

Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen

FA SV.0003

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen (isac) (Prof. Dr.-Ing. habil. M. Oeser)
 Bearbeiter: Steinauer, B. / Kemper, D. / Oeser, M. / Schacht, A. / Klein, G.M.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
 Abschluss: Mai 2014

1 Problem- und Aufgabenstellung

Funktionsfähige, griffige und gut sichtbare Fahrbahnmarkierungen sind für eine sichere und flüssige Verkehrsführung, besonders in Baustellenbereichen, von überaus großer Bedeutung. Insbesondere unter dem Aspekt der verstärkten Ausschreibung von Baumaßnahmen in Form von Funktionsbauverträgen oder ÖPP-Projekten wird die regelmäßige Überprüfung der Funktions- bzw. Gebrauchseigenschaften des Gesamtbauwerks Straße zunehmend bedeutungsvoller. Das Gesamtbauwerk umfasst dabei alle Ausstattungsmerkmale der Straße wie insbesondere auch die Fahrbahnmarkierungen. 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 die Tages-sichtbarkeit, die Nachtsichtbarkeit (trocken und feucht), die Griffigkeit sowie Schadensmerkmale wie der Verschleiß, eine abweichende Geometrie vom Sollbild und eine Abweichung vom Farbort, erfasst.

Die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen wird gemäß der ZTV M [FGSV ZTV M 02, 2002] mit dem stationären SRT-Pendelverfahren bestimmt, das lediglich eine punktuelle Erfassung der Griffigkeit mit relativ geringem Aufwand ermöglicht. Vorteilhaft sind dabei die geringen Anschaffungs- und Erhaltungskosten sowie die einfache Anwendung und der geringe Platzbedarf während der Messung. Negativ wirken sich allerdings die erheblichen Beeinträchtigungen des Verkehrs (Absperrung des zu untersuchenden Straßenabschnittes), die beträchtliche Gefährdung des Messpersonals auf der Straße sowie die lediglich punktuelle Erfassung der Griffigkeit aus.

Das Ziel dieses Forschungsprojekts bestand somit darin, geeignete kontinuierliche Griffigkeitsmesssysteme zu identifizieren, mit denen die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen kontinuierlich bewertet werden kann. Somit soll eine stetige Erfassung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen "mitschwimmend" im Verkehr ohne aufwendige Absperr- oder Sicherungsmaßnahmen, insbesondere im Hinblick auf Funktionsbauverträge, ermöglicht werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass mögliche Zusammenhänge zwischen diesen Verfahren und den Ergebnissen des SRT-Pendelgeräts hergeleitet werden.

2 Untersuchungsmethodik

Im Rahmen des Projekts wurde ein mehrstufiges Verfahren angewendet, das in einem ersten Schritt die Definition von Randbedingungen für eine geeignete Messstrecke sowie die Auswahl einer Strecke vorgesehen hat. Diese sollte die Applikation von verschiedenen Fahrbahnmarkierungen sowie die Messfahrten im Rahmen der Vor- und Hauptversuche ohne umfangreiche Absperr- oder Sicherheitsmaßnahmen ermöglichen. Weiterhin erfolgte in einer zweiten Stufe die Auswahl geeigneter kontinuierlich messender Verfahren auf Grundlage einer Literaturrecherche. Im dritten Schritt erfolgte im Rahmen der Vorversuche die Analyse möglicher Einflussfaktoren auf die Erfassungsgüte bei der Markierungsüberfahrt sowie die Definition benötigter Randbedingungen für eine kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen. Diese Randbedingungen bilden die Grundlage für Vergleichsuntersuchungen im Rahmen von Hauptversuchen, die das Herleiten von Zusammenhängen zwischen den dynamischen Messsystemen und dem SRT-Pendelverfahren ermöglichen sollten.

3 Auswahl geeigneter kontinuierlich messender Verfahren

Bei der Auswahl der kontinuierlich messenden Verfahren im Rahmen dieses Projekts waren insbesondere nachfolgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Minimale Breite des Messreifens (Reifenlatsch des Messreifens) aufgrund der geringen Markierungsbreite
- Messung der Griffigkeit auch möglichst in der linken Rollspur möglich
- Verfügbarkeit in Deutschland
- Mögliche Messgeschwindigkeit bis 80 km/h
- Hohe Aufzeichnungsfrequenz
- Hohe Präzision des Verfahrens
- Vorhandener Bewertungshintergrund

Auf Grundlage der durchgeführten Analyse der 25 in Europa verfügbaren kontinuierlich messenden Verfahren hinsichtlich der Eignung zur Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen wurden neben dem lokal messenden SRT-Pendelverfahren (Standardverfahren gemäß ZTV M und DIN EN 1436) drei kontinuierlich messende Verfahren (2x LFC-Verfahren (LFC = Longitudinal Friction Coefficient) und 1x SFC-Verfahren (SFC = Sideway-Friction-Coefficient)) ausgewählt:

- ViaFriction
- GripTester
- SKM

Ausgewählt wurden die Messgeräte insbesondere aufgrund ihrer anforderungsgerechten Eigenschaften (Reifenlatschbreite, mögliche Messgeschwindigkeiten, Bewertungshintergrund usw.) und ihrer guten Verfügbarkeit.

4 Auswahl der geeigneten Teststrecke

Im Vorfeld der Untersuchungen galt es weiterhin eine geeignete Teststrecke zu finden, auf der die Applikation von verschiedensten Markierungen unterschiedlicher Griffigkeiten und die Durchführung der Vor- und Hauptversuche möglichst ohne große Absperr- oder Sicherungsmaßnahmen realisiert werden konnte.

Diesbezüglich wurden bei der Auswahl der Messstrecke 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
- 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.

5 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 (durchgängig bzw. nicht-durchgängig) unter Variation der Messgeschwindigkeit möglich ist. Im Rahmen der Vorversuche wurde in Absprache mit dem Auftraggeber das ViaFriction sowie der GripTester eingesetzt. Von einem Einsatz des SKM-Messsystems wurde im Rahmen der Vorversuche abgesehen.

Für die Vorversuche wurden auf der Teststrecke Fahrbahnmarkierungen unterschiedlicher Breite und Ausführung appliziert. Eine Variation der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen erfolgte im Rahmen der Vorversuche nicht. Hierdurch ließen sich die Messbarkeit unterschiedlicher Markierungsbreiten und der Einfluss von nicht-durchgängigen bzw. durchgängigen Fahrbahnmarkierungen auf die Datenerfassung ermitteln. Als Qualitätsmaß wurde hierfür die sogenannte "Erfassungsgüte" herangezogen, die dem prozentualen Anteil der erfassten Markierung im Verhältnis zur Gesamtlänge der Markierung entspricht. Die Güte jeder Markierungsüberfahrt wurde mithilfe eines Kamerasystems sowie dem sogenannten ISAC-DVA (DVA = Digitale Video-Analyse) bestimmt.

Zusammenfassend wurden 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 zu erhalten?
- Ist die Erfassung von nicht-durchgängigen Fahrbahnmarkierungen realisierbar?
- Erfüllen die Mittel der Spurüberwachung, d. h. das entwickelte WEBCAM-System, die gestellten Anforderungen?

Messbedingungen:

- zwei kontinuierlich messende Verfahren (ViaFriction und GripTester)
- Standardschlupfbedingungen (ViaFriction: 20 %; GripTester: 15 ± 1 %)
- vier durchgängige Markierungen mit je einer Länge von 100 m (mit Breiten von 12, 15, 25 und 30 cm)
- zwei nicht-durchgängige Markierungen mit je einer Länge von 100 m (12 cm breit mit einem Verhältnis Strich-Lücke von 4:8 bzw. 15 cm breit mit einem Verhältnis Strich-Lücke von 6:12)
- Keine Variation der Griffigkeit der Markierungen
- Griffigkeitsunterschied zwischen Markierung und Straßenoberfläche: ca. 10 SRT-Einheiten
- fünf Messgeschwindigkeiten (40, 50, 60, 70 und 80 km/h)

Die Untersuchungen im Rahmen der durchgeführten Vorversuche zeigten, dass die Erfassungsgüte der Messungen bei beiden betrachteten kontinuierlichen Messverfahren den gleichen Einflüssen unterlag. Die Güte wurde insbesondere durch die applizierte Breite der Fahrbahnmarkierungen beeinflusst (vgl. Bild 1). Eine Abhängigkeit der Erfassungsgüte von der Geschwindigkeit konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht nachgewiesen werden (vgl. Bild 2). Es wird allerdings erwartet, dass bei einer längeren Messstrecke als im vorliegenden Fall die Erfassungsgüte in Abhängigkeit der Geschwindigkeit deutlich abnimmt, da der Schwierigkeitsgrad für eine qualitativ hochwertige Messung mit steigender Geschwindigkeit deutlich zunimmt.

Weiterhin wurde im Rahmen der Vorversuche festgestellt, dass die Bewertung der Griffigkeit bei nicht-durchgängigen Markierungen unabhängig von der Messgeschwindigkeit mit einem standardmäßigen Verhältnis Strich-Lücke von 4:8 bzw. 6:12 mit den verwendeten kontinuierlich messenden Verfahren nicht realisiert werden kann, da beim Übergang von der Straßenoberfläche zur Fahrbahnmarkierungen "Übergangsbereiche" mit einer Länge von bis zu 10 m (bei $v = 80$ km/h) nicht verwendet werden können. Grundsätzlich ist aber die Bewertung längerer Markierungsabschnitte, die von diesen Standardabmessungen abweichen, mit den Verfahren möglich. Auf Grundlage der o. g. Ergebnisse der Vorversuche wird empfohlen, die Messgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Markierungsbreite und der

Grundform (durchgängig bzw. nicht-durchgängig) gemäß Tabelle 1 zu wählen. Maßgebliches Kriterium für diese Empfehlung ist die festgestellte Erfassungsgüte im Rahmen der Vorversuche sowie erwartete positive Effekte eines noch zukünftig zu entwickelnden automatischen Spurführungssystems auf diese im späteren Betrieb.

Demnach wird empfohlen, bei Messungen auf Bundesautobahnen die vorgeschriebene Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h einzuhalten, um erhebliche Verkehrsbehinderungen und kostenintensive Sicherungsmaßnahmen infolge der Messungen mit

den kontinuierlich messenden Verfahren zu vermeiden. Messungen mit geringeren Geschwindigkeiten sind hier nicht zu empfehlen. 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.

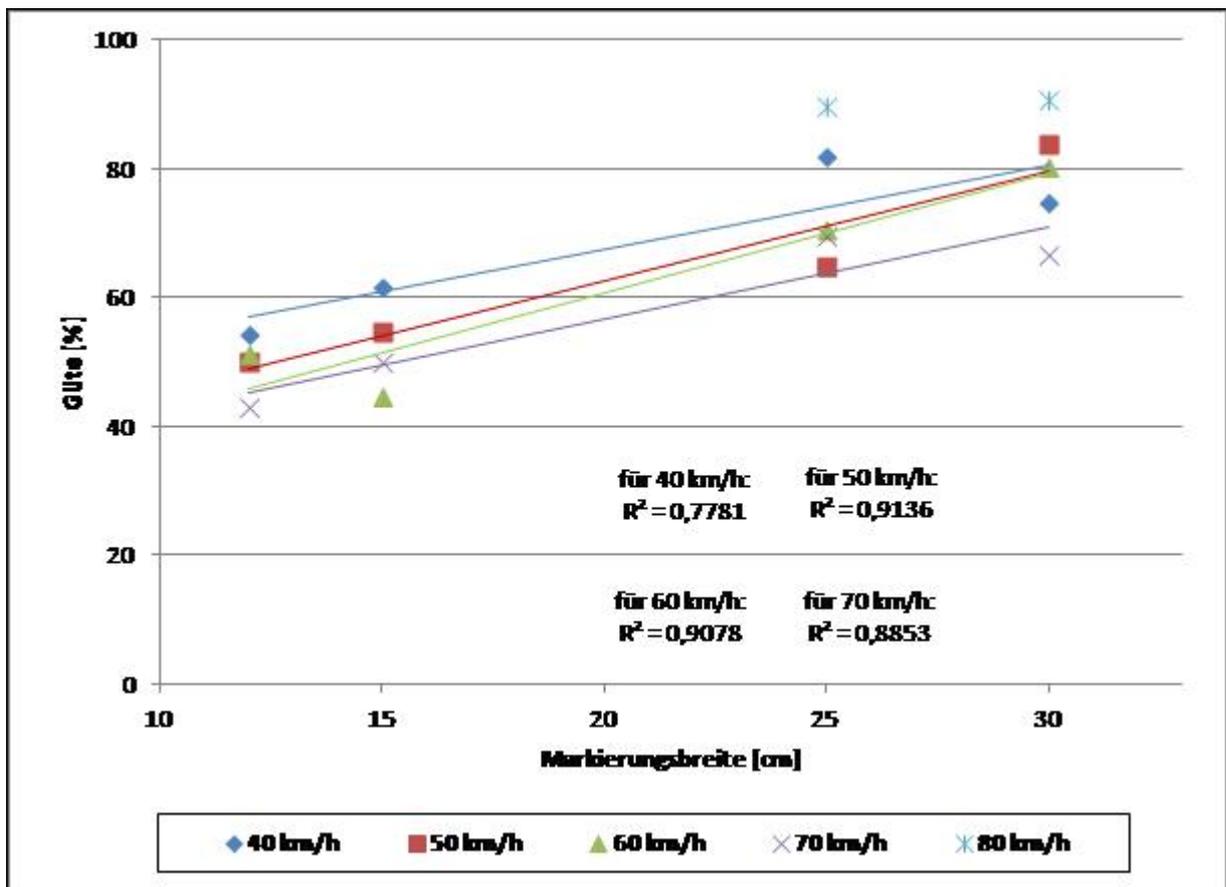


Bild 1: Einfluss der Markierungsbreite auf die Erfassungsgüte am Beispiel des ViaFriction

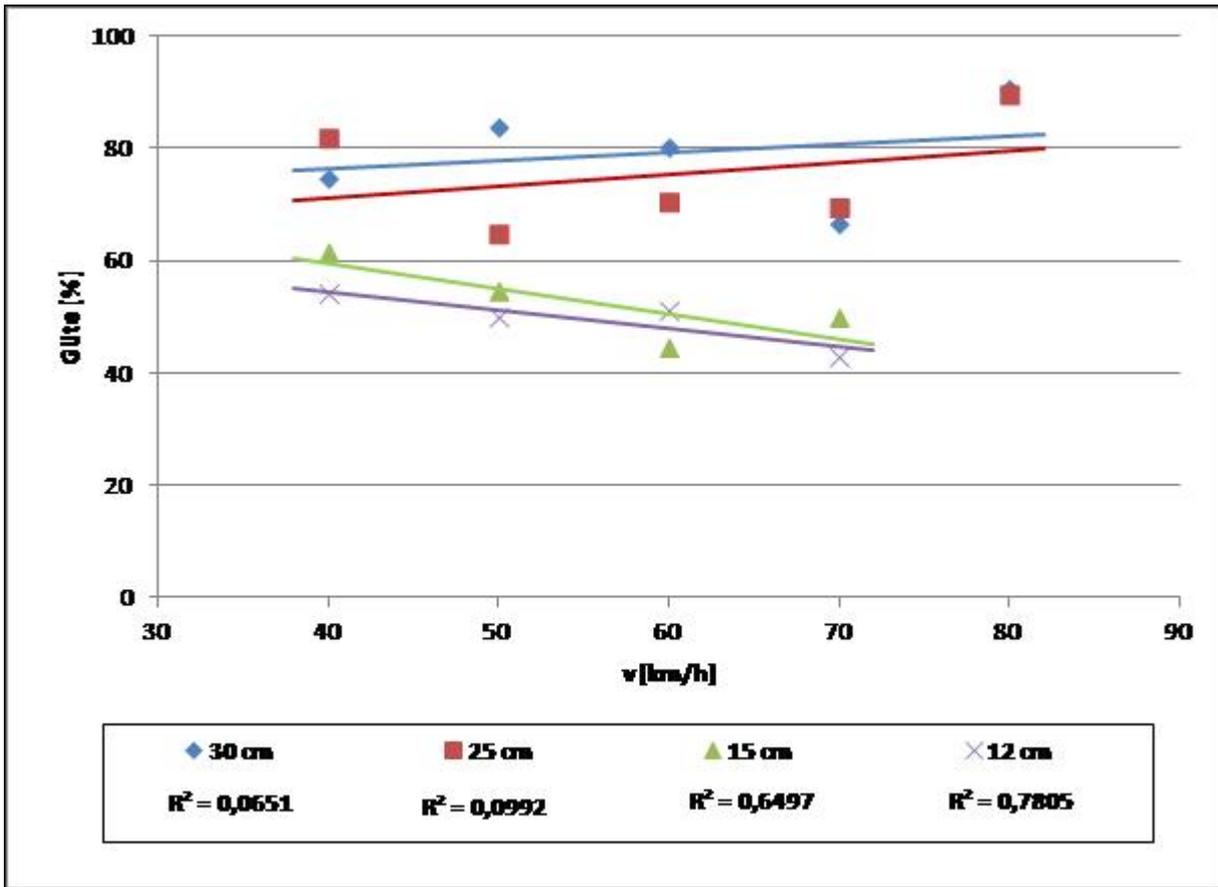


Bild 2: Einfluss der Messgeschwindigkeit v auf die Erfassungsgüte am Beispiel des ViaFriction

Tabelle 1: Empfohlene Messgeschwindigkeiten

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

6 Hauptversuche

Im Rahmen der Hauptversuche galt es, Vergleichswerte zwischen dem lokal messenden SRT-Pendel und den drei betrachteten kontinuierlich messenden Verfahren ViaFriction, GripTester und SKM herzuleiten. Dazu werden Fahrbahnmarkierungen unter Variation der Materialien (Farben, Kaltplastiken und Folien) sowie verschiedenen Griffigkeiten auf der Teststrecke appliziert und deren Griffigkeit bewertet. Die Breite sowie die Ausführung der Fahrbahnmarkierung (durchgängig bzw. nicht-durchgängig) wurde nicht weiter berücksichtigt (bereits in den Vorversuchen untersucht).

In Absprache mit dem Auftraggeber sollten diesbezüglich vier unterschiedliche Griffigkeitsniveaus betrachtet werden. Angestrebt wurde dabei eine Griffigkeitsspanne zwischen 30 und 80 SRT-Einheiten. Es wurde angestrebt, je Material (Farbe, Kaltplastik und Folie) 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 zu applizieren. Allerdings konnte im Rahmen des Projektes bei der Folienmarkierung lediglich eine Griffigkeitsstufe realisiert werden (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: realisierte Griffigkeiten der Markierungen – Hauptversuche nach Beanspruchung

Material	Breite [cm]	Griffigkeitsstufe	SRT-Wert [SRT-Einheiten]
Folie	30	1	63
Farben	30	1	33
		2	39
		3	44
		4	54
Plastikmassen	30	1	32
		2	41
		3	47
		4	75

Messbedingungen:

- drei kontinuierlich messende Verfahren (ViaFriction, GripTester und SKM)
- Standardschlupfbedingungen
- Markierungsbreite 30 cm
- drei Materialien (Farbe, Kaltplastik und Folie)
- vier Griffigkeitsstufen mit je einer Länge von 100 m (bei der Folie lediglich eine Stufe mit einer Länge von 100 m)

- Keine Variation der Markierungsbreite
- fünf Messgeschwindigkeiten (40, 50, 60, 70 und 80 km/h), bei dem SKM-Verfahren nur 40 und 60 km/h

Bei der Auswertung der Messdaten im Rahmen der Hauptversuche ist 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 ist im Rahmen dieser Untersuchung bei verschiedenen Messgeschwindigkeiten herzuleiten. Allerdings sind gemäß [FGSV M BGriff, 2003] durch Griffigkeitsmessverfahren gewonnene Messergebnisse gemittelte Werte, die für die Bewertung der tatsächlichen Verhältnisse herangezogen werden können. Diese Werte gelten nur unter ganz bestimmten, messsystem-spezifischen Voraussetzungen. Ein Vergleich der Messergebnisse unterschiedlicher Messverfahren ist daher vom Grundsatz her problematisch, da in der Regel jedes Messverfahren systemimmanente Eigenarten aufweist. Durch die Berücksichtigung der Oberflächentextur der Fahrbahnmarkierungen wäre, ähnlich der Vorgehensweise im PIARC-Ringversuch (1992) [WAMBOLD, et al., 1995, FUCHS, 1996] 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-Projekts. 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 μ der kontinuierlichen Messverfahren unter Berücksichtigung der Messabweichungen der Verfahren in Abhängigkeit der Messgeschwindigkeit

" μ -Vertrauensbereich":

In diesem Reibwertbereich sind keine zusätzlichen SRT-Messungen durchzuführen, da unter Berücksichtigung der Messabweichungen "sicher" eine Griffigkeit von > 45 SRT-Einheiten gewährleistet ist.

" μ -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 σ ein Erwartungswert $\mu > \mu_{\min}$ (SRT > 45 SRT-Einheiten) vor? ("Vertrauensbereich")

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

Der Erwartungswert μ_{\min} wird 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 werden die beiden o. g. einseitigen Fragestellungen in die nachfolgende zweiseitige Fragestellung überführt:

In welchem Reibwertbereich ist bei einer vorgegebenen Standardabweichung σ keine "sichere" Aussage über den Erwartungswert μ möglich?

Hierdurch ergibt sich ein weiterer Bewertungsbereich. Dieser sogenannte "Unsicherheits- oder Unschärfebereich" definiert den Reibwertbereich der kontinuierlichen Messverfahren, in dem ergänzende SRT-Messungen zur Abschätzung des SRT-Werts zusätzlich zur Messung mit den kontinuierlichen Verfahren durchzuführen sind, da keine "sichere" Aussage mit den kontinuierlichen Messverfahren möglich ist (vgl. Bild 3). Ausgehend von einem Konfidenzniveau von 5 % bei den einseitigen Fragestellungen ist allerdings bei der Berechnung des "Unschärfe-Konfidenzintervalls" ein Konfidenzniveau von $(100 - 5 - 5) = 90 \%$ anzunehmen. Die Grenzen des "Unschärfe-Konfidenzintervalls" entsprechen somit den Grenzen der "Vertrauens- und Verwerfung-Konfidenzintervalle" mit einem Konfidenzniveau von jeweils 95 % (vgl. Bild 4).

Die für die Berechnung der Konfidenzintervalle zugrunde gelegte Standardabweichung der kontinuierlichen Messverfahren ist

im Falle des GripTesters und des SKM-Messverfahrens den jeweiligen Technischen Prüfvorschriften bzw. Arbeitsanleitungen entnommen. Aufgrund fehlender Erfahrungen bei dem ViaFriction wird hierbei die im Rahmen des Projekts ermittelte Standardabweichung von 0,04 verwendet.

Im Rahmen der Analyse der Hauptversuche werden insbesondere die vier Griffigkeitsstufen der Farb- und Kaltplastikmarkierung betrachtet, da diese annähernd "vergleichbare" Oberflächen aufgewiesen haben. Auf eine Einbeziehung der strukturierten Folienmarkierung in die Analyse wird verzichtet, da sich deren Markierungsfläche in deutlichem Maße von den anderen beiden Markierungsmaterialien unterscheidet und lediglich eine Griffigkeitsstufe realisiert werden konnte. Des Weiteren wurden beim SKM-Verfahren nur die Geschwindigkeiten von 40 und 60 km/h betrachtet.

Zur Definition der " μ -Vertrauensbereiche", " μ -Unschärfebereiche" und " μ -Verwerfungsbereiche" wurden für jedes kontinuierlich messende Verfahren und für jede Messgeschwindigkeit Regressionsanalysen der Variablen Reibungsbeiwert (abhängige Variable) und SRT-Wert (unabhängige Variable) durchgeführt. Die Regressionsgeraden als Ergebnis der Regressionsanalyse, wurden im Rahmen dieses Projekts nur für die Berechnung der Mindestreibwerte μ_{\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 4). Diese Geraden stellen allerdings keine allgemein gültige 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 Projekts durch eine Verdichtung der Messdaten, die durch eine diesbezüglich gezielte Applikation der untersuchten Fahrbahnmarkierungen in einem Griffigkeitsbereich von 35-55 SRT-Einheiten erreicht wurde, ermöglicht (vgl. Tabelle 2, dargestellt sind die Griffigkeitsstufen der Fahrbahnmarkierungen nach Belastung).

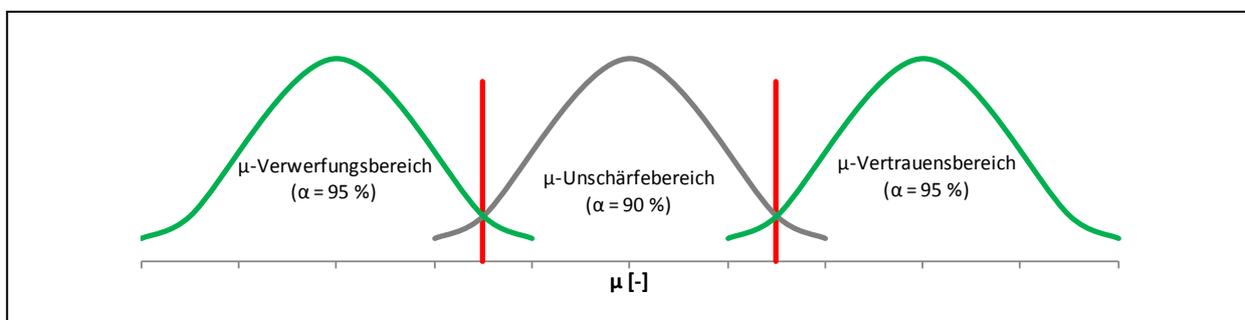


Bild 3: Zusammenhang zwischen zwei einseitigen und einer zweiseitigen Fragestellung

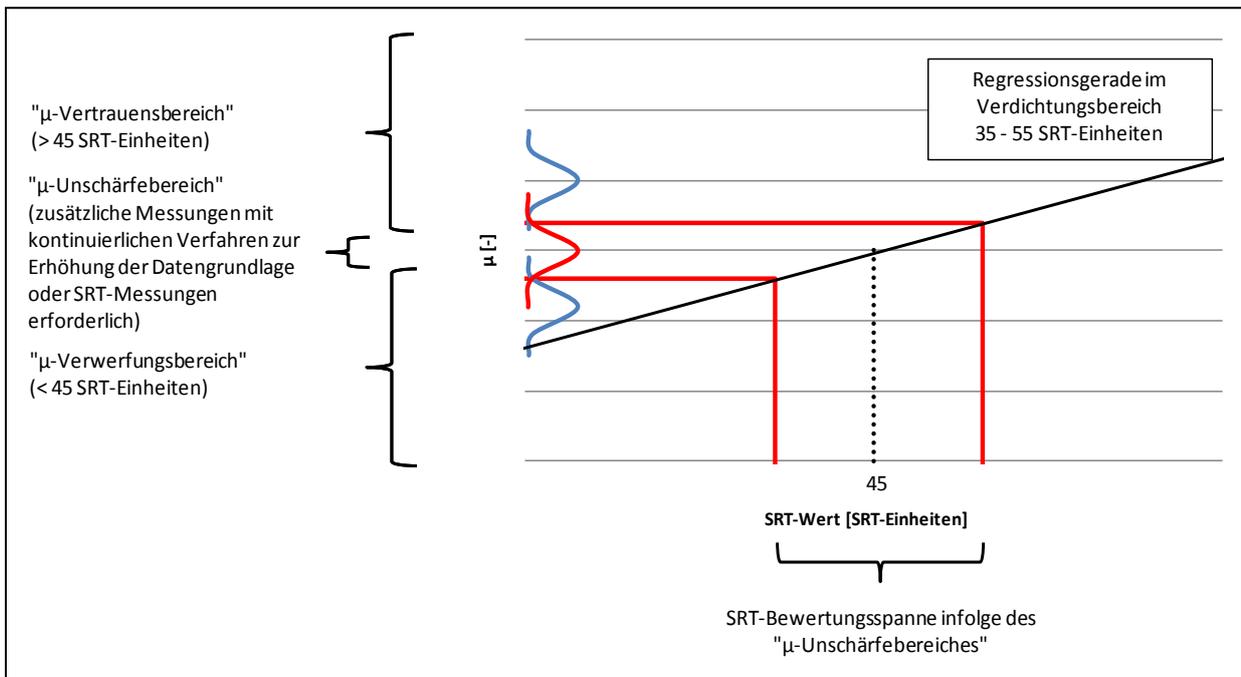


Bild 4: Erläuterung der Auswertemethodik: Definition des "μ-Vertrauensbereiches", des "μ-Unschärfebereiches" und des "μ-Verwerfungsbereiches" infolge der Schwankungen/Streuungen der Messwerte der kontinuierlich messenden Verfahren (Berechnung von Konfidenzintervallen)

Auf Grundlage dieser Regressionsbetrachtung bzw. der ermittelten Mindestreibwerte μ_{min} für eine Griffigkeit von mindestens 45 SRT-Einheiten erfolgte die Berechnung von Konfidenzintervallen für die drei definierten Bewertungsbereiche gemäß der nachfolgend geschilderten Vorgehensweise. Hinsichtlich den in dem Diskussionspapier "Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen" [FASA 2010/Juni; 2010] definierten Übergabewerten für neu applizierte Fahrbahnmarkierungen zum Zeitpunkt der Übergabe wird gleichermaßen verfahren. Auch hier werden für den Übergabewert von 50 SRT-Einheiten "μ-Vertrauens-, μ-Unschärfebereiche und μ-Verwerfungsbereiche" definiert. Zusammenfassend ermöglicht die o. g. Vorgehensweise nachfolgende Schlussfolgerungen im Rahmen des Projekts:

- $\mu > \mu_{min} + t_{f;1-\alpha/2} * \sigma / (n)^{0,5}$
 ► > 45 SRT-Einheiten
- $\mu < \mu_{min} - t_{f;1-\alpha/2} * \sigma / (n)^{0,5}$
 ► < 45 SRT-Einheiten

Die Konfidenzintervalle für das ViaFriction wurden aufgrund von fehlenden Erfahrungen hinsichtlich der Präzision mit der im Rahmen der Untersuchungen ermittelten Standardabweichung berechnet. Dies bedeutet, es liegt keine a priori-Standardabweichung der Grundgesamtheit vor, sodass nach [Benning, 2002] die t-Verteilung für die Berechnung der Konfidenzintervalle heranzuziehen ist. Für die Messungen mit dem ViaFriction im Rahmen der Hauptversuche ergibt 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 3, gerundete Werte). Die Standardabweichung je Geschwindigkeit wird dabei aus den Einzel-Standardabweichungen der 10 m-Abschnitte, die

jeweils aus mindestens fünf Messfahrten berechnet werden, durch Mittelwertbildung bestimmt. Dies bedeutet, dass je Geschwindigkeit maximal 72 Einzel-Standardabweichungen der 10 m-Messabschnitte, die aus mindestens fünf 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 neun auswertbaren Messabschnitten je Griffigkeitsstufe).

Tabelle 3: Mittlere Standardabweichung beim ViaFriction im 10 m-Abschnitt

v [km/h]	Mittlere Standardabweichung
40	0,03
50	0,03
60	0,04
70	0,03
80	0,02

Die im Rahmen der Auswertungen zugrunde gelegte Standardabweichung entspricht 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 Table 3 der CEN/TS 15901-14-2009 (E)). [CEN/TS 15901]

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 Grenzwerte des "μ-Unschärfbereiches" weisen eine zu erwartende starke Abhängigkeit von der Messgeschwindigkeit auf (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5). Die "μ-Vertrauensbereiche" bzw. "μ-Verwerfungsbereiche" entsprechen Reibungsbeiwerten kleiner bzw. größer der in den Tabellen dargestellten Grenzwerten.

Dabei gilt, dass bei zunehmender Geschwindigkeit der Verlauf der Regressionsgeraden zunehmend "flacher" wird. Hierdurch wird die SRT-Bewertungsspanne infolge des Unschärfbereiches größer. Dieses bedeutet, dass mit zunehmender Geschwindigkeit die Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen ungenauer/unpräziser wird, da ein steilerer Verlauf die SRT-Messergebnisse besser abbildet – die Unterschiede der Griffigkeit der Fahrbahnmarkierungen werden besser aufgelöst (vgl. Tabelle 6).

Damit steigt auch die "Gefahr" (Wahrscheinlichkeit) für ergänzende SRT-Messungen zur Präzisierung der kontinuierlichen Messungen bzw. für ergänzende 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 6, Bild 5 und Bild 6). 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 bestätigen 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 sondern es steigt auch das Risiko (die Wahrscheinlichkeit) für ergänzende SRT-Messungen zur Präzisierung der Griffigkeitsbewertung durch die kontinuierlichen Messverfahren einschließlich kostenintensiver und aufwendiger Absperrmaßnahmen bis hin zur vollständigen Sperrung von Fahrspuren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein steilerer Verlauf der Regressionsgeraden die SRT-Messergebnisse besser auflöst. Dieses bedeutet, dass die SRT-Bewertungsspanne, die aufgrund der "Unschärfe" der kontinuierlichen Messverfahren entsteht, deutlich eingengt wird – Unterschiede der Griffigkeit der Markierungen werden mit einer "höheren Auflösung", d. h. einem höheren Detailgrad, abgebildet (vgl. Bild 6).

Tabelle 4: Definition des „μ-Unschärfbereiches“ bei einer Mindestgriffigkeit von 45 SRT-Einheiten gemäß ZTV M [FGSV ZTV M 02, 2002]

v [km/h]	ViaFriction		GripTester		SKM	
	$\leq \mu \leq$					
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

Tabelle 5: Definition des "μ-Unschärfbereiches" bei einer Mindestgriffigkeit von 50 SRT-Einheiten als "Übergabewert" gemäß dem Diskussionspapier "Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen" [FA-SA 2010/Juni; 2010]

v [km/h]	ViaFriction		GripTester		SKM	
	$\leq \mu \leq$					
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

Tabelle 6: SRT-Bewertungsspanne in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

v [km/h]	Δ SRT-Werte [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

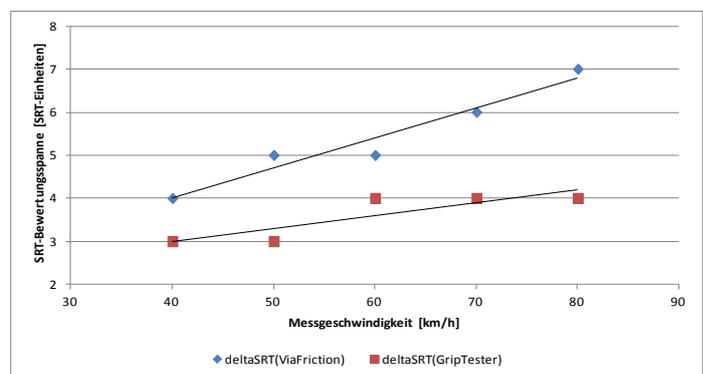


Bild 5: SRT-Bewertungsspanne in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

7 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts waren geeignete kontinuierlich messende Verfahren zur kontinuierlichen Bewertung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen aufzuzeigen und mögliche Zusammenhänge zwischen diesen Verfahren und den Ergebnissen des SRT-Pendelgerätes herzuleiten. Hierdurch sollten die Grundlagen für eine kontinuierliche Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen, insbesondere im Hinblick auf Funktionsbauverträge, erarbeitet werden.

Auf Grundlage einer Literaturrecherche wurden das ViaFriction, der GripTester und das SKM-Messsystem in die Untersuchungen einbezogen. Um Vergleichswerte mit dem Standardbewertungsverfahren herleiten zu können wurden drei verschiedene Markierungsmaterialien (Farbe, Kaltplastik und Folie) mit jeweils vier bzw. einer Griffigkeitsstufe auf einer Teststrecke appliziert und anschließend mit den kontinuierlichen Messsystemen sowie dem SRT-Pendelgerät hinsichtlich der Griffigkeit bewertet. Hierbei konnte eine Griffigkeitsspanne von 30 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 wurde hierbei der Einfluss der Markierungsbreite, der Messgeschwindigkeit sowie der Markierungsart (durchgängig oder nicht-durchgängig applizierte Markierungen) auf die sogenannte "Erfassungsgüte", d. h. die Qualität der Markierungsüberfahrt.

Im Rahmen der Hauptversuche konnten unter Berücksichtigung der Messgeschwindigkeit Vergleichswerte zwischen den kontinuierlich messenden Verfahren hergeleitet werden. Zu diesem Zweck wurden neben Grenzwerten für die Mindestgriffigkeit von Fahrbahnmarkierungen gemäß DIN EN 1436 (Mindestgriffigkeit: 45 SRT-Einheiten) auch "Bewertungsbereiche" für die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen festgelegt, die eine weitergehende Bewertung unabhängig von der Mindestgriffigkeit ermöglichen. Demgemäß wurden sogenannte "Vertrauens-", "Unschärfe-" und "Verwerfungsbereiche" definiert, wodurch der Umfang notwendiger SRT-Messungen für die Bewertung des Griffigkeitszustands von Fahrbahnmarkierungen auf ein Minimum reduziert werden kann. Lediglich im "Unschärfebereich" sind zukünftig ergänzende SRT-Messungen durchzuführen, um die Aussagen der kontinuierlichen Messungen zu präzisieren. Im Vertrauens- oder Verwerfungsbereich sind demgegenüber derartige ergänzende Messungen nicht weiter erforderlich. Für zukünftige Untersuchungen wird gemäß den Ergebnissen dieses Projekts empfohlen, die Datengrundlage durch weitere Markierungsmaterialien und -arten (Thermoplastiken bzw. Strukturmarkierungen und Agglomerate) bzw. Markierungszustände (d. h. Gebrauchszustände) auszuweiten, die Entwicklung eines automatischen Spurführungssystems im Hinblick einer optimalen Erfassungsgüte zu forcieren und die Oberflächentextur der Fahrbahnmarkierungen ggf. zu erfassen und in die Bewertung einfließen zu lassen. Durch die Textur der Fahrbahnmarkierung könnte ggf. zukünftig die Griffigkeit berührungslos hergeleitet werden, wodurch sich beispielsweise die Bewertung der Griffigkeit der linken und rechten Fahrbahnrandmarkierung und ggf. eine bessere Erfassbarkeit von nicht-

durchgängigen oder schadhafte Markierungen realisieren ließe.

Des Weiteren wird empfohlen die Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen auf realen Strecken unter Verkehr über einen längeren Zeitraum zu bewerten. Hierdurch wären Aussagen hinsichtlich der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnmarkierungen möglich. Des Weiteren sind durch nachfolgende Projekte die im Rahmen dieses Projekts definierten Randbedingungen zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.

8 Literaturverzeichnis

- [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 (LFCR_{NO}): ViaFriction (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"; Fassung 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", Fassung 2011
- [FASA 2010/Juni; 2010]: Diskussionspapier "Leitfaden funktionale Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen"; Stand: 29.06.2010; 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 Nachsichtbarkeit bei Nässe"; Köln, 1999, (FGSV 353)
- [FGSV, 2007]: FGSV: "Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC-Messverfahren (GripTester)", Köln, 2007, (FGSV 411)
- [FGSV ZTV M 02, 2002]: FGSV: "Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M 02)"; Köln, 2002
- [FGSV M BGriff-StB, 2003]: FGSV: "Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe (M BGriff)"; Köln, 2003, (FGSV 401)
- [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)
- [FUCHS, 1996]: FUCHS, Michael: "Internationaler PIARC-Ringversuch Straßengriffigkeit"; Bundesministerium für

wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung Heft
456, Wien, 1996

[WAMBOLD, et al., 1995]: WAMBOLD, J.C., ANTLE, C.E.,
HENRY, J.J., RADO, Z., DESCORNET, G., SAND-
BERG, U., GOTHIE, M., HUSCHEK, S.: "International
PIARC Experiment to Compare and harmonize Skid Re-
sistance and Texture Measurements", PIARC Publica-
tion No. 01.04.T, Paris, 1995