werden, da trotz teilweise hoher Erfassungsgüten (bezogen auf die tatsächliche Markierungslänge) keine homogenen Bereiche längerer Ausdehnung erfasst werden konnten. Dies bedeutet, dass prozentual gesehen große Teile der nicht-durchgängigen Markierungen erfasst wurden, diese aber durch zahlreiche nicht erfasste Bereiche in viele kleine Bereiche „zersplittert“ wurden. Somit konnten beispielsweise Erfassungsgüten von ~ 80 % erreicht werden. Allerdings wird hierdurch nur der prozentuale Anteil der erfassten Markierungen an der Gesamtlänge widergespiegelt und nicht etwa die Länge der zusammenhängend erfassten Markierungsabschnitte. Dementsprechend konnten im Rahmen der Vorversuche keine Aussagen hinsichtlich der Erfassbarkeit von nicht-durchgängigen Markierungen getroffen werden. Dennoch lassen sich zusammenfassend nachfolgende Rückschlüsse für die Bewertung von nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen anhand der Ergebnisse der Analyse der Anfangsbereiche des Vorversuchsfeldes ziehen:

Beispielsweise würde bei nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen auf Bundes- und Landesstraßen mit einer Länge von 4 m (Leitlinie auf einer Landes- und Bundesstraße mit einem Strich-Lücke-Verhältnis von 4:8) gemäß den oben dargestellten Ergebnissen bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h nur noch eine nicht ausreichende Bewertungslänge von 1 m verbleiben – vorausgesetzt die Markierung würde „voll“ getroffen (Erfassungsgüte = 100 %). Eine Bewertung bei größeren Geschwindigkeiten wäre dementsprechend nicht realisierbar. Bei Bundesautobahnen (vorgeschriebene Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h) würden bei nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen mit einer Länge von 6 m (Leitlinie auf einer BAB mit einem Strich-Lücke-Verhältnis von 6:12) bei Messungen mit dem ViaFriction kein Bewertungsbereich und bei Messungen mit dem GripTester lediglich ein Bewertungsbereich von 1 m verbleiben. Die Bewertung bei größeren Geschwindigkeiten wäre auch hier nicht realisierbar.

Nähme man hingegen geringere Messgeschwindigkeiten von beispielsweise 40 km/h in Kauf, so ergäbe sich ein Bewertungsbereich von 3 m, der ggf. für die Bewertung ausreichen könnte – vorausgesetzt die Markierung würde „voll“ getroffen (Erfas-

sungsgüte = 100 %). Allerdings würde eine derart geringe Messgeschwindigkeit sowohl auf Landes- und Bundesstraßen als auch in erheblichem Maße auf Bundesautobahnen Verkehrsbehinderungen und kostenintensive Sicherungsmaßnahmen zur Folge haben. Daher ist abschließend festzuhalten, dass die Bewertung der Griffigkeit bei nicht-durchgängigen Markierungen mit einem standardmäßigen Verhältnis Strich – Lücke von 4:8 bzw. 6:12 mit den verwendeten kontinuierlich messenden Verfahren nicht realisiert werden kann. Grundsätzlich wäre aber die Bewertung längerer Markierungsabschnitte, die von den Standardabmessungen abweichen, mit den Verfahren möglich.

Obwohl die Bewertung von beschädigten Markierungen im Rahmen dieses Projektes nicht angestrebt wurde und keine derartigen Markierungen untersucht wurden, können die o. g. Ergebnisse für nicht-durchgängige Markierungen ggf. auf diese übertragen werden. Sind Fahrbahnmarkierungen so stark beschädigt, dass die bewertbare Länge, d. h., die Länge der nicht beschädigten homogenen Bereiche, kleiner ist als die minimal erforderliche Markierungslänge (Übergangsbereich + Bewertungsbereich), kann eine Bewertung der Griffigkeit nicht mehr realisiert werden. Ist der unbeschädigte homogene Bereich größer als die Mindestlänge, d. h., ist die Beschädigung nur punktuell, kann eine Bewertung durchgeführt werden. Wie bei nicht-durchgängigen Markierungen ist bei der Auffahrt von der Straßenoberfläche auf die Markierungsoberfläche ein Übergangsbereich in Abhängigkeit der Geschwindigkeit zu berücksichtigen.

#### 10.4.4 Bewertung des eingesetzten WEBCAM-Systems

Das verwendete WEBCAM-System sollte die Erfassung der genauen Messreifenposition in Relation zur Fahrbahnmarkierung sowie eine Echtzeit-Visualisierung dieser Informationen im Führerhaus ermöglichen. Des Weiteren sollten damit auch die Aufzeichnung und die spätere Analyse der Videodaten realisiert werden. Nach Abschluss der Vorversuche wurde diesbezüglich ersichtlich, dass das WEBCAM-System diese Anforderungen erfüllt.

Allerdings stellte sich im Rahmen der Vorversuche auch heraus, dass die Qualität des Videobildes stark von der Position der WEBCAM sowie den äußeren Bedingungen abhängig ist. Insbesondere bei starker Bewölkung nimmt die Darstellungsqualität ab. Von einem Einsatz des hier verwendeten einfa-



chen Systems ist bei späteren Messungen auf öffentlichen Straßen dennoch abzuraten, da der Fahrzeugführer bei diesem System in erheblichem Maße vom Verkehrsgeschehen abgelenkt wird. Daher wird empfohlen, das hier verwendete einfache System durch ein halbautomatisches bzw. automatisches Spurführungssystem zu ersetzen, welches beispielsweise durch visuelle oder akustische Signale den Fahrzeugführer bei Korrekturlenkbewegungen unterstützen könnte. In zukünftigen Untersuchungen wäre es daher ratsam, ein speziell für den Anwendungsfall konzipiertes Videosystem zu entwickeln, das eine höhere Aufzeichnungsfrequenz kombiniert mit einer ausreichenden Bildschärfe jederzeit gewährleistet. Im Rahmen dieses Projektes konnte und sollte dies allerdings nicht realisiert werden.

### 10.5 Zusammenfassung der Vorversuche und Ausblick auf die Hauptversuche

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen der durchgeführten Vorversuche zeigen, dass sowohl bei dem ViaFriction als auch bei dem Grip-Tester die Erfassungsgüte der Messungen den gleichen Einflüssen unterliegt. Die beiden hier betrachteten kontinuierlich messenden Verfahren zeigten ein vergleichbares Verhalten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Erfassungsgüte der Messungen durch die applizierte Breite der Fahrbahnmarkierungen beeinflusst wurde. Eine Abhängigkeit der Erfassungsgüte von der Geschwindigkeit konnte nicht nachgewiesen werden. Es wird allerdings erwartet, dass bei einer längeren Messstrecke als im vorliegenden Fall die Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Geschwindigkeit deutlich abnimmt, da der Schwierigkeitsgrad mit steigender Geschwindigkeit deutlich zunimmt. Insbesondere werden trotz geschwindigkeitsabhängiger Lenkung zielgerichtete Korrekturlenkbewegungen mit steigender Geschwindigkeit schwieriger. Leider war aufgrund der örtlichen Gegebenheiten keine Applikation längerer Markierungen im Vorversuchsfeld möglich. Daher wurde dieser Effekt durch eine diesbezügliche Analyse der Erfassungsgüte im Rahmen der späteren Hauptversuche auf einer Markierungslänge von 400 m weiter betrachtet.

Des Weiteren hat sich im Rahmen der Vorversuche herausgestellt, dass bei der Auffahrt von der Stra-

ßenoberfläche auf die Markierung in jedem Fall sogenannte „Übergangsbereiche“ (vgl. Tabelle 17) berücksichtigt werden müssen, da in diesen Bereichen die „Anpassung“ der kontinuierlich messenden Verfahren an das veränderte Reibwertniveau vollzogen wird (vgl. Kapitel 10.4.3). Diese Bereiche bilden zusammen mit den Bewertungsbereichen die Mindestlänge von bewertbaren Fahrbahnmarkierungen. Nicht-durchgängige Markierungen sind unter Berücksichtigung dieser Übergangsbereiche und der Aufzeichnungsfrequenz der Messsysteme demnach nicht bzw. nur bei reduzierter Messgeschwindigkeit bewertbar, da die erforderlichen Übergangsbereiche längere Markierungen erfordern. Insbesondere auf Bundes- und Landesstraßen, also bei Markierungsbreiten von 12 cm und einem Verhältnis Strich – Lücke von 4:8, ist die Bewertung mit den kontinuierlich messenden Verfahren nicht möglich, da die Länge der benötigten Übergangsbereiche die Länge der Fahrbahnmarkierungen übersteigt (bei Geschwindigkeiten > 60 km/h, vgl. Tabelle 17).

Auf Grundlage der o. g. Ergebnisse der Vorversuche wird empfohlen, die Messgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Markierungsbreite und der Grundform (durchgängig bzw. nicht-durchgängig) gemäß Tabelle 18 zu wählen. Maßgebliches Kriterium für diese Empfehlung ist die festgestellte Erfassungsgüte im Rahmen der Vorversuche sowie die erwarteten positiven Effekte eines automatischen Spurführungssystems auf diese Güte im späteren Betrieb. Hierdurch ließe sich bei durch-

v [km/h]	Bundesautobahnen				Landes- oder Bundesstraßen			
	Breite [cm]							
	30		15		25		12	
	---	---	---	---	---	---	---	---
	(6:12)	(6:12)	(6:12)	(6:12)	(4:8)	(4:8)	(4:8)	(4:8)
40	nicht zulässig gemäß StVO				X	/	X	/
50	nicht zulässig gemäß StVO				X	/	X	/
60	X	/	X	/	X	/	X	/
70	X	/	X	/	X	/	X	/
80	X	/	X	/	X	/	X	/

X empfehlende Messgeschwindigkeit  
/ nicht zu empfehlen

Tab. 18: Empfohlene Messgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Markierungsbreite (nicht-durchgängige Fahrbahnmarkierungen sind derzeit mit den betrachteten Verfahren nicht bewertbar)



gängigen Markierungen im späteren Einsatz bei einer Bewertungsgeschwindigkeit von 80 km/h eine Erfassungsgüte > 50 % unabhängig von der Markierungsbreite durchaus realisieren. Beim Grip-Tester wurden die schlechten Witterungsbedingungen bei der Messung der Markierung mit einer Breite von 15 cm diesbezüglich berücksichtigt. Demnach wird empfohlen, bei Messungen auf Bundesautobahnen die vorgeschriebene Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h einzuhalten, um erhebliche Verkehrsbehinderungen und kostenintensive Sicherungsmaßnahmen zu vermeiden. Messungen mit geringeren Geschwindigkeiten sind hier nicht zu empfehlen. Dies hat allerdings zur Folge, dass nicht-durchgängige Fahrbahnmarkierungen nicht bewertet werden können. Obwohl im Rahmen der Vorversuche keine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Erfassungsgüte festgestellt werden konnte, wird dennoch erwartet, dass insbesondere bei längeren Bewertungsstrecken die Erfassungsgüte bei steigenden Geschwindigkeiten geringer wird. Daher wird empfohlen, möglichst die geringste Geschwindigkeit bei Messungen sowohl auf den Bundesautobahnen als auch auf Landes- und Bundesstraßen zu verwenden. In weiteren Untersuchungen müsste diese Empfehlung untersucht und gegebenenfalls revidiert oder angepasst werden. Leider war im Rahmen der Vorversuche aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der damit verbundenen maximalen Markierungslänge von 100 m eine diesbezügliche Aussage nicht möglich. Durch die Verwendung eines ausgereiften Spurführungssystems könnte diesem Einfluss ggf. entgegen gewirkt werden, sodass zukünftig auch Geschwindigkeiten von bis zu 80 km/h bei der Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen auch geringerer Breiten von 12 und 15 cm mit kontinuierlich messenden Verfahren realisiert werden könnten. Im Rahmen dieses Projektes wurde der Fokus allerdings auf die generelle Eignung der kontinuierlich messenden Verfahren für die Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen und nicht auf die Entwicklung bzw. Optimierung von Spurführungssystemen gelegt.

Im Hinblick auf die Hauptversuche ist weiterhin zu hinterfragen, welche Aufzeichnungsfrequenz für die kontinuierlich messenden Verfahren verwendet werden soll bzw. welche Griffigkeitsdaten ausgewertet werden sollen. Sowohl der GripTester, das ViaFriction als auch das SKM ermöglichen die Aufzeichnung von 1-m-Werten. Allerdings ist fraglich, ob eine Abschnittsbildung, wie beispielsweise 10-m-Abschnitte, notwendig ist. In Bild 26 ist bei-

spielhaft der Verlauf der Reibungsbeiwerte für eine Messstrecke von 200 m bei einer Messgeschwindigkeit von 80 km/h beim ViaFriction dargestellt (Messung auf rechter Fahrbahnmarkierung). Hieraus wird ersichtlich, dass bei der Verwendung von 1-m-Werten deutlich größere Schwankungen der Messwerte zu verzeichnen sind als bei 10-m-Abschnittswerten (Mittelwert aus einem 10-m-Abschnitt). Hierbei wurden die Messergebnisse deutlich geglättet. Daher werden im Rahmen der Hauptversuche und der Auswertung 10-m-Abschnitte gebildet und diese ausgewertet.

Zusammenfassend lassen sich nachfolgende Randbedingungen für die Durchführung der Hauptversuche definieren:

1. Aufgrund der aufgezeigten starken Abhängigkeit der Erfassungsgüte von der Markierungsbreite sind in die Hauptversuche nur Fahrbahnmarkierungen mit einer Breite von 30 cm einzubeziehen. Somit ist eine ausreichend gute Erfassungsgüte im Hinblick auf eine aussagekräftige Bewertung der Griffigkeit gewährleistet (aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist die Applikation größerer Markierungsbreiten nicht realisierbar).
2. Die Erfassungsgüte der Messungen erwies sich im Rahmen der Vorversuche als geschwindigkeitsunabhängig. Daher sind im Rahmen der Hauptversuche Geschwindigkeiten von 40-80 km/h zu betrachten.
3. Die „Übergangsbereiche“ bei der Auffahrt von der Straßenoberfläche auf die Fahrbahnmarkie-

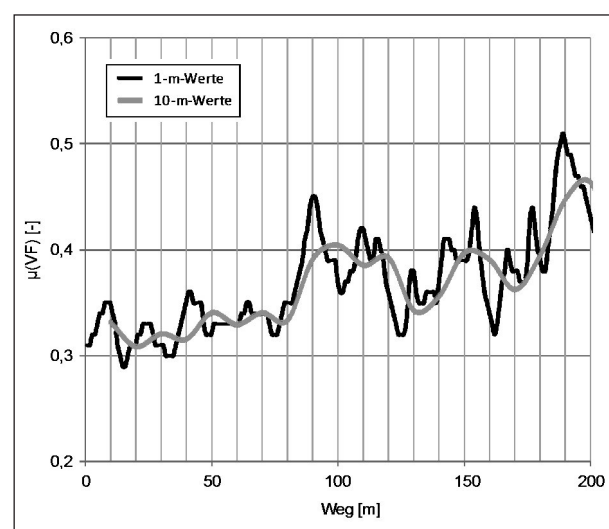


Bild 26: Beispielhafter Vergleich der Auswerteabschnitte für das ViaFriction bei  $v = 80$  km/h

rung wurden im Rahmen der Auswertungen dahingehend berücksichtigt, dass bei Verlassen der Fahrbahnmarkierung und nachträglicher Auffahrt die Messergebnisse der nächsten 10 m (maximale Länge des Übergangsbereiches bei  $v = 80 \text{ km/h}$  – ViaFriction, vgl. Tabelle 17) verworfen wurden. D. h., dass sich die Erfassungsgüte aufgrund des Verwerfens der Übergangsbereiche ggf. erheblich reduziert.

4. Die Anfangsbereiche jeder Griffigkeitsstufe, d. h. die ersten 10 m, sind bei der Auswertung zu verwerfen. Damit stehen im Rahmen der Hauptversuche je Griffigkeitsstufe 90 m Bewertungslänge zur Verfügung – vorausgesetzt die Markierung wird „voll“ (maximale Erfassungsgüte = 90 %) getroffen.
5. Die Auswertung der Griffigkeitsmessungen im Rahmen der Hauptversuche ist in 10-m-Ab schnitten durchzuführen, keine Verwendung von 1-m-Einzelwerten.

## 11 Hauptversuche

Im Rahmen der Hauptversuche galt es, Vergleichswerte zwischen dem lokal messenden SRT-Pendelverfahren und den drei betrachteten kontinuierlich messenden Verfahren ViaFriction, GripTester und SKM bei der Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen herzuleiten. Dazu wurden Fahrbahnmarkierungen unter Variation der Materialien (Farben, Kaltplastiken und Folien) sowie des Griffigkeitsniveaus auf der Teststrecke appliziert und deren Griffigkeit bewertet. Sowohl die Breite als auch die Ausführung der Fahrbahnmarkierung (durchgängig bzw. nicht-durchgängig) wurden nicht weiter berücksichtigt.

### 11.1 Auswahl und Applikation der Markierung

Für die Hauptversuche wurden Fahrbahnmarkierungen konstanter Breite, aber unterschiedlicher Materialien und Griffigkeiten auf der Teststrecke appliziert. Eine Variation der Ausführung, d. h. die Applizierung von nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen, wurde im Rahmen der Hauptuntersuchungen nicht durchgeführt, da die Realisierbarkeit der kontinuierlichen Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen in Abhängigkeit der Markierungsbreite sowie Ausführung bereits in den Vorver-

suchen betrachtet wurde und demgemäß Randbedingungen definiert wurden (vgl. Kapitel 10). Die Applikation der Fahrbahnmarkierungen für die Hauptversuche erfolgte aufgrund der Projektgegebenheiten im Vorfeld aller Versuche. Daher wurde für die Hauptversuche die breiteste Standardmarkierungsbreite von 30 cm verwendet, um hinsichtlich einer ausreichenden Erfassungsgüte  $\geq 50 \%$  auf der „sicheren Seite“ zu liegen. Dieses bedeutet, dass die maximale Standardbreite gewählt wurde, um den Fahrzeugführern eine maximale Breite der zu messenden Fahrspur zur Verfügung zu stellen. Eine darüber hinausgehende Breite, wie beispielsweise  $2 \times 30 \text{ cm}$ , konnte aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht appliziert werden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber und der Applikationsfirma wurden drei Materialien ausgewählt – Farbe, Kaltplastik und Folie. Eine Applikation weiterer Markierungsmaterialien, wie beispielsweise Thermoplastik, konnte aufgrund des Platzangebotes sowie fehlender Applikationsmaschinen nicht realisiert werden. Die Applikation erfolgte nach vorheriger Vormarkierung der Streckenbereiche durch manuelles Aufsprühen (Farbe, vgl. Bild 27) bzw. mit Hilfe eines Ziehschuhs (Kaltplastik, vgl. Bild 28). Die Folienmarkierung wurde nach Aufbringen eines Primers per Hand verlegt und ange-



Bild 27: Applizierung der Farbmarkierung mittels Sprühwagens

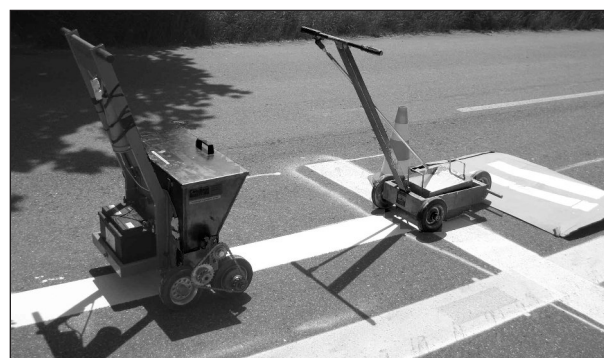


Bild 28: Applizierung der Kaltplastikmarkierung mittels Ziehschuhs

walzt. Die Farbmarkierungen wiesen aufgrund der Applikation anfänglich eine Breite von 34 cm auf. Erst durch eine Nachjustierung der Sprühdüse konnte die angestrebte Breite von 30 cm erreicht werden. Die anfänglich größere Breite dürfte allerdings keinen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse haben. Vielmehr könnte die größere Breite zu einer besseren Erfassungsgüte geführt haben.

Bei den Hauptversuchen wurde die Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen so gewählt, dass eine große Griffigkeitsspanne im Rahmen der Untersuchungen betrachtet werden konnte und somit die Ergebnisse über einen großen Griffigkeitsbereich Gültigkeit besitzen. Strukturierte Fahrbahnmarkierungen wurden dabei nicht berücksichtigt, da das standardmäßig zu verwendende Messverfahren, das SRT-Pendelverfahren, nur bei flachen Fahrbahnmarkierungen sowie in geringem Maße profilierten Fahrbahnmarkierungen einsetzbar ist. In Absprache mit dem Auftraggeber sollten diesbezüglich vier unterschiedliche Griffigkeitsniveaus im Rahmen der Hauptversuche betrachtet werden (vgl. Tabelle 19). Angestrebt wurde dabei eine Griffigkeitsspanne zwischen 30 und 80 SRT-Einheiten. Je Material (Farbe, Kaltplastik und Folie) sollten eine Markierung mit einer Griffigkeit unter dem Grenzwert von 45 SRT-Einheiten, eine Markierung mit einer Griffigkeit von 45 SRT-Einheiten sowie zwei Markierungen mit einer Griffigkeit größer 45 SRT-Einheiten appliziert werden. Allerdings konnte im Rahmen des Projektes bei der Folienmarkierung lediglich eine Griffigkeitsstufe realisiert werden.

Um die gewünschte Spanne der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen (Farbe und Kaltplastik) zu erhalten, wurden ausgehend von Standardmarkierungen mit Griffigkeiten > 45 SRT-Einheiten durch Erhöhung bzw. Verringerung des Nachstreumittelaufrages höhere bzw. geringere Griffigkeiten erzeugt. Die bei der Applikation aufgebrauchte Menge des Nachstreumittels war bei den Farb- und Kaltplastikmarkierungen pro Griffigkeitsstufe identisch. Die laut Konzeption des Applikateurs eingesetzten Materialien, die Nachstreumittelmenge sowie die im Labor des Applikateurs ermittelten SRT-Werte für jede Griffigkeitsstufe sind in Tabelle 20 dargestellt.

Um die niedrige Griffigkeit der jeweils ersten Stufe realisieren zu können, wurde die Markierung nur mit Glasperlen abgestreut. Ein Griffigkeitsmittel wurde in der ersten Griffigkeitsstufe nicht einge-

setzt. Nach Beanspruchung durch den Werksverkehr der RWE waren auf der Messstrecke bei den späteren Hauptversuchen geringere Werte zu erwarten, da ggf. Teile des Griffigkeitsmittels herausgefahren oder durch die Fahrzeugreifen poliert wurden (nur Stufen 2, 4) bzw. das Markierungsmaterial (Farbe, Kaltplastik, alle Stufen) poliert wurden. Um diesen Einfluss im Rahmen der Hauptversuche beziffern zu können, wurden während der Applikation der Fahrbahnmarkierung Probestplatten („Rückstellproben“) appliziert, die im Nachhinein im SRT-Labor des Institutes für Straßenwesen Aachen hinsichtlich ihrer Griffigkeit bewertet wurden. Die Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen im Neuzustand, d. h. direkt nach der Applikation auf der Teststrecke, entsprach dabei jeweils mindestens dem angestrebten SRT-Wert des Applikateurs (angestrebte Griffigkeit: vgl. Tabelle 20, realisierte Griffigkeit nach der Applikation: vgl. Tabelle 33). Bei der vierten Griffigkeitsstufe wurde die angestrebte Griffigkeit sogar übertroffen.

Die Applikation des sogenannten „Hauptversuchsfeldes“ erfolgte auf einer Länge von 400 m. Dabei wurden die drei eingesetzten Materialien in einem Abstand von ca. 80 cm nebeneinander appliziert (vgl. Bilder 29-31 und Tabelle 21). Der seitliche Abstand zwischen den Längsmarkierungen wurde dabei so gewählt, dass bei der Überfahrt mit den

Material	Breite [cm]	Griffigkeitsstufen
Folie	30	1 Stufe
Farbe	30	4 Stufen
Kaltplastik	30	4 Stufen

Tab. 19: Markierungen – Hauptversuche

Stufe	Material/Korngröße	Menge [g/m <sup>2</sup> ]	SRT-Wert im Labor [SRT-Einheiten]
1	Reflexperlen (0,6-0,8 mm)	350	40
2	Reflexperlen (0,6-0,8 mm) und Griffigkeitsmittel (Verhältnis: 3:1)	260	45
3	Glasgranulat und Griffigkeitsmittel (Verhältnis: 1:4)	380	50
4	Griffigkeitsmittel	520	75

Tab. 20: Konzeption der Fahrbahnmarkierungen im Labor – Nachstreumittel: Menge und Material (identisch für Kaltplastik- und Farbmarkierungen)





Bild 29: Hauptversuchsfeld

kontinuierlich messenden Verfahren, insbesondere dem GripTester, die benachbarte Markierung nicht überfahren wurde. Die vier Griffigkeitsstufen (bei der Folienmarkierung nur eine Griffigkeitsstufe) wurden beginnend bei Stufe 1 bis Stufe 4 nacheinander mit einer Länge von jeweils 100 m appliziert.

Die Grenze zwischen Fahrbahn und Markierung bzw. zwischen den Griffigkeitsstufen in Längsrichtung wurden wie im „Vorversuchsfeld“, durch einen Querstrich kenntlich gemacht (vgl. Bild 31)

Diese Querstriche wiesen eine Breite von 30 cm auf und erstreckten sich über die gesamte Fahrbahnseite (Breite des Fahrstreifens = 3,75 m).

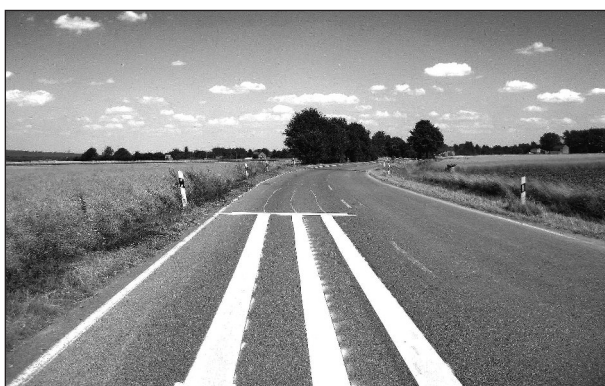


Bild 30: Anfang des Hauptversuchsfeldes (entgegen der Fahrtrichtung aufgenommen)

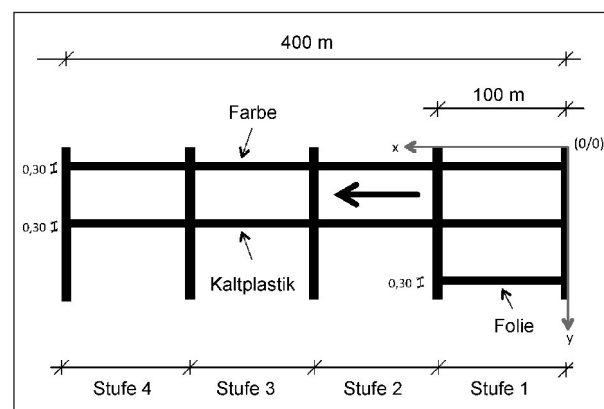


Bild 31: Applikationsplan für die Hauptversuche

Markierung	x [m]	y [m]	Lage global [m]	Breite [m]	Länge [m]	Applikationsart
Startlinie	0,00	0,00	625,00	3,75	0,30	durchgängig
Farbe 1	0,30	1,40	625,30	0,30	100,00	durchgängig
Farbe 2	100,60	1,40	725,60	0,30	100,00	durchgängig
Farbe 3	200,90	1,40	825,90	0,30	100,00	durchgängig
Farbe 4	301,20	1,40	926,20	0,30	100,00	durchgängig
Kaltplastik 1	0,30	2,20	625,30	0,30	100,00	durchgängig
Kaltplastik 2	100,60	2,20	725,60	0,30	100,00	durchgängig
Kaltplastik 3	200,90	2,20	825,90	0,30	100,00	durchgängig
Kaltplastik 4	301,20	2,20	926,20	0,30	100,00	durchgängig
Folie 1	0,30	3,00	625,30	0,30	100,00	durchgängig
Querlinie 1	100,30	0,00	725,30	3,75	0,30	durchgängig
Querlinie 2	200,60	0,00	825,60	3,75	0,30	durchgängig
Querlinie 3	300,90	0,00	925,90	3,75	0,30	durchgängig
Endlinie	401,20	0,00	1.026,20	3,75	0,30	durchgängig

Tab. 21: Applikationsplan des Hauptversuchsfeldes. Dargestellt sind die jeweilige globale Lage, die Lage im Messfeld (x), die Breite und die Länge (y) der applizierten Fahrbahnmarkierungen



## 11.2 Untersuchungs- und Auswertemethodik – Hauptversuche

Im Rahmen der Hauptversuche wurden die drei kontinuierlich messenden Verfahren sowie ein lokal messendes Verfahren in die Untersuchungen einbezogen. Ergänzend zu den bereits in den Vorversuchen verwendeten kontinuierlich messenden Verfahren ViaFriction und GripTester wurde auch das SKM-Messsystem eingesetzt. Daneben wurde das SRT-Pendelgerät als Standardmessverfahren zur Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen gemäß DIN EN 1436 [DIN EN 1436, 2009] eingesetzt.

Die SRT-Messungen wurden durch von der Bundesanstalt für Straßenwesen geschultes Messpersonal durchgeführt. Je Griffigkeitsstufe wurden 10 Messpunkte mit einem Abstand von jeweils 10 m auf der Fahrbahnmarkierung angeordnet (beginnend nach 5 m). Bei jedem Messpunkt wurden fünf Einzelwerte bestimmt, gemäß TP Griff-StB (SRT) korrigiert und daraus der arithmetische Mittelwert des Messpunktes gebildet. Der für die gesamte Strecke von 100 m repräsentative Mittelwert wurde jeweils aus den arithmetischen Mittelwerten aller Messpunkte bestimmt.

Die Untersuchungen mit den kontinuierlich messenden Verfahren ViaFriction, GripTester und SKM wurden durch eingewiesenes Fachpersonal durchgeführt. Die Messungen erfolgten bei Geschwindigkeiten von 40 bis 80 km/h in Stufen von 10 km/h (ViaFriction und GripTester) mit jeweils 5facher Belegung. Bei dem SKM-Messverfahren erfolgten bei 40 und 60 km/h bis zu 9 Messungen unter Standardschlupfbedingungen. Eine Berücksichtigung

bei der späteren Analyse im Rahmen der Hauptversuche fanden insbesondere die vier Griffigkeitsstufen der Farb- und Kaltplastikmarkierung, da diese annähernd „vergleichbare Oberflächen“ aufwiesen. Auf eine Einbeziehung der strukturierteren Folienmarkierung in die Analyse wurde demgegenüber verzichtet, da sich deren Markierungsfläche in deutlichem Maße von den anderen beiden Markierungsmaterialien unterschied und lediglich eine Griffigkeitsstufe realisiert werden konnte. Des Weiteren wurde aufgrund der Projektgegebenheiten auf ergänzende Texturmessungen der Markierungsflächen verzichtet. Die für einen späteren Abgleich der Video- und Griffigkeitsdaten notwendige Synchronisation der Daten wurde mit Hilfe der bereits in Kapitel 10 beschriebenen Methodik sichergestellt. In Bild 32 ist die diesbezügliche Synchronisationsstrecke, die bei den Hauptversuchen verwendet wurde, schematisch dargestellt. Des Weiteren wurden auf Grundlage der Ergebnisse der Vorversuche Übergangsbereiche mit einer Länge von 10 m bei dem Übergang von der Straßenoberfläche zur Markierungsfläche bzw. von einer Griffigkeitsstufe zu einer anderen verworfen. Beim Verlassen der Markierung und anschließender Wiederauffahrt auf die Markierung wurden demgemäß der entsprechende Abschnitt sowie der darauffolgende Abschnitt verworfen. Demnach standen bei einer optimalen Überfahrt über die Fahrbahnmarkierung mit einer Erfassungsgüte von 100 % maximal 90 m für die Bewertung der Griffigkeit zur Verfügung – die ersten 10 m wurden verworfen.

Bei den kontinuierlichen Messungen mit dem GripTester, dem ViaFriction sowie dem SKM-Messfahrzeug wurden die Griffigkeitsmesswerte kontinuierlich

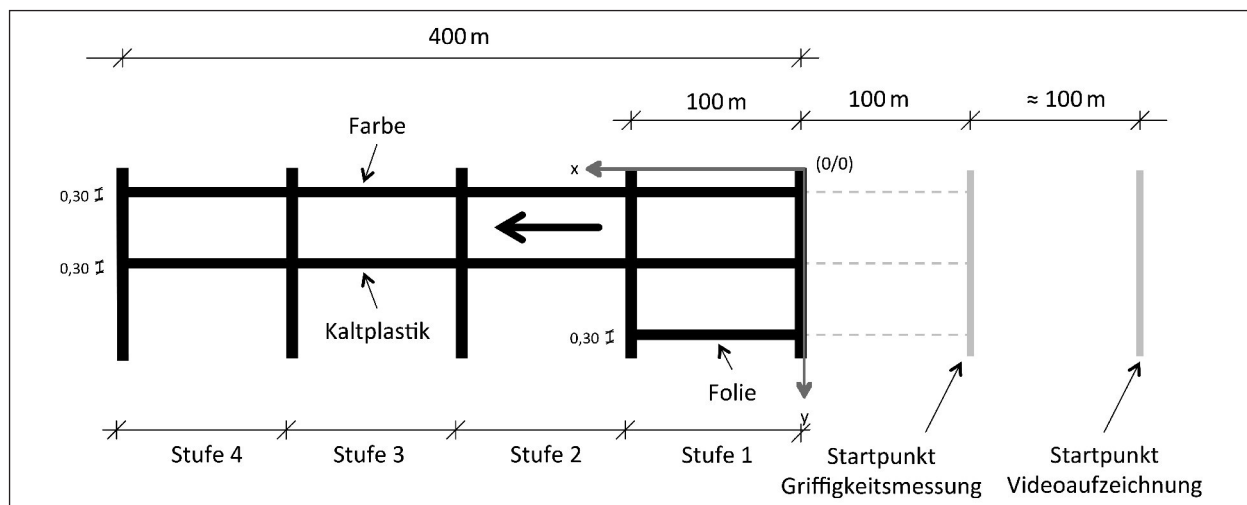


Bild 32: Darstellung der Synchronisationsstrecke in den Hauptversuchen

lich erfasst und mit einem Auswertebereich von 1,0 m aufgezeichnet. Wie in Kapitel 10.5 bereits ausgeführt, wurden allerdings nicht diese 1-m-Werte, sondern vielmehr 10-m-Abschnitte, d. h. 10-m-Mittelwerte, in die spätere Auswertung einbezogen. Hierdurch wurden extreme Schwankungen der Messdaten durch die Mittelwertbildung „geglättet“. Des Weiteren entsprachen die Abschnittslängen von 10 m exakt dem Bewertungsbereich der SRT-Messungen. So ergaben sich für jede Material- und Griffigkeitskombination (2 Markierungsmaterialien mit je 4 Griffigkeitsstufen bzw. bei der Folienmarkierung 1 Griffigkeitsstufe = 9 Kombinationen) 100 Einzelwerte (1-m-Werte), die zu jeweils zehn 10-m-Abschnittswerten zusammengefasst wurden.

Unter Berücksichtigung der Übergangsbereiche (vgl. Kapitel 10.5) konnten allerdings nur neun 10-m-Abschnitte für die Auswertung verwendet werden, da die Anfangsbereiche jeder Material- und Griffigkeitskombination zu verwerfen waren.

Bei der weiteren Auswertung der Messdaten waren diese 10-m-Abschnitte statistisch sowie anhand der Videoaufzeichnungen zu bewerten. Hierzu erfolgte ein Abgleich der Griffigkeitswerte der 10-m-Abschnitte mit dem aufgezeichneten Video bzw. der Weißanteil-Weg-Kurve in diesem Abschnitt. Ziel war es, die Bereiche, bei denen die Fahrbahnmarkierung nicht vollständig oder gar nicht überfahren wurde, zu identifizieren und zu verwerfen. Dies bedeutet, dass bei Verlassen der Fahrbahnmarkierung der entsprechende 10-m-Bereich sowie ein zusätzlicher Übergangsbereich von 10 m zu verwerfen waren (d. h. insgesamt 20 m). Die Bereichsgrenzen der 10-m-Abschnitte waren dabei fixiert und verschoben sich nicht dynamisch untereinander. Dies entsprach damit der in den Vorversuchen erarbeiteten Vorgehensweise (vgl. Kapitel 10), die eine unbeeinflusste Auswertung der Messdaten ermöglicht.

Die einzelnen Griffigkeitsstufen waren durch weiße Quermarkierungen getrennt, sodass der Übergang von einer auf die nächste Stufe im Videobild visuell ersichtlich war. Da diese Quermarkierungen im Vergleich zu den Längsmarkierungen abweichende Griffigkeiten aufwiesen, waren die Anfangsbereiche jeder Griffigkeitsstufe zu verwerfen. Aus Gründen der Vereinfachung der Auswertung wurden hier die im Rahmen der Vorversuche definierten Übergangsbereiche herangezogen. Am Anfang des Messfeldes, d. h. beim Übergang von Fahrbahn zu

Markierung, wurde gleichermaßen verfahren. Auch diese Bereiche sowie ein zusätzlicher, in den Vorversuchen definierter, Übergangsbereich von 10 m waren zu verwerfen.

Zusammenfassend wurden nachfolgende Arbeitsschritte für die Synchronisation der Video- und Griffigkeitsdaten im Rahmen der Hauptversuche definiert:

- Start der Videoaufzeichnung ca. 200 m vor dem Markierungsmessfeld (bei Überfahrt über die 1. gelbe Quermarkierung),
- Start der Griffigkeitsmessung 100 m vor dem Markierungsmessfeld (bei Überfahrt über die 2. gelbe Quermarkierung),
- Nullpunkt der Videoaufzeichnung setzen (bei Startpunkt Griffigkeitsmessung),
- Aufzeichnung der Griffigkeitswerte ab 100 m Messtrecke als 1-m-Einzelwerte (Anfang Markierungsmessfeld),
- Auswertung der 1-m-Einzelwerte durch Abschnittsbildung mit einer Abschnittslänge von 10 m, d. h. Bildung des arithmetischen Mittels für die 10-m-Abschnitte,
- Auswertung der Videoaufzeichnung nach 100 m Messtrecke (Anfang Markierungsmessfeld) hinsichtlich des Weißanteils im Auswertebereich des ISAC-DVA,
- Gegenüberstellung des Weißanteils und der Griffigkeitskennwerte und Verwerfen unsicherer 10-m-Abschnitte (Markierung nicht oder nicht vollständig überfahren).

Bei der Auswertung der Messdaten im Rahmen der Hauptversuche war weiterhin zu berücksichtigen, dass es für die kontinuierliche Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen kontinuierlich messender Verfahren bedarf, die die Einwirkung eines Reifens auf einer Fahrbahn unter nassen Bedingungen abbilden und für die eine nachweisliche Korrelation zu dem SRT-Pendelgerät besteht. Diese benötigte Korrelation zwischen dem SRT-Pendelverfahren und den kontinuierlichen Griffigkeitsmesssystemen war im Rahmen dieser Untersuchung bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten herzuleiten. Allerdings sind gemäß [FGSV MB Griff, 2003] durch Griffigkeitsmessverfahren gewonnene Messergebnisse gemittelte Werte, die nur unter ganz bestimmten und messsystemspezifischen

schen Voraussetzungen gelten, da in der Regel jedes Messverfahren systemimmanente Eigenarten aufweisen würde.

Ein Vergleich der Messergebnisse unterschiedlicher Messverfahren im Rahmen des Projekts war daher vom Grundsatz her problematisch. Durch die Berücksichtigung der Oberflächentextur der Fahrbahnmarkierungen wäre, ähnlich der Vorgehensweise im PIARC Ringversuch (1992) [WAMBOLD et al., 1995] oder dem Hermes-Project (2001/2002) [FEHRL, 2006], das Herleiten von Korrelationen zwischen dem SRT-Pendelgerät und kontinuierlich messenden Verfahren bzw. zwischen den kontinuierlich messenden Verfahren zulässig gewesen. Allerdings waren Texturmessungen der Fahrbahnmarkierungen nicht Bestandteil des FE-Projektes. Dementsprechend wurden im Rahmen der Hauptversuche nachfolgende Ziele definiert:

1. Überprüfung der im Rahmen der Vorversuche festgestellten Geschwindigkeitsunabhängigkeit der Erfassungsgüte auf einer Messstrecke > 100 m (Vorversuche 100 m).
2. Definition von Bewertungsbereichen für die Reibungsbeiwerte  $\mu$  der kontinuierlichen Messverfahren unter Berücksichtigung der Messabweichungen der Verfahren in Abhängigkeit der Messgeschwindigkeit:
  - $\mu$ -Vertrauensbereich  
In diesem Reibwertbereich sind keine zusätzlichen SRT Messungen durchzuführen, da unter Berücksichtigung der Messabweichungen „sicher“ eine Griffigkeit von > 45 SRT-Einheiten gewährleistet ist.
  - $\mu$ -Verwerfungsbereich  
In diesem Reibwertbereich liegt, unter Berücksichtigung der Messabweichungen, sicher eine Griffigkeit von < 45 SRT-Einheiten vor. Die Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen entspricht in diesem Bereich nicht mehr den Mindestanforderungen der ZTV M 02.

Die Definition der Bewertungsbereiche der kontinuierlichen Messverfahren erfolgt durch die Berechnung von Konfidenzintervallen mit einem Konfidenzniveau von 95 % (d. h. einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %) für nachfolgende Fragestellungen:

- In welchem Reibwertbereich liegt „sicher“ bei einer vorgegebenen Standardabweichung  $\sigma$  ein

Erwartungswert  $\mu > \mu_{\min}$  (SRT > 45 SRT-Einheiten) vor („Vertrauensbereich“)?

- In welchem Reibwertbereich liegt „sicher“ bei einer vorgegebenen Standardabweichung  $\sigma$  ein Erwartungswert  $\mu < \mu_{\min}$  (SRT < 45 SRT-Einheiten) vor? („Verwerfungsbereich“)?

Der Erwartungswert  $\mu_{\min}$  wurde durch eine Regressionsbetrachtung der Messergebnisse für eine Griffigkeit von 45 bzw. 50 SRT-Einheiten ermittelt. In diesem Zusammenhang wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dies keine allgemeingültige Regression zwischen den Messergebnissen der kontinuierlichen Messverfahren und dem SRT-Pendelverfahren darstellt. Zur Vereinfachung der statistischen Analyse der Messergebnisse wurden die beiden o. g. einseitigen Fragestellungen in die nachfolgende zweiseitige Fragestellung überführt:

- In welchem Reibwertbereich ist bei einer vorgegebenen Standardabweichung  $\sigma$  keine „sichere“ Aussage über den Erwartungswert  $\mu$  möglich?

Hierdurch ergab sich ein weiterer Bewertungsbe-  
reich für die Messergebnisse mit kontinuierlichen  
Verfahren. Dieser sogenannte „Unsicherheitsbe-  
reich“ oder „Unschärfbereich“ definiert den Reib-  
wertbereich der kontinuierlichen Messverfahren, in  
dem ergänzende SRT-Messungen zur Abschät-  
zung des SRT-Wertes zusätzlich zur Messung mit  
den kontinuierlich messenden Verfahren durchzu-  
führen sind, da keine „sichere“ Aussage mit den  
kontinuierlichen Messverfahren möglich ist (vgl.  
Bild 33).

Gleichermaßen können die Ergebnisse der kontinu-  
ierlichen Messverfahren auch durch zusätzliche  
Messungen mit den kontinuierlichen Verfahren er-  
gänzt werden, sodass die ermittelten Werte sozu-  
sagen „verdichtet“ werden. Dieses Verfahren könn-  
te in Anlehnung an die Vorgehensweise bei der Be-  
wertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen  
mit dem SRT-Pendelverfahren gemäß ZTV M 02  
[FGSV ZTV M 02, 2002] erfolgen. Demgemäß wer-  
den in der ersten Bewertungsstufe in jedem der zu  
messenden Messabschnitte 5 Messpunkte gleich-  
mäßig verteilt ausgewählt und das arithmetische  
Mittel aus den Einzelwerten gebildet. Liegt dieses  
arithmetische Mittel innerhalb des Messwertbe-  
reichs von  $42 \leq \text{SRT} \leq 48$ , ist die Prüfung um 5 wei-  
tere Messpunkte zu ergänzen (gemäß ZTV M 02 –  
Anhang 6, Tabelle A 6.1). Dies würde dem o. g. „Un-  
schärfbereich“ bei kontinuierlichen Messverfahren  
entsprechen.

Liegt das arithmetische Mittel außerhalb dieses „Unschärfebereiches“, ist die Prüfung mit dem Ergebnis „Anforderung erfüllt (> 48 SRT-Einheiten)“ oder „Anforderung nicht erfüllt (< 42 SRT-Einheiten)“ zu beenden. Dies würde den „Vertrauens- und Verwerfungsbereichen“ bei kontinuierlichen Verfahren entsprechen [DIN EN 1436, 2009; FGSV ZTV M 02, 2002; FGSV ZTV M xx, 2008].

Ausgehend von einem Konfidenzniveau von 5 % bei den einseitigen Fragestellungen war allerdings bei der Berechnung des „Unschärfe-Konfidenzintervalls“ ein Konfidenzniveau von  $(100 - 5 - 5) = 90\%$  anzunehmen. Die Grenzen des „Unschärfe-Konfidenzintervalls“ entsprachen somit den Grenzen der „Vertrauens- und Verwerfungs-Konfidenzintervalle“ mit einem Konfidenzniveau von jeweils 95 % (vgl. Bild 34).

Die für die Berechnung der Konfidenzintervalle zugrunde gelegte Standardabweichung der kontinuierlichen Messverfahren wurde im Falle des GripTesters und des SKM-Messverfahrens den jeweiligen Technischen Prüfvorschriften bzw. Arbeitsanleitungen entnommen. Aufgrund fehlender Erfahrungen bei dem ViaFriction wurde hierbei die im Rahmen des Projektes ermittelte Standardabweichung verwendet. Dies entspricht den Angaben des zum Berichtszeitraum vorhandenen Entwurfes der „Technical Spezifikation CEN/TS 15901“. Dieser Entwurf enthält Angaben zur Präzision des Verfahren auf angenäster Fahrbahn. Demnach gilt für die Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsprüfung bei 90 % aller Prüfungen  $\Delta\mu < 0,04$  (10-m-Abschnitte) [CEN/TS 15901].

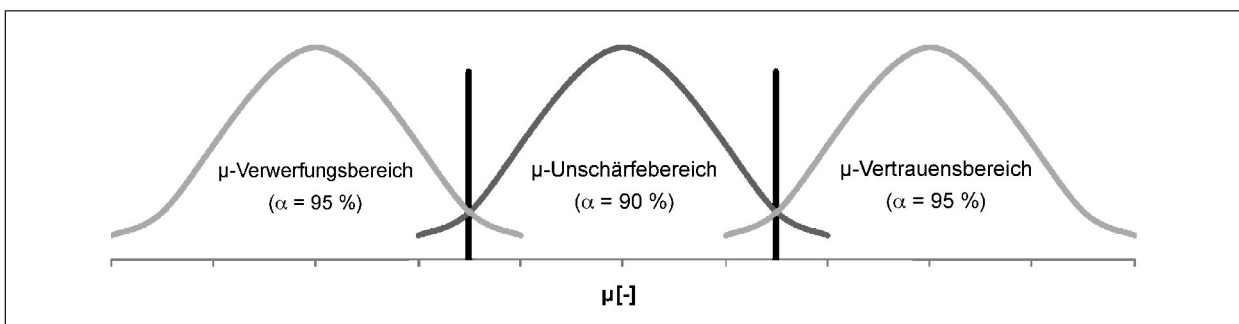


Bild 33: Zusammenhang zwischen zwei einseitigen und einer zweiseitigen Fragestellung (Konfidenzintervalle)

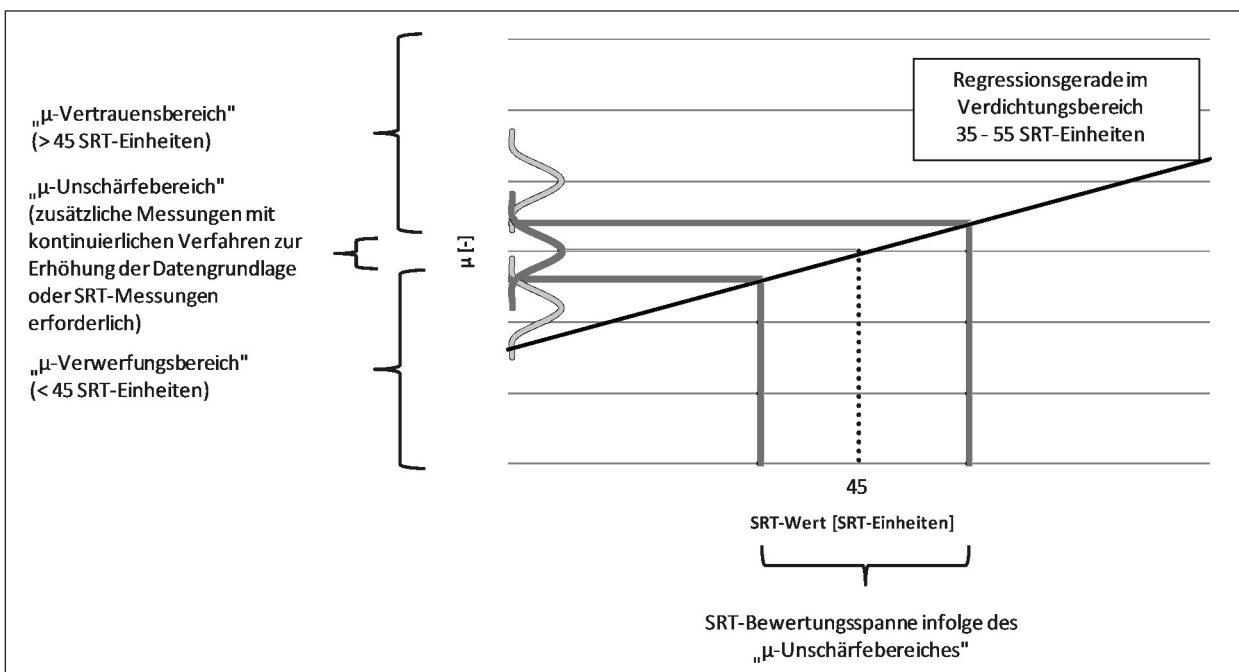


Bild 34: Erläuterung der Auswertemethodik: Definition des „ $\mu$ -Vertrauensbereiches“, des „ $\mu$ -Unschärfebereiches“ und des „ $\mu$ -Verwerfungsbereiches“ infolge der Schwankungen/Streuungen der Messwerte der kontinuierlich messenden Verfahren (Vorgehensweise zur Berechnung von Konfidenzintervallen)



### 11.3 Untersuchungsergebnisse

Nachfolgend werden die von Ausreißern bereinigten Ergebnisse der im Rahmen der Hauptversuche durchgeführten Untersuchungen dargestellt.

#### SRT

Die Untersuchungen mit dem SRT-Pendelgerät im Rahmen der Hauptversuche wurden gemäß den „Technischen Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil: Messverfahren SRT“ [FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004] sowie der DIN EN 1436 durchgeführt. Die Ergebnisse wurden standardmäßig gemäß TP Griff-StB (SRT) korrigiert (vgl. Tabelle 22). Für eine detaillierte Aufschlüsselung der SRT-Messwerte wird auf Anhang 5 verwiesen. Die im „Allgemeinen Rundschreiben“ Nr. 19/2010 der FGSV am 27. August 2010 veröffentlichte veränderte Temperaturkorrektur wurde nicht verwendet, da die Messungen im Juni 2010 stattgefunden haben. Eine nachträgliche Korrektur war nicht möglich, da die hierfür erforderlichen Temperaturen des Gleitkörpers zu Messbeginn und Messende jedes Messpunktes nicht bestimmt/erfasst wurden.

#### ViaFriction

Die Ergebnisse der Messungen mit dem ViaFriction sind in den Tabellen 23-25 dargestellt. Dabei sind neben den Mittelwerten aus allen fünf Messfahrten je Geschwindigkeit auch die entsprechenden Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten jeder Variantenkombination (Material und Geschwindigkeit) sowie die Anzahl der auswertbaren, d. h. gültigen Messabschnitte, dargestellt. Die dargestellte Standardabweichung ist das arithmetische Mittel aus den Standardabweichungen der jeweiligen 10-m-Abschnitte über fünf wiederholte Messfahrten. Standardmäßig wurde bei der Auswertung

	Farbe		Kaltplastik		Folie	
	Mittel	VarK	Mittel	VarK	Mittel	VarK
	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]
Stufe 1	33	7	32	4	63	3
Stufe 2	39	3	41	2		
Stufe 3	44	3	47	5		
Stufe 4	54	4	75	1		

Tab. 22: Messergebnisse SRT

	V [km/h]	Farbe			
		Mittel	$\sigma$	VarK	n
		[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,34	0,02	5	41
	50	0,32	0,02	7	37
	60	0,28	0,03	9	42
	70	0,26	0,03	13	40
	80	0,22	0,03	14	36
Stufe 2	40	0,39	0,02	5	43
	50	0,38	0,03	7	32
	60	0,33	0,02	7	37
	70	0,30	0,02	6	36
	80	0,27	0,02	8	24
Stufe 3	40	0,42	0,02	5	43
	50	0,41	0,03	8	36
	60	0,36	0,04	11	33
	70	0,34	0,06	18	28
	80	0,28	0,02	8	32
Stufe 4	40	0,61	0,05	8	30
	50	0,58	0,04	6	26
	60	0,52	0,04	8	26
	70	0,46	0,03	7	27
	80	0,41	0,02	6	33

Tab. 23: Ergebnisse Farbmarkierung – ViaFriction

	V [km/h]	Kaltplastik			
		Mittel	$\sigma$	VarK	n
		[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,33	0,02	5	37
	50	0,30	0,02	5	39
	60	0,28	0,02	6	36
	70	0,25	0,03	10	45
	80	0,22	0,01	6	36
Stufe 2	40	0,52	0,08	16	21
	50	0,46	0,05	10	30
	60	0,42	0,03	7	23
	70	0,39	0,02	4	42
	80	0,35	0,02	5	32
Stufe 3	40	0,53	0,01	3	33
	50	0,48	0,03	6	38
	60	0,45	0,04	10	41
	70	0,39	0,03	8	36
	80	0,33	0,02	7	37
Stufe 4	40	0,91	0,01	1	26
	50	0,87	0,03	3	26
	60	0,80	0,06	7	26
	70	0,72	0,05	7	34
	80	0,62	0,03	5	24

Tab. 24: Ergebnisse Kaltplastikmarkierung – ViaFriction

	Folie				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,78	0,02	2	42
	50	0,77	0,03	4	44
	60	0,77	0,02	3	23
	70	0,77	0,02	2	28
	80	0,73	0,01	2	28

Tab. 25: Ergebnisse Folienmarkierung – ViaFriction

jeweils der erste Messabschnitt beim Übergang von einer Griffigkeitsstufe auf eine andere verworfen, sodass maximal 9 Abschnitte (d. h. insgesamt 90 m) in die Auswertung einbezogen wurden (vgl. Kapitel 11.2). Weiterhin wurden die beim Verlassen der Fahrbahnmarkierung folgenden 10-m-Abschnitte ebenfalls verworfen. Die Anzahl der zugrunde liegenden Abschnitte ergibt sich demgemäß aus der Summe der auswertbaren Abschnitte bei fünffacher Belegung, d. h. fünf Messfahrten.

Für das ViaFriction lagen keine Erfahrungen hinsichtlich Korrekturfaktoren bzgl. einer Abweichung von der Sollgeschwindigkeit und veränderter Temperatur vor. Daher erfolgten im Rahmen des Projektes keine Korrekturen der Messwerte. Diesbezüglich wird angemerkt, dass während der Messungen im Rahmen der Hauptversuche eine max. Abweichung von der Sollgeschwindigkeit von ca. 2 km/h im Mittel sowie eine Lufttemperatur von ca. 35 °C, eine Oberflächentemperatur von ca. 52 °C, eine Reifentemperatur von ca. 33 °C und eine Wassertemperatur von ca. 23 °C verzeichnet wurden. Für detaillierte Informationen bezüglich der Einzelwerte wird auf Anhang 6 verwiesen.

### GripTester

Die Untersuchungen mit dem GripTester im Rahmen der Hauptversuche wurden gemäß der „Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester)“ [FGSV, 2007] durchgeführt. Dabei sind neben den Mittelwerten aus allen fünf Messfahrten je Geschwindigkeit auch die entsprechenden Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten jeder Variantenkombination (Material und Geschwindigkeit) dargestellt. Die dargestellte Standardabweichung ist das arithmetische Mittel aus den Standardabweichungen der jeweiligen 10-m-Abschnitte über fünf wiederholte Messfahrten. Des Weiteren ist auch hier die Anzahl n der für die Auswertung zugrunde liegenden Mess-

	Farbe				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,30	0,01	4	43
	50	0,29	0,01	4	42
	60	0,25	0,01	5	43
	70	0,23	0,02	6	35
	80	0,19	0,02	9	42
Stufe 2	40	0,34	0,02	6	40
	50	0,32	0,03	6	43
	60	0,29	0,02	8	44
	70	0,26	0,02	8	31
Stufe 3	40	0,39	0,03	7	39
	50	0,35	0,03	9	44
	60	0,30	0,02	8	36
	70	0,27	0,02	6	37
Stufe 4	40	0,55	0,04	7	24
	50	0,52	0,04	8	25
	60	0,44	0,03	7	27
	70	0,41	0,02	5	26
	80	0,33	0,03	9	27

Tab. 26: Ergebnisse Farbmarkierung – GripTester

	Kaltplastik				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,28	0,01	5	39
	50	0,25	0,02	6	36
	60	0,21	0,01	7	29
	70	0,21	0,05	25	41
	80	0,17	0,04	26	30
Stufe 2	40	0,40	0,02	6	27
	50	0,39	0,03	7	13
	60	0,33	0,02	7	23
	70	0,29	0,03	9	33
Stufe 3	40	0,26	0,05	19	31
	40	0,48	0,04	8	12
	50	0,47	0,03	6	13
	60	0,39	0,06	17	18
Stufe 4	70	0,34	0,07	21	31
	80	0,27	0,07	26	29
	40	0,90	0,02	2	29
	50	0,78	0,04	5	19
	60	0,69	0,01	2	25
	70	0,66	0,05	8	20
	80	0,59	0,05	9	24

Tab. 27: Ergebnisse Kaltplastikmarkierung – GripTester

	Folie				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,78	0,02	2	29
	50	0,77	0,02	2	27
	60	0,76	0,01	2	33
	70	0,73	0,01	2	21
	80	0,69	0,01	2	38

Tab. 28: Ergebnisse Folienmarkierung – GripTester

abschnitte dargestellt. Jede Messung bestand aus 10 Abschnitten mit einer jeweiligen Länge von 10 m, wobei auch hier standardmäßig bei der Auswertung jeweils der erste Messabschnitt beim Übergang von einer Griffigkeitsstufe auf eine andere verworfen wurde (d. h. maximale Anzahl gültiger Abschnitte je Messfahrt = 9). Die Anzahl der zugrunde liegenden Abschnitte ergibt sich demgemäß auch hier aus der Summe der auswertbaren Abschnitte bei fünffacher Belegung, d. h. fünf Messfahrten. Die Ergebnisse wurden weiterhin standardmäßig gemäß „Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester)“ [FGSV, 2007] korrigiert und sind in den Tabellen 26-28 dargestellt. Für detaillierte Informationen bezüglich der Einzelwerte wird auf Anhang 7 verwiesen.

### SKM

Die Untersuchungen mit dem SKM im Rahmen der Hauptversuche wurden gemäß den „Technischen Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM)“ [FGSV, 2008] durchgeführt. Die Ergebnisse wurden standardmäßig gemäß TP Griff-StB [FGSV, 2008] korrigiert und sind in den Tabellen 29-31 dargestellt.

Dargestellt sind neben den Mittelwerten aus allen Messfahrten (40 km/h = 9 Messfahrten, 60 km/h = 7 Messfahrten) auch die entsprechenden Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten jeder Variantenkombination (Material und Geschwindigkeit). Die dargestellte Standardabweichung ist das arithmetische Mittel aus den Standardabweichungen der jeweiligen 10-m-Abschnitte. Des Weiteren ist auch hier die Anzahl n der für die Auswertung zugrunde liegenden Messabschnitte dargestellt. Jede Messung bestand aus 10 Abschnitten mit einer jeweiligen Länge von 10 m. Die Anzahl der zugrunde liegenden Abschnitte ergibt sich demgemäß aus der Summe der auswertbaren Abschnitte.

	Farbe				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,36	0,05	13	42
	50	*	*	*	*
	60	0,29	0,02	7	25
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*
Stufe 2	40	0,42	0,04	10	49
	50	*	*	*	*
	60	0,34	0,02	7	47
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*
Stufe 3	40	0,52	0,06	11	48
	50	*	*	*	*
	60	0,42	0,04	10	41
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*
Stufe 4	40	0,80	0,02	3	10
	50	*	*	*	*
	60	0,63	0,04	7	10
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*

\* keine Messwerte erfasst

Tab. 29: Ergebnisse Farbmarkierung – SKM

	Kaltplastik				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,35	0,04	13	31
	50	*	*	*	*
	60	0,32	0,03	8	42
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*
Stufe 2	40	0,50	0,04	9	54
	50	*	*	*	*
	60	0,45	0,02	4	37
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*
Stufe 3	40	0,52	0,03	6	28
	50	*	*	*	*
	60	0,46	0,01	3	26
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*
Stufe 4	40	0,96	0,03	3	12
	50	*	*	*	*
	60	0,86	0,07	9	23
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*

\* keine Messwerte erfasst

Tab. 30: Ergebnisse Kaltplastikmarkierung – SKM

	Folie				
	V	Mittel	$\sigma$	VarK	n
	[km/h]	[-]	[-]	[%]	[-]
Stufe 1	40	0,91	0,03	4	14
	50	*	*	*	*
	60	78	0,00	1	4
	70	*	*	*	*
	80	*	*	*	*

\* keine Messwerte erfasst

Tab. 31: Ergebnisse Folienmarkierung – SKM

Erfasst wurden hier lediglich Ergebnisse bei standardmäßigen Geschwindigkeiten von 40 und 60 km/h. Aufgrund der Projektgegebenheiten und der örtlichen Gegebenheiten konnten Messfahrten mit anderen Geschwindigkeiten nicht realisiert werden. Insbesondere die Kurvigkeit der Strecke im Vorlauf des Hauptversuchsfeldes machte eine Beschleunigung des SKM-Messfahrzeuges auf Geschwindigkeiten größer 60 km/h nicht möglich. Die Geschwindigkeit von 50 km/h konnte des Weiteren nicht realisiert werden, da die veranschlagte Messdauer erreicht wurde und die Dämmerung einsetzte.

Für detaillierte Informationen bezüglich der Einzelwerte wird auf Anhang 8 verwiesen.

#### 11.4 Analyse der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Erfassungsgüte im Rahmen der Hauptversuche

In den Vorversuchen wurde nahezu eine Geschwindigkeitsunabhängigkeit der Erfassungsgüte festgestellt. Es wurde sogar ein geringfügiger Anstieg der Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Geschwindigkeit erkannt (vgl. Bild 20 und Bild 21). Dieser könnte zum einen durch „Gewöhnungseffekte“ und zum anderen durch eine gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer begründet werden. Gewöhnungseffekte der Fahrzeugführer könnten beispielsweise daher rühren, dass im Rahmen der Vorversuche alle Messungen an einem Messtag durchgeführt worden sind. Dies ergänzend könnte eine gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer während der Messung den erwarteten Effekt der gesteigerten Geschwindigkeit aufgrund der geringen Messstrecke von nur 100 m weitestgehend abgemindert haben.

Es wurde allerdings erwartet, dass bei einer längeren Messstrecke als im vorliegenden Fall die Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

v [km/h]	Erfassungsgüte [%]			
	ViaFriction		GripTester	
	VV	HV	VV	HV
40	75	82	93	86
50	84	74	67	84
60	80	84	75	86
70	67	80	78	70
80	91	72	86	84

Tab. 32: Vergleich der mittleren Erfassungsgüten der ersten 100 m Messstrecke der Vorversuche (= VV) und Hauptversuche (= HV)

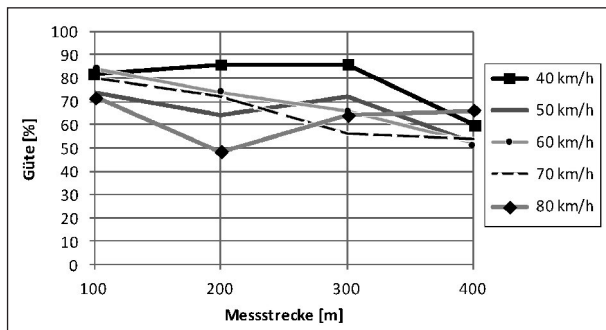
deutlich abnimmt, da der Schwierigkeitsgrad für eine qualitativ hochwertige Messung mit steigender Geschwindigkeit deutlich zunimmt. Insbesondere würden trotz geschwindigkeitsabhängiger Lenkung zielgerichtete Korrekturlenkbewegungen mit steigender Geschwindigkeit schwieriger. Leider war aufgrund der örtlichen Gegebenheiten keine Applikation längerer Markierungen im Vorversuchsfeld möglich. Daher wurde dieser Effekt durch eine diesbezügliche Analyse der Erfassungsgüte im Rahmen der Hauptversuche näher betrachtet. Die Grundlage für diese weitergehende Analyse bildeten die Erfassungsgüten der Messfahrten mit dem ViaFriction und dem GripTester auf der Farbmarkierung an der rechten Seite der Fahrbahn. Die Kaltplastikmarkierung wurde nicht näher betrachtet, da diese erst im Anschluss an die Farbmarkierung befahren wurde und demnach bereits gewisse Gewöhnungseffekte bei den Fahrzeugführern nicht ausgeschlossen werden konnten. Die Folienmarkierung wurde weiterhin auch nicht betrachtet, da hier lediglich eine Messlänge von 100 m vorlag. Auch die Erfassungsgüte des SKM-Messfahrzeuges wurde nicht weiter betrachtet, da hier lediglich zwei Geschwindigkeiten (40 und 60 km/h) realisiert werden konnten und demnach eine ggf. auftretende Geschwindigkeitsabhängigkeit der Erfassungsgüte aufgrund der Datengrundlage nicht ausreichend belegbar gewesen wäre.

Durch einen Vergleich der Erfassungsgüten der Messfahrten der Hauptversuche (vgl. Tabelle 32, VV = Vorversuche, HV = Hauptversuche) und der Erfassungsgüten der Vorversuche (vgl. Kapitel 10) der ersten 100 m (rechte Fahrbahnmarkierung, Breite 30 cm) wurde zunächst deutlich, dass die Güten nahezu auf dem gleichen Niveau liegen und damit eine Vergleichbarkeit besteht, die eine weitere Analyse ermöglichte. Die in Tabelle 32 dargestellten Erfassungsgüten wurden in Anlehnung an

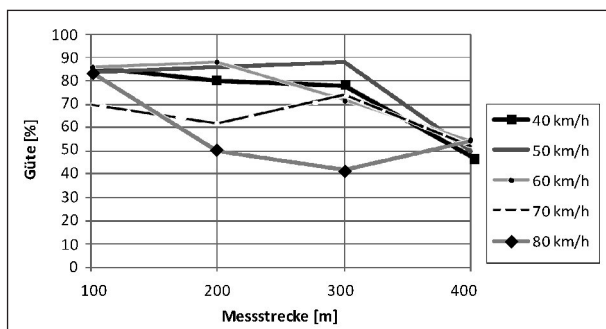


die Auswertemethodik der Vorversuche bestimmt. Dies bedeutet, dass alle gültigen Messwerte aufsummiert und auf die Gesamtauswertelänge bezogen worden sind. Dies ermöglicht allerdings keine Umrechnung auf die Anzahl der gültigen Messabschnitte im Rahmen der weiteren Auswertung der Hauptversuche.

In Bild 35 und Bild 36 ist die mittlere Erfassungsgüte der Messfahrten im Rahmen der Hauptversuche mit dem ViaFriction und dem GripTester in Abhängigkeit der Messgeschwindigkeit und der Messstrecke dargestellt. Hieraus wird ersichtlich, dass sowohl die Messgeschwindigkeit als auch die Länge der bereits zurückgelegten Messstrecke einen Einfluss auf die Erfassungsgüte hatten. Vergleicht man die Kurvenverläufe der Erfassungsgüten über die hier betrachtete Messstrecke von 400 m (Bild 35 und Bild 36), wird sowohl beim ViaFriction als auch beim GripTester ersichtlich, dass die Erfassungsgüte mit zunehmender Messstrecke abgenommen hat. Beispielsweise verläuft bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h die Güte bis zu einer Messstrecke von 300 m nahezu konstant auf einem hohen Niveau von ca. 80 % und fällt erst bei den nachfolgenden 100 m auf ein geringeres Niveau von 60 % ab. Demgegenüber war dieser Abfall bei der Maximalgeschwindigkeit von 80 km/h



**Bild 35:** Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Messstrecke beim ViaFriction (= VF)



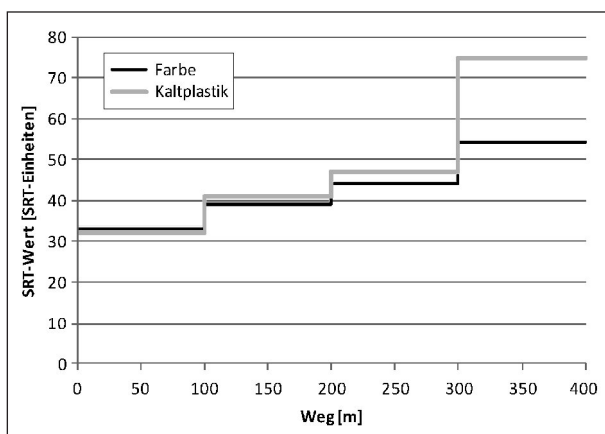
**Bild 36:** Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Messstrecke beim GripTester (= GT)

bereits nach einer Messstrecke von 100 m festzustellen. Dies bestätigt die Erwartung, dass die Erfassungsgüte geschwindigkeitsabhängig ist und dass die in den Vorversuchen festgestellte erhöhte Konzentration bzw. Fokussierung (Aussage der Fahrzeugführer) nicht über die gesamte Messstrecke von 400 m aufrechterhalten werden konnte – vielmehr konnte diese auch bei geringen Geschwindigkeiten von „nur“ 40 km/h nur für eine Messstrecke von ca. 300 m aufrechterhalten werden (vgl. Bild 35 und Bild 36). Dieses verdeutlicht ergänzend zu den Ergebnissen der Vorversuche, dass für den Einsatz kontinuierlicher Messverfahren im späteren Betrieb unter Verkehr ein leistungsfähiges automatisches Spurführungssystem erforderlich ist, das den Fahrzeugführer bei der Spurführung unterstützt.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse ist die im Rahmen der Vorversuche festgestellte Geschwindigkeitsunabhängigkeit der Erfassungsgüte kritisch zu hinterfragen. Die Ergebnisse zeigen, dass die in den Vorversuchen festgestellte Unabhängigkeit von lediglich jeweils 100 m sowie eine gesteigerte Konzentration und Gewöhnung der Fahrzeugführer zurückzuführen ist. Zudem scheint bei längeren Messstrecken insbesondere die gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer nicht dauerhaft aufrechterhalten werden zu können – im letzten Griffigkeitsabschnitt (300-400 m) kann eine deutliche Abnahme der Erfassungsgüte unabhängig von der Geschwindigkeit verzeichnet werden (vgl. Bild 35 und Bild 36).

## 11.5 Analyse der Hauptversuche

In Absprache mit dem Auftraggeber sollten für jedes Markierungsmaterial vier Griffigkeitsstufen appliziert werden, die ein möglichst großes Griffigkeitspektrum abdecken sollten. Gemäß dieser Vorgabe wurden für jedes Material eine Markierung unterhalb des Grenzwertes von 45 SRT-Einheiten, je eine Markierung mit 45 SRT-Einheiten und je zwei Markierungen oberhalb des Grenzwertes appliziert (vgl. Tabelle 20). In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass der angestrebte Griffigkeitszielwert von 75 SRT-Einheiten in der vierten Stufe bei der Applikation des Hauptversuchsfeldes übertroffen wurde. Dies bedeutete aber für die Hauptversuche keine Einschränkungen, da eine Fahrbahnmarkierung mit einer Griffigkeit deutlich größer 45 SRT-Einheiten angestrebt wurde.



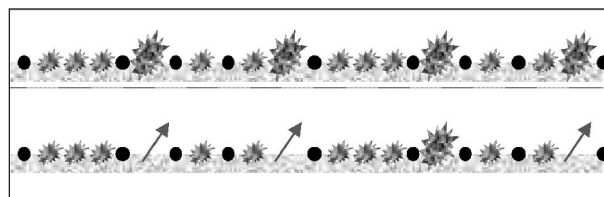
**Bild 37:** Messergebnisse mit dem SRT-Pendelverfahren – Farb- und Kaltplastikmarkierung nach Belastung zum Zeitpunkt der Hauptversuche (Stufe 1 bis 4, die Werte entsprechen nicht mehr dem Applikationszustand bzw. dem anfänglich angestrebten Zustand)

	Messergebnis [SRT-Einheiten]			
	Farbe		Kaltplastik	
	ohne Belastung	nach Belastung	ohne Belastung	nach Belastung
<b>Stufe 1</b>	40	33	40	32
<b>Stufe 2</b>	45	39	45	41
<b>Stufe 3</b>	55	44	55	47
<b>Stufe 4</b>	80	54	80	75

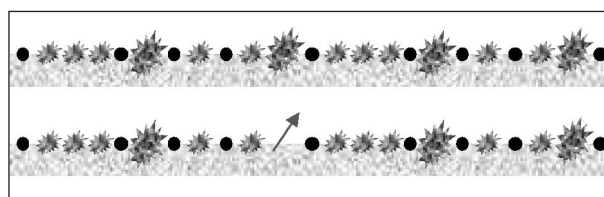
**Tab. 33:** Gegenüberstellung der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen im Neu- und im Gebrauchszustand

Zum Zeitpunkt der Hauptversuche, d. h. nach ca. zwei Wochen Liegezeit der Fahrbahnmarkierungen, wurde allerdings festgestellt, dass die Griffigkeiten durch den Werksverkehr abgenommen haben, sodass jeweils zwei Markierungen unterhalb des Grenzwertes von 45 SRT-Einheiten, eine Markierung mit 45 SRT-Einheiten sowie eine Markierung oberhalb des Grenzwertes zur Verfügung standen (vgl. Bild 37 und Tabelle 33). Ergänzt wurde dies durch eine Folienmarkierung mit einer Griffigkeit von ca. 63 SRT-Einheiten. Weitere Griffigkeitsstufen konnten im Rahmen des Projektes nicht realisiert werden.

Die Griffigkeitsunterschiede nach Belastung der Kaltplastik- und der Farbmarkierung in der vierten Griffigkeitsstufe sind auf die größere Schichtdicke der Kaltplastikmarkierung zurückzuführen. Hierdurch war eine bessere Einbindung des Nachstreumittels im Material gewährleistet, sodass dauerhaft größere Griffigkeiten realisiert werden konnten (vgl. Bild 38 und 39). Bei den Farbmarkierungen kam es aufgrund der geringeren Schichtdicke bei gleicher Nachstreu-



**Bild 38:** Einbindetiefe des Nachstreumittels in der Farbmarkierung – 4. Griffigkeitsstufe



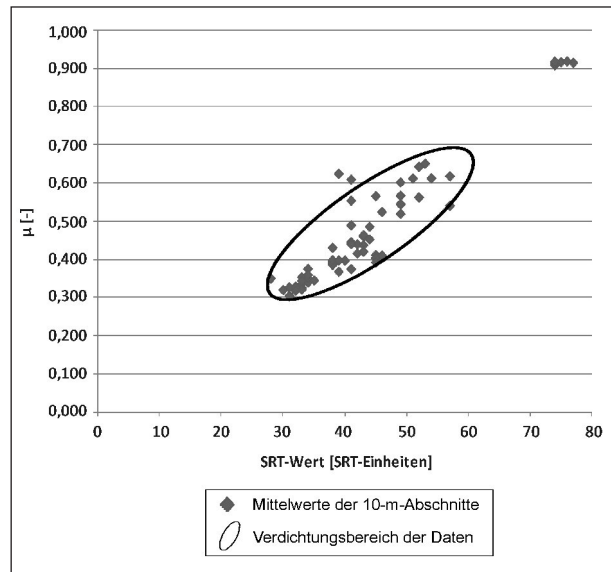
**Bild 39:** Einbindetiefe des Nachstreumittels in der Kaltplastikmarkierung – 4. Griffigkeitsstufe

mittelmenge und gleichem Nachstreumittel zu einer weniger optimalen Einbindung des Materials. Dementsprechend war eine Griffigkeit auf dem Niveau der Kaltplastikmarkierung bei der Farbmarkierung nur sehr schwer dauerhaft realisierbar. Bei geringeren Nachstreumittelmengen in den Griffigkeitsstufen 1 bis 3 schien sich dieser o. g. Effekt noch nicht einzustellen, sodass die ersten drei Griffigkeitsstufen der Farb- und der Kaltplastikmarkierung annähernd ein gleiches Griffigkeitsniveau aufgewiesen haben. Dieser Effekt sollte durch eine Applikation der Farbmarkierung in einer größeren Schichtdicke, d. h. einer größeren Materialmenge, verhindert werden. Allerdings führten die hohen Temperaturen am Applikationstag zu einem starken Auseinanderlaufen der Markierungsfarbe bei der Applikation, sodass die höhere Schichtdicke nicht wie gewünscht realisiert werden konnte. Dies wurde bereits bei der Applikation des ersten Teilbereichs (1. Griffigkeitsstufe) ersichtlich, sodass in diesem Bereich aufgrund der geringeren Viskosität der Farbe eine größere Markierungsbreite von bis zu 34 cm erreicht wurde. Diese erhöhte Markierungsbreite wurde daher durch eine Nachjustierung der Sprühdüse kontinuierlich bis auf eine Breite von 30 cm reduziert, sodass am Ende des ersten Teilbereichs die angestrebte Markierungsbreite von 30 cm realisiert wurde.

Nachfolgend wurde auf eine Applikation einer größeren Schichtdicke im vierten Teilbereich, die aufgrund der temperaturbedingten geringeren Viskosität zu einem erneuten Nachjustieren der Sprühdüse verbunden mit einer erneuten Veränderung der Markierungsbreite geführt hätte, verzichtet. Die Applikationsstärke (= Schichtdicke) der Farbmarkierung wurde daher konstant gehalten.

Berücksichtigt wurden in der nachfolgenden Analyse insbesondere die vier Griffigkeitsstufen der Farb- und Kaltplastikmarkierung, da diese annähernd „vergleichbare“ Oberflächen aufwiesen. Hierdurch ergab sich ein zugrunde liegender Stichprobenumfang von acht Messfeldern (zwei Markierungsmaterialien mit jeweils vier Griffigkeitsstufen). Auf eine Einbeziehung der strukturierteren Folienmarkierung in die Analyse wurde demgegenüber verzichtet, da sich deren Markierungsfläche in deutlichem Maße von den anderen beiden Markierungsmaterialien unterschied und lediglich eine Griffigkeitsstufe realisiert werden konnte. Beim SKM-Verfahren wurden nur die Geschwindigkeiten von 40 und 60 km/h betrachtet, da andere Messdaten nicht zur Verfügung standen. Die Messungen im Rahmen der Hauptversuche wurden ca. 2 Wochen nach der Applikation der Fahrbahnmarkierungen durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren die Fahrbahnmarkierungen bereits durch den geringen Werksverkehr belastet worden (vgl. Tabelle 33, „nach Belastung“).

In Anlehnung an die anfänglich definierten Ziele im Rahmen der Hauptversuche wurden nachfolgend „ $\mu$ -Vertrauensbereiche“, „ $\mu$ -Unschärfbereiche“ und „ $\mu$ -Verwerfungsbereiche“ für jedes kontinuierlich messende Verfahren und für jede Messgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Messabweichungen der Verfahren definiert (vgl. Bild 34). Hierfür wurden für jedes kontinuierlich messende Verfahren und für jede Geschwindigkeit Regressionsanalysen der Variablen Reibungsbeiwert und SRT-Wert durchgeführt. Die Regressionsgeraden, als Ergebnis der Regressionsanalyse, wurden im Rahmen dieses Projektes nur für die Berechnung der Mindestreibwerte  $\mu_{\min}$  bei den verschiedenen Geschwindigkeiten und Verfahren herangezogen. Hierfür wurden jeweils bei einer Griffigkeit von 45 bzw. 50 SRT-Einheiten (x-Achse bei der Regressionsbetrachtung) die korrespondierenden Reibungsbeiwerte der kontinuierlichen Verfahren (y-Achse bei der Regressionsbetrachtung) abgelesen bzw. berechnet (vgl. Bild 34). Diese Geraden stellen allerdings keine allgemeingültige Korrelation der SRT-Werte und der Reibungsbeiwerte der kontinuierlich messenden Verfahren dar, die eine Umrechnung von den Reibungsbeiwerten in SRT-Einheiten ermöglichen würde. Vielmehr wurde die Umrechnung im Rahmen dieses Projektes durch eine Verdichtung der Messdaten, die durch eine diesbezüglich gezielte Applikation der untersuchten Fahrbahnmarkierungen in einem Griffigkeitsbereich von



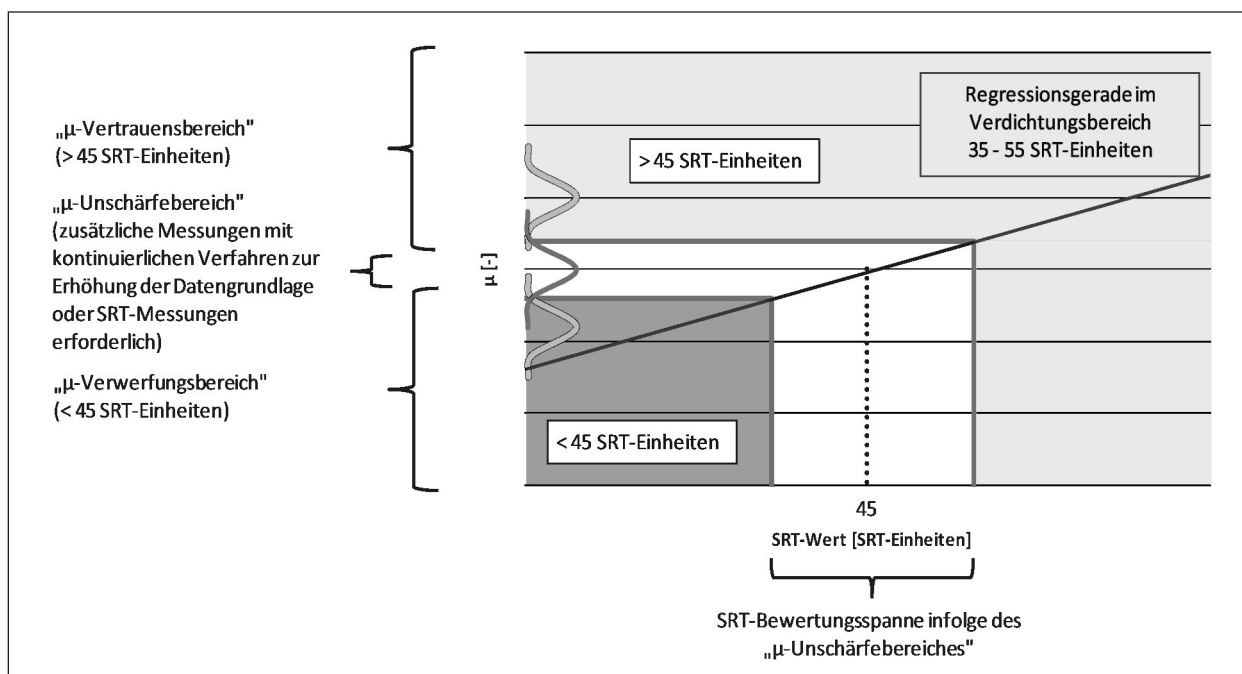
**Bild 40:** Verdichtung der Messdaten im Umrechnungsbereich von 35 bis 55 SRT-Einheiten

35 bis 55 SRT-Einheiten erreicht wurde, ermöglicht (vgl. Bild 40).

Auf Grundlage dieser Regressionsbetrachtung bzw. der ermittelten Mindestreibwerte  $\mu_{\min}$  erfolgte die Berechnung von Konfidenzintervallen für die drei definierten Bewertungsbereiche gemäß der in Kapitel 11.2 definierten Vorgehensweise (Stichprobenumfang:  $n = 8$  (zwei Materialien mit jeweils vier Griffigkeitsstufen)). Hinsichtlich der in dem Diskussionspapier „Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen“ [FASA 2010/Juni; 2010] definierten Übergabewerte für neu applizierte Fahrbahnmarkierungen zum Zeitpunkt der Übergabe wurde gleichermaßen verfahren. Auch hier wurden für den Übergabewert von 50 SRT-Einheiten „ $\mu$ -Vertrauens-,  $\mu$ -Unschärfbereiche und  $\mu$ -Verwerfungsbereiche“ definiert. Zusammenfassend ermöglichte die o. g. Vorgehensweise nachfolgende Schlussfolgerungen im Rahmen des Projektes:

- $\mu > \mu_{\min} + t_{f;1-\alpha/2} \cdot \sigma/(n)^{0,5}$   
   ▶  $> 45$  SRT-Einheiten (vgl. Bild 41),
- $\mu < \mu_{\min} - t_{f;1-\alpha/2} \cdot \sigma/(n)^{0,5}$   
   ▶  $< 45$  SRT-Einheiten (vgl. Bild 41).

Die Konfidenzintervalle für das ViaFriction wurden aufgrund von fehlenden Erfahrungen hinsichtlich der Präzision mit der im Rahmen der Untersuchungen ermittelten Standardabweichung berechnet. Dieses bedeutet, es liegt keine A-priori-Standardabweichung der Grundgesamtheit vor, sodass nach BENNING (2002) die t-Verteilung für die Berech-



**Bild 41:** Erläuterung des Bewertungsprinzips: hellgrauer Bereich: Griffigkeit > 45 SRT-Einheiten, dunkelgrauer Bereich: < 45 SRT-Einheiten, weißer Bereich: zusätzliche Messungen mit kontinuierlich messenden Verfahren oder ersatzweise SRT-Messungen

nung der Konfidenzintervalle heranzuziehen ist. Für die Messungen mit dem ViaFriction im Rahmen der Hauptversuche ergab sich demnach über alle Geschwindigkeiten (40-80 km/h) sowie über alle ausgewerteten 10-m-Messabschnitte eine maximale Standardabweichung von 0,04 (Maximum bei 60 km/h, vgl. Tabelle 34, gerundete Werte). Die Standardabweichung je Geschwindigkeit wurde dabei aus den Einzel-Standardabweichungen der 10-m-Abschnitte, die jeweils aus mindestens 5 Messfahrten berechnet wurden, durch Mittelwertbildung bestimmt. Dieses bedeutet, dass je Geschwindigkeit maximal 72 Einzel-Standardabweichungen der 10-m-Messabschnitte, die aus mind. 5 Messfahrten berechnet wurden, für die Mittelwertbildung verwendet wurden (je nach Anzahl der auswertbaren Messabschnitte kann die Anzahl geringer sein – vier Griffigkeitsstufen je Material bei maximal 9 auswertbaren Messabschnitten Griffigkeitsstufe).

Die im Rahmen der Auswertungen zugrunde gelegte Standardabweichung entsprach damit dem Wert, der auch in dem Entwurf der „Technical Specification CEN/TS 15901-14-2011 (E)“ definiert wurde. Demgemäß ist für 90 % aller Messfahrten eine mittlere Differenz zwischen zwei Messfahrten von 0,04 anzusetzen (bezogen auf ein Messintervall von 10 m – vgl. Tabelle 3 der CEN/TS 15901-14-2009 (E)) [CEN/TS 15901].

v [km/h]	Mittlere Standardabweichung im 10-m-Abschnitt
40	0,03
50	0,03
60	0,04
70	0,03
80	0,02

**Tab. 34:** Mittlere Standardabweichungen beim ViaFriction im 10-m-Abschnitt

Demgegenüber wurde für den GripTester die maximale Abweichung zwischen zwei Einzelmessungen auf einem 100-m-Messabschnitt von  $\pm 0,03$  gemäß der „Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester)“ [FGSV 2007] als Messabweichung definiert.

Beim SKM-Verfahren wurde die auf die jeweiligen 100-m-Einzelwerte bezogene Toleranz zwischen zwei Messfahrten von  $\pm 0,05$  gemäß TP Griff-StB (SKM) [FGSV TP Griff-StB (SKM), 2007] angesetzt. Die Ergebnisse der Analyse gemäß o. g. Vorgehensweise sind in den Tabellen 35-40 dargestellt. Für grafische Darstellungen der Bewertungsbereiche der kontinuierlichen Verfahren in Abhängigkeit der Messgeschwindigkeit wird auf Anhang 9 verwiesen. Hier sind weiterhin auch Gegenüberstellungen der Anforderungen gemäß ZTV M 02 bzw. des



„Leitfaden[s] funktionale Anforderungen an Fahr-  
bahnmarkierungen“ und den jeweiligen Bewer-  
tungsbereichen ( $\mu$ -Unschärfe-, Vertrauens- und  
Verwerfungsbereich) dargestellt.

Die Grenzreibwerte des „ $\mu$ -Unschärfereiches“  
weisen eine zu erwartende starke Abhängigkeit  
von der Messgeschwindigkeit auf (vgl. Tabelle 35  
und Tabelle 36). Die „ $\mu$ -Vertrauensbereiche“ bzw.  
„ $\mu$ -Verwerfungsbereiche“ entsprechen Reibungs-

v [km/h]	ViaFriction		GripTester		SKM	
	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$
40	0,47	0,53	0,42	0,46	0,51	0,57
50	0,44	0,50	0,39	0,43	*	*
60	0,40	0,46	0,34	0,38	0,41	0,47
70	0,35	0,41	0,31	0,35	*	*
80	0,30	0,36	0,25	0,29	*	*

\* keine Messungen durchgeführt

**Tab. 35:** Definition des „ $\mu$ -Unschärfereichs“ bei einer Min-  
destgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M  
[FGSV ZTV M 02, 2002]

v [km/h]	ViaFriction		GripTester		SKM	
	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$	$\leq \mu \leq$
40	0,54	0,60	0,50	0,54	0,59	0,65
50	0,50	0,56	0,45	0,49	*	*
60	0,45	0,51	0,39	0,43	0,47	0,53
70	0,41	0,47	0,36	0,40	*	*
80	0,35	0,41	0,30	0,34	*	*

\* keine Messungen durchgeführt

**Tab. 36:** Definition des „ $\mu$ -Unschärfereichs“ bei einer Min-  
destgriffigkeit von 50 SRT-Einheiten als „Übergabe-  
wert“ gemäß dem Diskussionspapier „Leitfaden funk-  
tionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen“  
[FASA 2010/Juni; 2010]

v [km/h]	ViaFriction	GripTester	SKM
	$\mu <$	$\mu <$	$\mu <$
40	0,47	0,42	0,51
50	0,44	0,39	*
60	0,40	0,34	0,41
70	0,35	0,31	*
80	0,30	0,25	*

\* keine Messungen durchgeführt

**Tab. 37:** Definition des „ $\mu$ -Verwerfungsbereichs“ bei einer Min-  
destgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02  
[FGSV ZTV M 02, 2002]

beiwerten kleiner bzw. größer der in den Tabellen  
dargestellten Grenzreibwerten. Dabei gilt, dass bei  
zunehmender Geschwindigkeit der Verlauf der Re-  
gressionsgeraden zunehmend „flacher“ wird. Hier-  
durch wird die SRT-Bewertungsspanne infolge des  
Unschärfereiches größer. Dieses bedeutet, dass  
mit zunehmender Geschwindigkeit die Bewertung  
der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen unge-

v [km/h]	ViaFriction	GripTester	SKM
	$\mu <$	$\mu <$	$\mu <$
40	0,54	0,50	0,59
50	0,50	0,45	*
60	0,45	0,39	0,47
70	0,41	0,36	*
80	0,35	0,30	*

\* keine Messungen durchgeführt

**Tab. 38:** Definition des „ $\mu$ -Verwerfungsbereichs“ bei einer Min-  
destgriffigkeit von 50 SRT-Einheiten als Übergabewert  
gemäß dem Diskussionspapier „Leitfaden funktionale  
Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen“ [FASA  
2010/Juni; 2010]

v [km/h]	ViaFriction	GripTester	SKM
	$\mu <$	$\mu <$	$\mu <$
40	0,53	0,46	0,57
50	0,50	0,43	*
60	0,46	0,38	0,47
70	0,41	0,35	*
80	0,36	0,29	*

\* keine Messungen durchgeführt

**Tab. 39:** Definition des „ $\mu$ -Vertrauensbereichs“ bei einer Min-  
destgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02  
[FGSV ZTV M 02, 2002]

v [km/h]	ViaFriction	GripTester	SKM
	$\mu <$	$\mu <$	$\mu <$
40	0,60	0,54	0,65
50	0,56	0,49	*
60	0,51	0,43	0,53
70	0,47	0,40	*
80	0,41	0,34	*

\* keine Messungen durchgeführt

**Tab. 40:** Definition des „ $\mu$ -Vertrauensbereichs“ und bei einer  
Mindestgriffigkeit von 50 SRT-Einheiten als Übergabewert  
gemäß dem Diskussionspapier „Leitfaden funk-  
tionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierun-  
gen“ [FASA 2010/Juni; 2010]

nauer/unpräziser wird, da ein steilerer Verlauf die SRT-Messergebnisse besser abbildet – die Unterschiede der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen werden besser aufgelöst (vgl. Tabelle 41). Damit steigt auch die „Gefahr“ (Wahrscheinlichkeit) für ergänzende SRT-Messungen zur Präzisierung der kontinuierlichen Messungen bzw. für ergänzende

v [km/h]	$\Delta$ SRT [SRT-Einheiten]		
	ViaFriction	GripTester	SKM
40	4	3	4
50	5	3	*
60	5	4	5
70	6	4	*
80	7	4	*

\* keine Messungen durchgeführt

Tab. 41: SRT-Bewertungsspannen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und des eingesetzten Messverfahrens

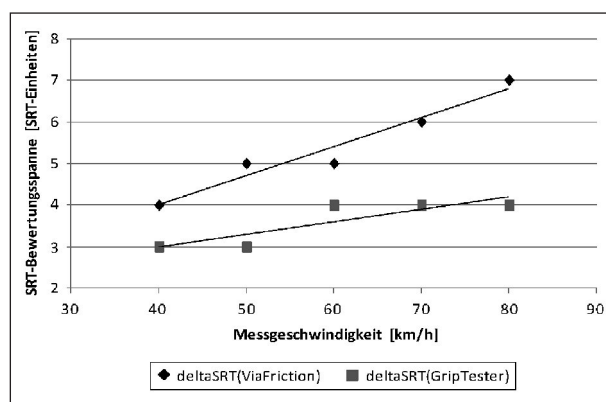


Bild 42: SRT-Bewertungsspanne in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Messungen mit den kontinuierlichen Verfahren, um die Datengrundlage zu erhöhen. Beispielsweise wird bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h beim ViaFriction aufgrund der Messabweichungen eine SRT-Bewertungsspanne von 4 SRT-Einheiten abgedeckt. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h wird demgegenüber bereits eine Bewertungsspanne von 7 SRT-Einheiten abgedeckt (vgl. Tabelle 41, Bild 42 und Bild 43). Berücksichtigt werden muss bei dieser Bewertung allerdings die Messgenauigkeit des Verfahrens. Diese wird gemäß DIN EN 13036-4:2011 „Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest“ [DIN EN 13036-4, 2011] mit 2,6 SRT-Einheiten angegeben. Dementsprechend ist dies bei der Bewertung der oben dargestellten Ergebnisse zu berücksichtigen.

Dennoch bekräftigen die Ergebnisse die im Rahmen der Vorversuche ausgesprochene Empfehlung, möglichst die geringste Geschwindigkeit für die kontinuierlichen Messungen zu verwenden. Bei höheren Messgeschwindigkeiten sinkt nicht nur die Erfassungsgüte (vgl. Kapitel 10.5 bzw. 11.4), sondern es steigt auch das „Risiko“ (die Wahrscheinlichkeit) für ergänzende SRT-Messungen zur Präzisierung der Griffigkeitsbewertung durch die kontinuierlichen Messverfahren einschließlich kostenintensiver und aufwändiger Abspermaßnahmen bis hin zur vollständigen Sperrung von Fahrspuren. Dabei ist zu beachten, dass ein steilerer Verlauf der Regressionsgeraden die SRT-Messergebnisse besser auflöst. Dieses bedeutet, dass die SRT-Bewertungsspanne, die aufgrund der „Unschärfe“ der

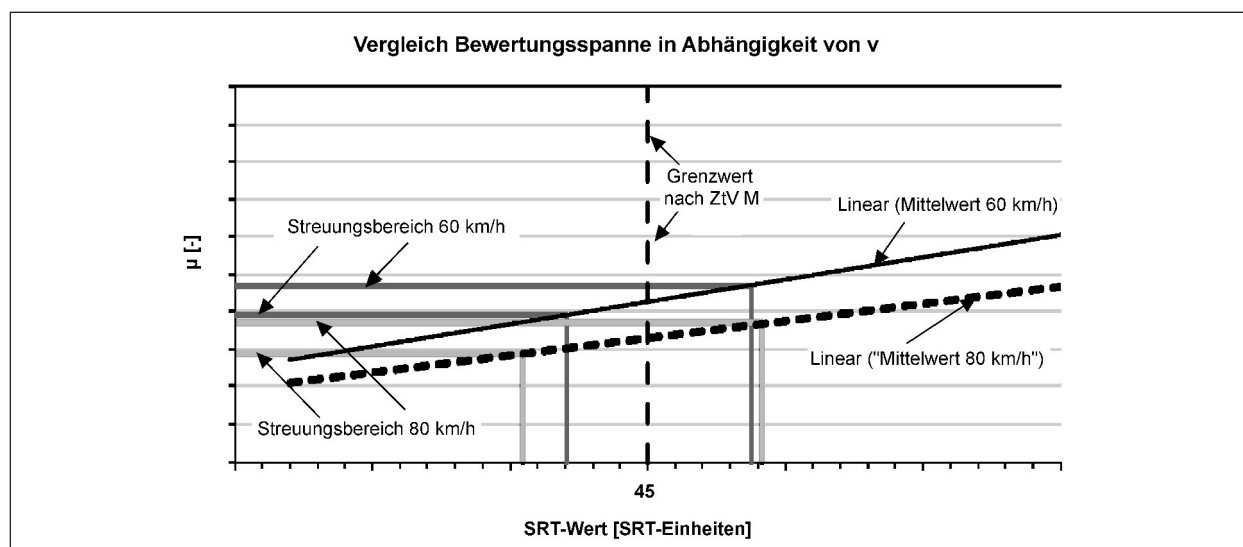


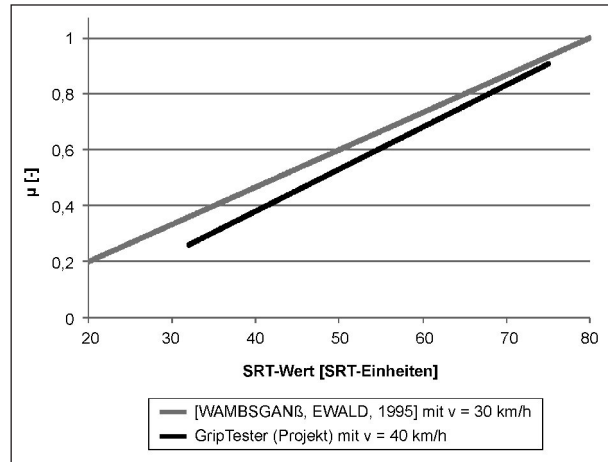
Bild 43: SRT-Bewertungsspanne in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (dunkelgrauer Bereich = 60 km/h, hellgrauer Bereich: 80 km/h)

kontinuierlichen Messverfahren entsteht, deutlich eingeeengt wird – Unterschiede der Griffigkeit der Markierungen werden mit einer „höheren Auflösung“, d. h. einem höheren Detailgrad, abgebildet (vgl. Bild 43).

Um die generelle Legitimität der im Rahmen dieses Projektes definierten minimalen Reibungsbeiwerte („ $\mu$ -Vertrauensbereich“, vgl. Tabelle 37) zu überprüfen, bietet sich ein Vergleich zu den bisherigen Untersuchungen hinsichtlich der kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen an. Insbesondere sind dabei die Untersuchungen aus Darmstadt (1995) [WAMBSGANß, EWALD, 1995] heranzuziehen.

In WAMBSGANß, EWALD [1995] wurden Regressionsgeraden für vier kontinuierlich messende Verfahren hergeleitet. Der GripTester zeigte bei einer Messgeschwindigkeit von 30 km/h die beste Korrelation mit den SRT-Messergebnissen. Der Vergleich zu den Messergebnissen dieses Projektes ist allerdings schwierig, da hierbei mit einer minimalen Messgeschwindigkeit von 40 km/h die Fahrbahnmarkierungen hinsichtlich der Griffigkeit bewertet wurden. Daher ist bei dem Vergleich der Ergebnisse (1995: 30 km/h und 2010: 40 km/h) zu berücksichtigen, dass bei geringerer Messgeschwindigkeit die Reibungsbeiwerte tendenziell größer sind. In Bild 44 ist der Verlauf der beiden Regressionsgeraden (1995-2010) dargestellt. Wie erwartet liegen die Reibwerte von 1995 auf einem höheren Niveau als die im Rahmen des Projektes ermittelten Werte. Die Steigung der Regressionsgeraden ist dabei allerdings nahezu identisch, sodass die Regressionsgeraden einen parallelen Verlauf zeigen. Allerdings ist ungewiss, ob der festgestellte Unterschied des Reibwertes bei einer Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten von  $\Delta\mu = 0,1$  nur auf die größere Messgeschwindigkeit oder auf generelle Abweichungen zurückzuführen ist. Auch ist nicht bekannt, welche Fahrbahnmarkierungen im Rahmen des damaligen Projektes bewertet wurden und ob diese mit den im Rahmen dieses Projektes verwendeten vergleichbar sind. Daher ist ein abschließender Vergleich der Messergebnisse nicht möglich. Es wird allerdings ersichtlich, dass tendenziell ein „vergleichbarer Verlauf“ der Regressionsgeraden auf unterschiedlichem Niveau vorliegt (vgl. Bild 44) [WAMBSGANß, EWALD, 1995].

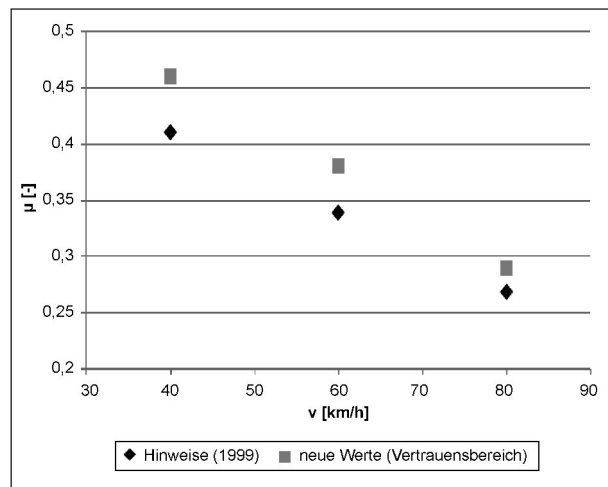
Des Weiteren wurden in den „Hinweisen für Fahrbahnmarkierungen mit erhöhter Nachtsichtbarkeit bei Nässe“ [FGSV, 1999] (durch das ARS 3/2002 aufgehoben) Mindestwerte des Reibungsbeiwertes



**Bild 44:** Vergleich der Mindestreibwerte bei einer Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten beim GripTester [nach WAMBSGANß, EWALD, 1995]

v [km/h]	Mindestwerte $\mu$ (GT) bei SRT $\geq 45$		
	$\mu$ (GT) [-]		$\Delta\mu$ (GT) [-]
	aus Literatur [FGSV, 1999]	aktuelles Projekt	
40	0,41	> 0,46	0,05
60	0,34	> 0,38	0,04
80	0,27	> 0,29	0,02

**Tab. 42:** Vergleich der Mindestwerte beim GripTester bei einer Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M [FGSV ZTV M 02, 2002]



**Bild 45:** Vergleich der Mindestreibwerte bei einer Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten beim GripTester

von Fahrbahnmarkierungen für den GripTester bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten definiert. Diese korrespondieren mit der Mindestanforderung von 45 SRT-Einheiten gemäß DIN EN 1436. Auch hier liefert ein Vergleich erste Hinweise auf die generelle Gültigkeit der definierten Grenzwerte. Der

Vergleich zeigt, dass eine maximale Abweichung der Werte von  $\mu = 0,05$  bei einer Messgeschwindigkeit von 40 km/h vorliegt. Dieses entspricht nahezu der doppelten maximalen Messabweichung von  $\pm 0,03$  gemäß der „Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester)“. Bei größeren Messgeschwindigkeiten ist die Differenz geringer. Allerdings kann die zulässige Messabweichung sowohl auf die Ergebnisse der Literatur [FGSV, 1999] (vgl. Spalte „aus Literatur [FGSV, 1999]“) als auch auf die Ergebnisse der Erhebung im Rahmen dieses Projektes (vgl. Spalte „aktuelles Projekt“ in Tabelle 42) angewendet werden, sodass die Ergebnisse annähernd vergleichbar sind (vgl. Tabelle 42 und Bild 45).

## 11.6 Schlussfolgerung für Agglomerat- bzw. Strukturmarkierungen

Im Rahmen dieses Projektes wurden in Absprache mit dem Auftraggeber nur ebene Fahrbahnmarkierungen betrachtet, um eine qualitativ hochwertige Erfassung der SRT-Werte sicherstellen zu können. Als problematisch wurde bei den Struktur- und Agglomeratmarkierungen die Wiederholbarkeit bzw. die grundsätzliche Messbarkeit mit dem SRT-Pendelverfahren empfunden. D. h., eine exakte Einstellung der Reiblänge bei diesen Fahrbahnmarkierungen wurde aufgrund der Strukturierung (Agglomerate und Strukturmarkierungen) für nicht realisierbar erachtet. Dennoch ermöglichen die herausgearbeiteten Ergebnisse auch Schlussfolgerungen für Agglomerat- bzw. Strukturmarkierungen, da bezüglich derartiger Fahrbahnmarkierungen von einer höheren Griffigkeit als bei ebenen Fahrbahnmarkierungen auszugehen ist. Dies beruht auf der Annahme, dass bei der Applikation von Agglomeraten bzw. strukturierten Markierungen mindestens die gleiche Griffigkeit erreicht wird wie bei vollflächigen und ebenen Markierungen. Vielmehr wird die größere Makrotextur einen Anstieg der Reibungsbeiwerte zur Folge haben. Dieses ist in weiteren Untersuchungen zu belegen.

## 11.7 Zusammenfassung der Hauptversuche

In Ergänzung zu den Vorversuchen wurde im Rahmen der Hauptversuche die Abhängigkeit der Erfassungsgüte von der Geschwindigkeit und der Messstrecke weitergehend betrachtet. Im Rahmen der Vorversuche konnte diesbezüglich keine Ab-

hängigkeit nachgewiesen werden. Da allerdings hierbei eine erhöhte Konzentration der Fahrzeugführer auf der kurzen Messstrecke von 100 m (je betrachtete Breite) und Gewöhnungseffekte nicht auszuschließen waren, wurde diese weitergehende Analyse im Rahmen der Hauptversuche notwendig. Die diesbezüglichen Ergebnisse zeigen, dass die in den Vorversuchen festgestellte Unabhängigkeit, wie vermutet, auf die geringe Messstrecke von lediglich 100 m sowie eine gesteigerte Konzentration und Gewöhnung der Fahrzeugführer zurückzuführen ist. Zudem scheint bei längeren Messstrecken insbesondere die gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer nicht dauerhaft aufrechterhalten werden zu können. Im letzten Griffigkeitsabschnitt (300-400 m) konnte eine deutliche Abnahme der Erfassungsgüte unabhängig von der Geschwindigkeit verzeichnet werden. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse ist die im Rahmen der Vorversuche festgestellte Geschwindigkeitsunabhängigkeit der Erfassungsgüte zu hinterfragen.

Des Weiteren wurden im Rahmen der Hauptversuche anhand von Vergleichsuntersuchungen mit dem SRT-Pendel und drei kontinuierlich messenden Verfahren (ViaFriction, GripTester und SKM) Vergleichswerte für die Einhaltung der Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002] bzw. 50 SRT-Einheiten als „Übergabewert“ gemäß dem Diskussionspapier „Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen“ [FASA 2010/Juni, 2010] hergeleitet. Für jedes kontinuierlich messende Verfahren und für jede Messgeschwindigkeit wurden des Weiteren „ $\mu$ -Vertrauensbereiche“, „ $\mu$ -Unschärfbereiche“ und „ $\mu$ -Verwerfungsbereiche“ unter Berücksichtigung der Messabweichungen der Verfahren definiert (vgl. Bild 34, Bild 41 und Tabelle 35-40.). Hierdurch ist in der Praxis mit den kontinuierlich messenden Verfahren eine Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen „mitschwimmend“ im Verkehr, d. h. bei Geschwindigkeiten von 40-80 km/h, möglich. Lediglich bei Reibwerten innerhalb des definierten „ $\mu$ -Unschärfbereiches“ sind ergänzende Messungen mit den kontinuierlich messenden Verfahren notwendig, um die Datengrundlage in diesen unsicheren Bereichen zu vergrößern und zu einer eindeutigen Bewertung zu kommen. Alternativ wären in diesen Bereichen auch ersatzweise SRT-Messungen vorstellbar, um die Mindestanforderungen zu überprüfen. Allerdings würden hierdurch erhebliche Verkehrsbehinderungen und Absperrmaßnahmen erforderlich werden.



## 12 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes waren geeignete kontinuierlich messende Verfahren zur kontinuierlichen Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen anhand einer Literaturanalyse sowie Praxisversuchen aufzuzeigen. Des Weiteren sollten mögliche Zusammenhänge zwischen diesen Verfahren und den Ergebnissen des gemäß ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002] standardmäßigen Messverfahrens, des SRT-Pendelgeräts, hergeleitet werden. Hiermit sollten die Grundlagen für kontinuierliche Messungen der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen, insbesondere im Hinblick auf Funktionsbauverträge, erarbeitet werden.

Diesbezüglich wurde im Rahmen des Projektes ein vierstufiges Verfahren angewendet. In einem ersten Schritt wurden Anforderungen an eine geeignete Messstrecke definiert und diesbezüglich eine Strecke ausgewählt. Weiterhin wurden im nachfolgenden Schritt geeignete kontinuierlich messende Verfahren auf Grundlage einer Literaturrecherche identifiziert. Im Anschluss wurden benötigte Randbedingungen für eine kontinuierliche Messung im Rahmen von Vorversuchen definiert, auf deren Grundlage im Rahmen von Hauptversuchen Zusammenhänge zwischen den kontinuierlich messenden Verfahren und dem SRT-Pendelverfahren für die betrachteten Fahrbahnmarkierungen hergeleitet wurden.

Die in die Untersuchungen einbezogenen kontinuierlichen Messsysteme – ViaFriction, GripTester und SKM – erwiesen sich grundsätzlich für kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen als geeignet. Allerdings konnten die zuvor definierten Anforderungen an Messsysteme für die kontinuierliche Messung von Fahrbahnmarkierungen nicht vollständig erfüllt werden. Insbesondere die Erfassbarkeit von nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen konnte unter Berücksichtigung notwendiger Übergangsbereiche beim Übergang zwischen Straßenoberfläche und Fahrbahnmarkierung und der Aufzeichnungsfrequenz der Messverfahren nicht bzw. nur bei reduzierter Messgeschwindigkeit realisiert werden. Eine Bewertung von schadhafte oder fehlerhafte Fahrbahnmarkierungen wurde im Rahmen des Projektes nicht vorgenommen, da zum derzeitigen Stand eine Bewertung als nicht realisierbar erscheint.

Durch die Ergänzung der kontinuierlich messenden Verfahren mit einem Videosystem sind diese Berei-

che allerdings einfach zu detektieren und in der späteren Datenauswertung zu berücksichtigen. Auch die Messung der Griffigkeit auf der linken Seite, d. h. auf der Leitlinie zwischen Fahrspuren oder auf der linken Fahrbahnseite, ist mit den ausgewählten Messsystemen nicht bzw. nur eingeschränkt realisierbar. Lediglich mit dem GripTester ist eine derartige Messung durch versetztes Fahren ohne Umbau des Messgerätes möglich, was allerdings erhebliche Absperr- und Sicherheitsmaßnahmen erfordert und zu erheblichen Verkehrsbeeinträchtigungen führen würde. Bei dem ViaFriction-System ließe sich durch einen Umbau des Messsystems auf die linke Fahrbahnseite auch eine Messung in der linken Rollspur realisieren. Dies würde aber erhebliche Umbaumaßnahmen, verbunden mit einer langen Stillstandszeit des Messsystems, erfordern. Auch wäre ggf. eine Messung mit einem umgebauten SCRIM- oder SKM-Messfahrzeug möglich. Dies würde aber auch Umbaumaßnahmen erfordern (in England wird in der linken Rollspur gemessen, in Deutschland allerdings nicht verfügbar).

Daneben erwies sich auch das für die Spurführung eingesetzte Kamerasystem ebenfalls als tauglich. Von einem Einsatz des hier verwendeten einfachen Systems bei späteren Messungen auf öffentlichen Straßen wird allerdings abgeraten, da der Fahrzeugführer bei diesem System in erheblichem Maße vom Verkehr abgelenkt wird. Es wird daher empfohlen, dieses einfache System durch ein halbautomatisches bzw. automatisches Spurführungssystem zu ersetzen. Ein halbautomatisches System könnte beispielsweise durch visuelle oder akustische Signale den Fahrzeugführer bei Korrekturbewegungen unterstützen.

Die Ergebnisse der Vorversuche zeigen, dass sowohl bei dem ViaFriction als auch bei dem GripTester die Qualität der Messungen durch die gleichen Faktoren beeinflusst wird. Die beiden hier betrachteten kontinuierlich messenden Verfahren zeigen ein vergleichbares Verhalten. Insbesondere wurde ersichtlich, dass die Erfassungsgüte der Messungen von der Markierungsbreite abhängt. Eine Abhängigkeit von der Messgeschwindigkeit konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Allerdings konnten hierbei eine erhöhte Konzentration der Fahrzeugführer auf der kurzen Messstrecke von 100 m und Gewöhnungseffekte nicht ausgeschlossen werden, sodass eine weitergehende Analyse der Erfassungsgüte im Rahmen der Hauptversuche notwendig erschien.

Die diesbezüglichen Ergebnisse zeigen, dass die in den Vorversuchen festgestellte Unabhängigkeit, wie vermutet, auf die geringe Messstrecke von lediglich 100 m sowie eine gesteigerte Konzentration und Gewöhnung der Fahrzeugführer zurückzuführen ist. Zudem scheint bei längeren Messstrecken insbesondere die gesteigerte Konzentration der Fahrzeugführer nicht dauerhaft aufrechterhalten werden zu können. Im letzten Griffigkeitsabschnitt (300-400 m) kann eine deutliche Abnahme der Erfassungsgüte unabhängig von der Geschwindigkeit verzeichnet werden. Abhilfe könnte auch hier ein halbautomatisches bzw. automatisches Spurführungssystem schaffen, das den Fahrer bei höheren Geschwindigkeiten zunehmend unterstützt.

Im Rahmen der Hauptversuche konnten anhand von Vergleichsuntersuchungen mit dem SRT-Pendelverfahren und den drei kontinuierlich messenden Verfahren (ViaFriction, GripTester und SKM) Vergleichswerte für die Einhaltung der Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M 02 [FGSV ZTV M 02, 2002] hergeleitet werden. Für jedes kontinuierlich messende Verfahren und für jede Messgeschwindigkeit wurden des Weiteren „ $\mu$ -Vertrauensbereiche“, „ $\mu$ -Unschärfbereiche“ und „ $\mu$ -Verwerfungsbereiche“ unter Berücksichtigung der Messabweichungen der Verfahren definiert. Hierdurch ist in der Praxis mit den kontinuierlich messenden Verfahren eine Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen „mitschwimmend“ im Verkehr, d. h. bei Geschwindigkeiten von 40-80 km/h, möglich. Lediglich bei Reibwerten innerhalb des definierten „ $\mu$ -Unschärfbereichs“ sind ergänzende Messungen mit den kontinuierlich messenden Verfahren notwendig, um die Datengrundlage in diesem unsicheren Bereichen zu vergrößern und zu einer eindeutigen Bewertung zu kommen. Alternativ wären in diesen Bereichen auch ersatzweise SRT-Messungen vorstellbar, um die Mindestanforderungen zu überprüfen. Allerdings würden hierdurch erhebliche Verkehrsbehinderungen entstehen und Absperrmaßnahmen erforderlich werden. Unter Berücksichtigung bisheriger Untersuchungen hinsichtlich der Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen ist festzuhalten, dass im Rahmen dieses Projektes annähernd vergleichbare Ergebnisse bzw. „Grenzwerte“ für eine Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten definiert wurden.

Die im Rahmen des Projektes hergeleiteten Zusammenhänge zwischen SRT-Verfahren und den kontinuierlichen Verfahren gelten nur für die vorlie-

gende Auswertung der Messdaten für SRT-Werte von 45 SRT-Einheiten bzw. 50 SRT-Einheiten und sind in keinster Weise allgemeingültig. Dies wurde durch eine Verdichtung der vorliegenden Datenbasis im SRT-Bereich von 35-55 SRT-Einheiten ermöglicht. Die Werte sind demnach nicht für die Umrechnung von SRT-Messergebnissen zu  $\mu$ -Ergebnissen bzw. umgekehrt heranzuziehen.

Als Ergebnis der jetzigen Untersuchungen ist festzuhalten, dass die kontinuierliche Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen nicht alleinig für die Griffigkeitsbewertung von Markierungen in der Praxis eingesetzt werden sollte. Vielmehr wird empfohlen, vorab die zugrunde liegende Datenbasis auszuweiten. Dabei sind neben weiteren Markierungsmaterialien auch weitere Griffigkeitsstufen zu betrachten. Im Hinblick auf den zunehmenden Einsatz von Strukturmarkierungen oder Agglomeraten erscheint auch die Bewertung der Griffigkeit von derartigen Fahrbahnmarkierungen mit kontinuierlich messenden Verfahren als sinnvoll.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der bisherigen Harmonisierungsversuche zwischen den lokal messenden Verfahren und den kontinuierlich messenden Verfahren wird des Weiteren auch empfohlen die Oberflächentexturen der unterschiedlichen Markierungsmaterialien zu erfassen. Hierdurch könnte die Griffigkeit der Fahrbahnmarkierung aus der Textur hergeleitet werden („Berührungslose Griffigkeitsmessung“). Dadurch ließen sich beispielsweise die Bewertung der Griffigkeit der linken und rechten Fahrbahnrandmarkierung und ggf. eine bessere Erfassbarkeit von nicht-durchgängigen oder schadhafte Markierungen realisieren. Des Weiteren wird empfohlen, die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen auf realen Strecken unter Verkehr über einen längeren Zeitraum zu bewerten. Hierdurch würden Aussagen hinsichtlich der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnmarkierungen möglich. Des Weiteren sind durch nachfolgende Projekte die im Rahmen dieses Projektes definierten Randbedingungen zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.

## Literatur

[BACKHAUS et al., 2006]  
BACKHAUS; ERICHSON; PLINKE; WEIBER: Multivariate Analysemethoden – eine anwendungsorientierte Einführung; Springer-Lehrbuch, 11. Auflage, 2006; Springer Verlag

[BAST, 2008]

BAST, V41 – If (Prüf): Anlage 3 zum Merkblatt für die Anerkennung als Prüfstelle zur Messung der verkehrstechnischen Eigenschaften von Fahrbahnmarkierungen der BAST – Liste der von der BAST zugelassenen Messgeräte für Fahrbahnmarkierungen; 2008

[BENNING, 2002]

BENNING, W.: Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen; Aachen, 2002

[BMVBS, 2008]

BMVBS: Verkehrsinvestitionsbericht 2008; Berlin, 2008

[CEN/TS 15901]

Entwurf der Technical Specification CEN/TS 15901-14:2011: Road and airfield surface characteristics – Part 5: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface using a device with longitudinal controlled slip (LFCRNo): Viatech (Road Analyser and Recorder of ViatechAS); Stand des Entwurfs: 2011-06-09

[DIN EN 1436, 2009]

DIN EN 1436: Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen; 2009

[DIN EN 13036-4, 2011]

DIN EN 13036-4:2011: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest; 2011

[DO et al., 2008]

DO, M.-T.; ROE, P. G.; VOS, E.; GROENENDIJK, J.: WP2 – Harmonisation of skid-resistance methods and choice of reference surfaces – D04 und D05; Tyrosafe (FP7/2007-2013 under grant agreement n°217920); 2008

[DOHMAN, SERRES, 1987]

DOMHAN, M.; SERRES, A.-M.: Fahrbahnmarkierungen mit Nachtsichtbarkeit bei Nässe; Straßenverkehrstechnik, Heft 5, 1987

[DSGS, 2011]

Deutsche Studiengesellschaft für Straßenmarkierungen e. V., www.dsgs.de (Stand: 26.04.2011)

[FASA 2010/Juni; 2010]

Diskussionspapier: Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen; Stand: 29.06.2010; Auszug

[FEHRL, 2006]

FEHRL: Fehrl Report 2006/01 – Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance; Belgien, 2006

[FGSV, 1999]

FGSV: Hinweise für Fahrbahnmarkierungen mit erhöhter Nachtsichtbarkeit bei Nässe; Köln, 1999

[FGSV, 2000]

FGSV: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 1: Grundlagen zur Präzision von Prüfverfahren; Köln, 2000

[FGSV, 2003]

FGSV: Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Erkennen und Behandeln von Ausreißern; Köln, 2003

[FGSV, 2007]

FGSV: Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester), Köln, 2007

[FGSV RMS-1, 1993]

FGSV: Richtlinien für die Markierung von Straßen – Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen (RMS-1); Köln, 1993

[FGSV RMS-2, 1980]

FGSV: Richtlinien für die Markierung von Straßen – Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen (RMS-2); Köln, 1980

[FGSV ZTV M 02, 2002]

FGSV: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M 02); Köln, 2002

[FGSV MB Griff-StB, 2003]

FGSV: Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (MB Griff); Köln, 2003

[FGSV TP Griff-StB (SRT), 2004]

FGSV: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau – Teil Messverfahren SRT (TP Griff-StB (SRT)); Köln, 2004

[FGSV TL M 06, 2006]

FGSV: Technische Lieferbedingungen für Markierungsmaterialien (TL M 06), Köln, 2006

[FGSV TP Griff-StB (SKM), 2008]

FGSV: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren (SKM) (TP Griff-StB (SKM)); Köln, 2008

[FGSV ZTV M xx, 2008]

FGSV: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M xx); Entwurf vom 1.7.2008 (in Bearbeitung)

[FGSV Entwurf MB Griff-StB, 2010]

FGSV: Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (MB Griff); Entwurf 2010, Stand: 17.11.2010; Köln, 2010

[FUCHS, 1996]

FUCHS, M.: Internationaler PIARC-Ringversuch Straßengriffigkeit; Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung Heft 456, Wien, 1996

[GOUBERT, 2006]

GOUBERT, L.: Report of the second round robin test for SRT pendelums and other skidding resistance measuring devices; BAST; Bergisch Gladbach, 2006

[HARLOW, 2005]

HARLOW, A.: Skid Resistance and Pavement Marking Materials; The NZ Roadmarkers Federation Inc., 2005

[HUSCHEK, 1975]

HUSCHEK, S.: Griffigkeit und Verkehrssicherheit auf nasser Strasse; Institut für Strassen- und Untertagebau an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilung Nr. 31 (Forschungsaufträge Nr. 21/70 und 14/72); Zwischenbericht; Zürich, 1975

[HUSCHEK, MERZOUG, 1996]

HUSCHEK, S.; MERZOUG, P.: Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffigkeit; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 735, 1996

[HUSCHEK, 1995]

HUSCHEK, S.: Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe; Straße und Autobahn, Heft 3, Bonn, 1995

[HUSCHEK, 1996]

HUSCHEK, S.: Kennzeichnung der Oberflächenrauheit und deren Einfluss auf die Griffigkeit und die Reifengeräusche; Straße und Autobahn, Heft 6, Bonn, 1996

[JOHN, 1999]

JOHN, D.: Staatshaftung bei unzureichender oder fehlender Fahrbahnmarkierung; Straßenverkehrstechnik, Heft 9, Bonn, 1999

[KLUGER-EIGL et al., 2007]

KLUGER-EIGL, W.; LITZKA, J.; MAURER, P.: Grundlagen zur Griffigkeitsmessung mit dem Grip-Tester; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Heft 566, Wien, 2007

[KLUGER-EIGL, 2009]

KLUGER-EIGL, W.: Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für das Griffigkeitsmesssystem GripTester in Österreich (Dissertation); Wien, 2009

[LUNDKVIST et al., 2008]

LUNDKVIST, S.-O.; JOHANSON, T. C.; NIELSEN, B.: Mobil funktionskontroll av vägmarkeringar; VTI rapport 611; 2008

[LUNDKVIST, NIELSEN, 2009]

LUNDKVIST, S.-O.; NIELSEN, B.: Utveckling av Road Marking Tester – Status RMT version 2; VTI notat 20-2009; 2009

[MAURER, 2007]

MAURER, P.: Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare Pkw-Bremsverzögerungen; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Heft 564, Wien, 2007

[MESEBERG, SELIGER, 1985]

MESEBERG, H.-H., SELIGER, R.: Erläuterungen zu den Anforderungen und Prüfverfahren der ZTV-M; Straßenverkehrstechnik, Heft 3, Bonn, 1985

[MESEBERG, 2003]

MESEBERG, H.-H.: Die neuen Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M 02); Straßenverkehrstechnik, Heft 3, Bonn, 2003

[MESEBERG, 1989]

MESEBERG, H.-H.: Erläuterungen zu den Hinweisen für die Anwendung von Fahrbahnmarkierungen mit erhöhter Nachsichtbarkeit bei Nässe; Straßenverkehrstechnik, Heft 4, Bonn, 1989

[MESEBERG, 1993]

MESEBERG, H.-H.: Verkehrstechnische Eigenschaften von Fahrbahnmarkierungen und ihre Messung; Straßenverkehrstechnik, Heft 6, Bonn; 1993

[OECD, 1984]

OECD: Charakteristische Eigenschaften von Straßendecken – Wechselwirkung und Optimierung; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 446, Bonn, 1984



[PUMMER, 2008]

PUMMER, C.: Untersuchung zur Griffigkeitsmessung mit dem GripTester (Diplomarbeit); Wien, 2008

[SACHS, HEDDERICH, 2009]

SACHS, L.; HEDDERICH, J.: Angewandte Statistik; Springer-Verlag, 13. Auflage, 2009

[SCHMIDT, 2003]

SCHMIDT, J.: Erfassung von jahreszeitlichen Griffigkeitsschwankungen bei Messungen mit dem SKM-Messverfahren (Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE 08.177/2003/GRB)

[van der SLUIS, STEINAUER, 2002]

van der SLUIS, S.; STEINAUER, B.: Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen; Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 841, Bonn, 2002

[WAMBOLD et al., 1995]

WAMBOLD, J. C.; ANTLE, C. E.; HENRY, J. J.; RADO, Z.; DESCORNET, G.; SANDBERG, U.; GOTHIE, M.; HUSCHEK, S.: International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Skid Resistance and Texture Measurements, PIARC Publication n° 01.04.T, Paris, 1995

[WAMBSGANß, EWALD, 1995]

WAMBSGANß, H.; EWALD, J.: Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe (BMV 03.252 G91C: Entwicklung von Anforderungen, Prüfverfahren und -bedingungen in Verbindung mit der Untersuchung von kostengünstigen, geräuscharmen und winterdienstresistenten Markierungssystemen zur Gewährleistung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe); Darmstadt, 1995 (unveröffentlicht)

[[www.kdhighwaysystems.co.uk](http://www.kdhighwaysystems.co.uk)]

Internetseite der KD Highway Systems, Marple, Stockport, SK6 6PQ, UK – Abrufdatum der Seite: 15.05.2012

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2009

V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw  
Schulze, Hübel € 13,00

V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24  
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50

V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen € 26,00

V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50

V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn  
Hausmann € 14,50

V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen  
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50

V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern  
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00

V 183: Bewertungsverfahren für Verkehrs- und Verbindungsqualitäten von Hauptverkehrsstraßen  
Lank, Sümmermann, Steinauer, Baur, Kemper, Probst, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen, Jachtmann, Hebel € 24,00

V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern  
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00

V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit  
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00

V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst  
Badelt, Moritz € 17,00

V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes  
Kirschfink, Aretz € 16,50

## 2010

V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb  
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00

V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen  
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50

V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitwahl  
Lank, Steinauer, Busen € 29,50  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008  
Fitschen, Nordmann € 27,00  
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme  
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen  
Klöckner € 14,50

V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement  
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Londong, Meyer € 29,50

V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung  
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen E 16,00

V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008  
Lensing € 16,50

V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006  
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007  
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen  
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen  
Viets, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

## 2011

V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung  
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit  
Dohmen, Viets, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung  
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009  
Fitschen, Nordmann € 27,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN  
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen  
Becker € 16,00

V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten  
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009  
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

## 2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)  
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete  
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB  
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren  
Schmellekamp, Tegethof  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter  
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)  
Lippold, Weise, Jählig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen  
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen  
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter  
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

## 2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie  
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen  
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS  
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010  
Fitschen, Nordmann € 16,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2  
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken  
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst  
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen  
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr  
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr  
Baier, Göbbels, Klemp-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen  
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen  
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme  
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse  
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik  
Lensing € 17,50

## 2014

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe  
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung im Rahmen der KP II – Maßnahmen  
Bund-Länder Arbeitskreis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen  
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

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.