

TU

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

UNTERSUCHUNGEN ZUR GRIFFIGKEITS- UND TEXTURMESSUNG

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

o. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c. Johann Litzka

und

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Wolfgang Kluger-Eigl

E233 Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung

eingereicht an der

Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Markus ACHLEITNER

9625930

Schellhamnergasse 14, 1160 Wien

Wien, Juni 2007

.....

Vorwort

Zunächst möchte ich Herrn o.Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Dr.h.c. Johann Litzka und ganz besonders Herrn Univ. Ass. Dipl.-Ing. Wolfgang Kluger-Eigl für die ausgezeichnete und engagierte Betreuung während meiner Diplomarbeit danken.

Den größten Dank möchte ich aber vor allem meinen Eltern aussprechen, die mich zu jeder Zeit gefördert haben und stets Verständnis für meine studentischen Tätigkeiten gezeigt haben.

Abschließend möchte ich mich bei meiner liebevollen Partnerin Barbara bedanken, die die mit dieser Arbeit verbundene zeitliche Belastung erdulden musste.

Kurzfassung

Untersuchungen zur Griffigkeits- und Texturmessung

Einleitend werden die Grundlagen zum Thema Griffigkeit und Textur von Fahrbahnoberflächen beschrieben. In weiterer Folge wird näher auf den Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche eingegangen. Nach einer ausführlichen Diskussion der Einflussfaktoren auf die Griffigkeit werden die in Europa üblichen Messmethoden zur Griffigkeits- und Texturmessung angeführt, wobei vor allem auf die in Österreich verwendeten näher eingegangen wird. Ebenfalls werden die österreichischen Normen bezüglich der Anforderungen an die Griffigkeit und Textur zusammengefasst.

Im Zuge dieser Arbeit wurde in Kooperation mit arsenal research ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt. Dabei wurden Griffigkeitsmesswerte mit den Messgeräten GripTester, RoadSTAR und SRT-Pendel, sowie Texturmesswerte mit dem RoadSTAR und dem Sandfleckverfahren ermittelt.

Nach der Analyse der Messergebnisse wurde versucht, über die gemessenen Reibungsbeiwerte sowie über den berechneten International Friction Index (IFI) eine Korrelation zwischen den Messgeräten GripTester, RoadSTAR und SRT-Pendel herzuleiten. Weiters wurden die Texturmesswerte von RoadSTAR und Sandfleckverfahren verglichen. Zusätzlich wurde versucht die vorhandenen Texturmesswerte mit den vorhandenen Griffigkeitsmesswerten in Beziehung zu bringen.

Abstract

Research on friction and texture measurement

First of all the basics about friction and texture of road surfaces are described. Further on the friction mechanism between tire and road surface is elaborated. After a detailed discussion of the influencing factors on friction, methods of measurement of texture and friction commonly applied in Europe are cited, with special consideration of the ones used in Austria. A summary is given for the Austrian standards concerning the texture and friction requirements.

In the course of this master's thesis an extensive measuring project in cooperation with arsenal research has been accomplished. Friction coefficients were recorded with the measuring devices GripTester, RoadSTAR and Skid Resistance Tester (SRT), as well as the texture with RoadSTAR and Sand Patch Method.

The analysis of the measured data is followed by the discussion whether the measured friction coefficients and the calculated International Friction Index (IFI) indicate potential correlations between the different measuring devices GripTester, RoadSTAR and Skid Resistance Tester. Similar, a comparison was made between RoadSTAR and the Sand Patch Method for the texture data. In addition, the attempt of establishing a relationship between measured friction and texture data was made.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	- 1 -
2	Griffigkeit und Textur von Fahrbahnoberflächen	- 3 -
2.1	<i>Allgemeines</i>	- 3 -
2.2	<i>Begriffsdefinition</i>	- 4 -
3	Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche	- 6 -
3.1	<i>Mechanismus der Gummireibung</i>	- 6 -
3.2	<i>Adhäsionsreibung</i>	- 8 -
3.3	<i>Hysteresereibung</i>	- 11 -
3.4	<i>Gemessener Reibungsbeiwert aus Adhäsions- und Hysteresereibung</i>	- 14 -
3.5	<i>Kohäsionsreibung</i>	- 14 -
3.6	<i>Viskoser Reibkraftanteil</i>	- 15 -
4	Einflussfaktoren auf die Griffigkeit	- 16 -
4.1	<i>Reifen</i>	- 17 -
4.2	<i>Fahrbahn</i>	- 17 -
4.2.1	<i>Textur</i>	- 18 -
4.2.2	<i>Bauweise, Baustoff</i>	- 22 -
4.2.2.1	<i>Asphaltdecken</i>	- 23 -
4.2.2.2	<i>Betondecken</i>	- 24 -
4.2.3	<i>Witterungsverhältnisse</i>	- 26 -
4.2.4	<i>Verkehrsbelastung</i>	- 27 -
4.3	<i>Fahrzeug</i>	- 29 -
4.3.1	<i>Schlupf</i>	- 29 -
4.3.2	<i>Fahrgeschwindigkeit</i>	- 33 -
4.4	<i>Zwischenmedium</i>	- 33 -
5	Messmethoden für die Griffigkeit und Textur	- 37 -
5.1	<i>Allgemeines</i>	- 37 -
5.2	<i>Stationäre Messmethoden</i>	- 38 -
5.2.1	<i>Stationäre Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendelgerät</i>	- 38 -
5.2.2	<i>Stationäre Texturmessmethoden</i>	- 41 -
5.2.2.1	<i>Ausflussmessgerät nach Moore</i>	- 41 -
5.2.2.2	<i>Sandfleckverfahren (Sand Patch Method)</i>	- 44 -

5.3	<i>Dynamische Messmethoden</i>	- 48 -
5.3.1	Dynamische Griffigkeitsmessgeräte.....	- 49 -
5.3.1.1	GripTester	- 51 -
5.3.1.2	RoadSTAR (Road Surface Tester of Arsenal Research)	- 61 -
5.3.1.3	SRM (Stuttgarter Reibungsmesser).....	- 69 -
5.3.1.4	Messanhänger Skiddometer BV 11	- 73 -
5.3.1.5	ROAR (Road Analyzer and Recorder).....	- 75 -
5.3.1.6	SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine).....	- 78 -
5.3.1.7	Mu-Meter Mk6.....	- 82 -
5.3.1.8	MK IV Rear Axle System (Hinterachsen-System)	- 84 -
5.3.1.9	SARSYS Friction Tester (SFT)	- 86 -
5.3.1.10	SARSYS Trailer Friction Tester (STFT).....	- 87 -
5.3.1.11	ADHERA 2	- 88 -
5.3.1.12	T2GO Portable Friction Tester.....	- 89 -
5.3.1.13	VTI Portable Friction Tester	- 90 -
5.3.2	Dynamische Texturmessgeräte	- 91 -
5.3.2.1	RoadSTAR Lasertexturmessungen	- 92 -
5.3.2.2	SCRIMTEX – Lasertexturmessung mit dem SCRIM-Trägerfahrzeug	- 95 -
5.3.2.3	RUGO – Lasertexturmessgerät	- 95 -
5.3.2.4	Road Surface Tester (RST)	- 96 -
5.3.2.5	Texture Meter 2 (TM2)	- 97 -
5.4	<i>Vergleich der Griffigkeits- und Texturmessmethoden – International</i> <i>Friction Index (IFI)</i>	- 98 -
6	Anforderungen an die Griffigkeit und Textur in Österreich	- 100 -
6.1	<i>Allgemeines</i>	- 100 -
6.2	<i>Griffigkeitsanforderungen</i>	- 102 -
6.2.1	Übernahme und Gewährleistung	- 102 -
6.2.1.1	Messgerät und Messanordnung	- 102 -
6.2.1.2	Zeitpunkt der Messungen	- 102 -
6.2.1.3	Grenzwerte.....	- 103 -
6.2.1.4	Mangel bei Übernahme.....	- 104 -
6.2.1.5	Mangel bei Ende der Gewährleistungsfrist.....	- 107 -
6.2.1.6	Messung bei Kleinmaßnahmen	- 107 -
6.2.2	Bauliche Straßenerhaltung	- 107 -
6.2.3	Anforderungen an Bodenmarkierungen	- 108 -
6.2.4	Anforderungen an Zuschläge.....	- 109 -
6.2.4.1	Polierresistenz des Gesteinsmaterials für Asphaltdeckschichten	- 109 -

6.2.4.2	Polierresistenz des Gesteinsmaterials für Betondeckschichten	- 110 -
6.3	<i>Texturanforderungen</i>	- 110 -
6.3.1	Übernahme und Gewährleistung	- 110 -
6.3.1.1	Asphaltdeckschichten	- 110 -
6.3.1.2	Betondeckschichten.....	- 111 -
6.3.2	Bauliche Straßenerhaltung	- 112 -
7	Durchgeführtes Messprogramm	- 113 -
7.1	<i>Beschreibung des Messprogramms</i>	- 113 -
7.2	<i>Übersicht der durchgeführten Messmethoden</i>	- 115 -
7.3	<i>Messstrecken</i>	- 116 -
8	Auswertung der Messdaten	- 118 -
8.1	<i>Statistische Grundlagen</i>	- 118 -
8.1.1	Mittelwert	- 118 -
8.1.2	Standardabweichung	- 118 -
8.1.3	Regressionsanalyse.....	- 119 -
8.2	<i>Griffigkeitsmesswerte</i>	- 121 -
8.2.1	Vergleich GripTester (60 km/h) – RoadSTAR.....	- 121 -
8.2.2	Vergleich GripTester (40 km/h) – RoadSTAR.....	- 123 -
8.2.3	Vergleich GripTester (60 km/h) – GripTester (40 km/h)	- 125 -
8.2.4	Vergleich GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) – SRT-Pendel	- 127 -
8.2.5	Vergleich RoadSTAR – SRT-Pendel	- 128 -
8.3	<i>Texturmesswerte</i>	- 128 -
8.4	<i>Zusammenhang zwischen Griffigkeits- und Texturmesswerten</i>	- 131 -
8.4.1	Vergleich Texturwerte RoadSTAR – Reibungsbeiwerte RoadSTAR.....	- 131 -
8.4.2	Vergleich Texturwerte RoadSTAR – Reibungsbeiwerte GripTester (60 km/h).....	- 132 -
8.4.3	Vergleich Texturwerte RoadSTAR – Reibungsbeiwerte GripTester (40 km/h).....	- 132 -
8.4.4	Vergleich Sandfleckverfahren – SRT-Pendel.....	- 133 -
8.5	<i>International Friction Index (IFI)</i>	- 134 -
8.5.1	Vergleich IFI GripTester (60 km/h) – RoadSTAR.....	- 135 -
8.5.2	Vergleich IFI GripTester (40 km/h) – RoadSTAR.....	- 136 -

8.5.3	Vergleich IFI GripTester (60 km/h) – GripTester (40 km/h).....	- 138 -
8.5.4	Vergleich IFI GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) – SRT-Pendel ..	- 139 -
8.5.5	Vergleich IFI RoadSTAR – SRT-Pendel	- 140 -
8.6	<i>Bewertung der Untersuchungen</i>	- 140 -
9	Zusammenfassung	- 142 -
	Literaturverzeichnis	- 145 -
	Abbildungsverzeichnis	- 152 -
	Tabellenverzeichnis	- 157 -
	Anhang	- 159 -
A	Griffigkeitsmesswerte der einzelnen Messstrecken	- 159 -
B	Texturwerte der einzelnen Messstrecken.....	- 168 -
C	International Friction Index (IFI) der einzelnen Messstrecken.....	- 177 -

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Rahmen der messtechnischen Zustandserfassung von Fahrbahnoberflächen sind Griffigkeits- und Texturmessungen von großer Bedeutung. Die Griffigkeit beeinflusst, vor allem auf nassen Fahrbahnen, die Verkehrssicherheit maßgeblich, denn nur durch ausreichenden Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn kann ein Fahrzeug sicher bewegt werden. Die Griffigkeit ist sehr komplex und neben der Textur von vielen Einflussfaktoren abhängig. Zur Erfassung der Griffigkeit und der Textur bedarf es geeigneter Messmethoden, deren Einfluss auf die Messergebnisse von wesentlicher Bedeutung ist. Mit dem International Friction Index (IFI) werden die Textur der Fahrbahn, die Kalibrierkonstanten für die verwendeten Griffigkeits- und Texturmessmethoden, die Schlupfgeschwindigkeit und die Art des Messreifens (glatt oder profiliert) bei der Bestimmung der Griffigkeit berücksichtigt.

In Österreich werden seit 1991 auf dem österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetz Griffigkeits- und Texturmessungen mit dem Hochleistungsmessgerät RoadSTAR, zur kontinuierlichen periodischen Erfassung des Fahrbahnzustandes, durchgeführt. Ein weiteres standardisiertes Messverfahren zur Messung der Griffigkeit auf Fahrbahndecken ist in Österreich das SRT-Pendel. Als Alternative zum dynamisch messenden Großgerät RoadSTAR und zum stationären SRT-Pendel bietet sich der in Schottland entwickelte GripTester zur Griffigkeitsmessung an. Der GripTester ist ein kompakter Dreiradanhänger zur dynamischen Ermittlung der Griffigkeit im Schlepp- oder Schubbetrieb und soll die beiden genannten Messmethoden ergänzen. Derzeit wird der GripTester nur zu Forschungszwecken verwendet, in der Zukunft soll dieses Messgerät in die technischen Regelwerke zur Griffigkeitsmessung aufgenommen werden. Zur Texturmessung werden in Österreich neben dem Lasertexturmessgerät des RoadSTAR noch die stationären Messmethoden Sandfleckverfahren und Ausflussmessgerät nach Moore verwendet.

Zielsetzung dieser Diplomarbeit ist, die Griffigkeitsmesswerte von RoadSTAR, GripTester und SRT-Pendel gegenüberzustellen und zu vergleichen. Ebenfalls sollen die Texturmesswerte des RoadSTAR und des Sandfleckverfahrens verglichen

werden. Weiters sollen vorhandene Texturmesswerte mit den vorhandenen Griffigkeitsmesswerten in Beziehung gebracht werden. Aus den vorhandenen Griffigkeits- und Texturmesswerten der verschiedenen Messmethoden soll der International Friction Index (IFI) berechnet werden. Mit dem International Friction Index soll gezeigt werden, dass durch die Berücksichtigung verschiedener Parameter die Vergleichbarkeit von Griffigkeitswerten verschiedener Messmethoden verbessert wird.

2 Griffigkeit und Textur von Fahrbahnoberflächen

2.1 Allgemeines

Die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche ist eine maßgebende Einflussgröße für den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn. Sie wird durch den Reibungsbeiwert (siehe Kapitel 2.2) physikalisch quantifiziert. Als Grundlage für die Bewertung der Griffigkeit wird unter Einhaltung konstant gehaltener Messbedingungen ein Reibungsbeiwert in Abhängigkeit von der jeweils gewählten Messmethode (siehe Kapitel 5) gemessen [FGSV, 2003]. Den tatsächlich auftretenden Reibungsbeiwert unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren zu ermitteln ist wichtig, um einen zulässigen Mindestreibungswiderstand mit ausreichender Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer festzulegen. Dieser Wert ist wesentlich für die Entwurfselemente in den Planungsrichtlinien verantwortlich [LITZKA et al., 1988].

Die Fahrbahn muss zusätzlich zu den vertikalen Kräften auch horizontale Kräfte aufnehmen. Beim Betrieb eines Fahrzeuges entstehen diese horizontal gerichteten Kräfte aus Antriebs-, Brems- und Seitenkräften (bei der Kurvenfahrt). Diese Kräfte werden durch Reibung übertragen, die zwischen den Reifen und der Fahrbahnoberfläche auftritt [SCHULZE, 1979]. Der tatsächliche Reibungswiderstand beim Bremsen und Beschleunigen bzw. beim Kurvenfahren kann im Einzelfall allerdings von dem die Griffigkeit kennzeichnenden Reibungsbeiwert abweichen, da die idealisierten Randbedingungen für die Griffigkeitsmessungen (siehe Kapitel 5) in der Praxis nicht immer zutreffen [FGSV, 2003].

Die Griffigkeit kennzeichnet die Wirkung der Textur (Rauheit) und der stofflichen Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche auf den Reibungswiderstand des Fahrzeugreifens unter festgelegten Bedingungen [POTSCHKA, 2001]. Es ist daher unbedingt erforderlich, die Textur bei der Beurteilung der Fahrbahngriffigkeit zu berücksichtigen. Bei der Bestimmung des International Friction Index (IFI) (siehe Kapitel 5.4) wird die Textur der Fahrbahnoberfläche neben den Einflussfaktoren der Griffigkeits- und Texturmessgeräte miteinbezogen. Untersuchungen des internationalen Ringversuchs der Straßengriffigkeit von der Permanent International Association of Road

Congresses (PIARC) ergaben, dass durch die Berücksichtigung dieser Parameter die Vergleichbarkeit der Griffigkeitsmessmethoden verbessert wird [FUCHS, 1996].

2.2 Begriffsdefinition

Der Reibungsbeiwert (auch Reibwert, Reibbeiwert, Reibungswert, Reibungskoeffizient, Reibungswiderstand, oder Kraftschlussbeiwert genannt) ist definiert als der Quotient aus den durch Kraftschluss auf die Fahrbahn übertragenen Horizontalkräften und den gleichzeitig wirkenden Vertikalkräften (siehe Abbildung 2-1) [FGSV, 2001].

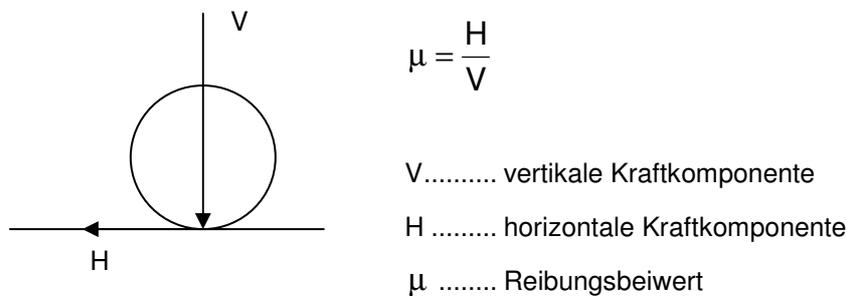


Abbildung 2-1: Definition des Reibungsbeiwertes μ .

Der Begriff Gleitreibungsbeiwert (auch Gleitbeiwert, Gleitwert oder Gleitreibwert genannt) wird in der Messtechnik verwendet. Er bezeichnet jenen Reibungsbeiwert, der mit blockiertem Rad (oder Gummigleitkörper) bei 100% Schlupf gemessen wird [PFEILER, 2004].

Der Polierwert (auch Polierbeiwert oder PSV-Wert (polished stone value) genannt) wird ebenfalls in der Messtechnik verwendet. Er ist ein Maß für den Polierwiderstand von Gesteinskörnungen und wird durch ein Polierverfahren an einer Prüfkörnung bestimmt [PFEILER, 2004].

Unter der Textur (auch Rauheit bzw. Makrorauheit genannt) versteht man die geometrische Feingestalt der Straßenoberfläche, ausgedrückt durch die Wellenlänge

und Amplitude (siehe Kapitel 4.2.1) [PFEILER, 2004]. Die Textur bestimmt die praxisrelevanten Gebrauchseigenschaften der Straßenoberfläche wie Griffigkeit, Sprühfahnenbildung, Reifenrollgeräusch, Reifenverschleiß und Rollwiderstand (siehe Abbildung 2-2) [FLEISCHER, 1995].

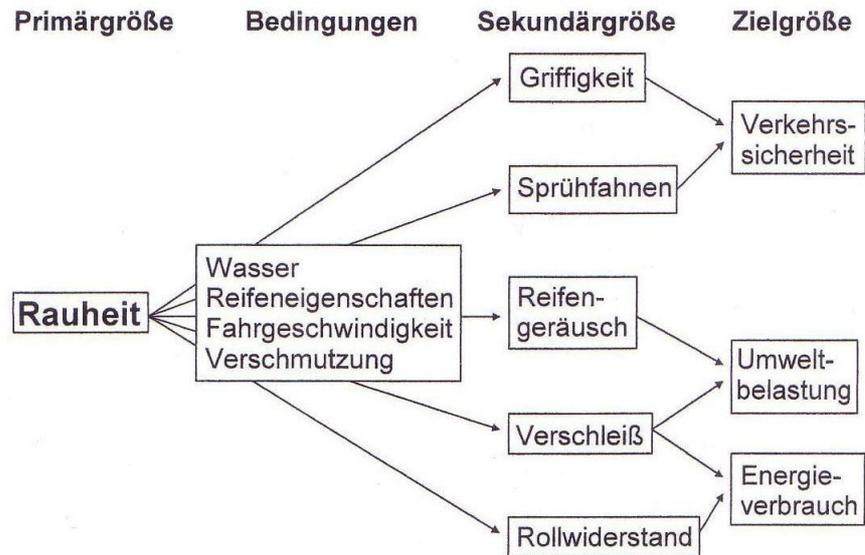


Abbildung 2-2: Auswirkungen der Textur (Rauheit) einer Fahrbahnoberfläche [FLEISCHER, 1995].

3 Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche

Bevor man die Einflussfaktoren auf die Griffigkeit (siehe Kapitel 4) beschreiben kann, wird in diesem Kapitel der Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahn eingehend behandelt. Durch den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn werden die maximal übertragbaren Kräfte über die Reibung in der Reifenaufstandsfläche bestimmt [FGSV, 2001]. Diese Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn ist Teil eines komplexen, vernetzten Gesamtsystems [BACHMANN, 1999].

Betrachtet man nun den Reibungsvorgang zwischen den Reifen und der Fahrbahn etwas genauer, so ist die Reibung von vier Einzelkomponenten abhängig [KUMMER, 1970]:

- Adhäsion (Haftung, Oberflächenkräfte),
- Hysterese (Verformung, Deformation),
- Kohäsion (Reißen und Abrieb bzw. Verschleiß) und
- Viskosität (Scherverhalten eines Zwischenmediums z.B. Wasserfilm).

Die Adhäsions- und die Hysteresereibung sind die beiden Hauptkomponenten bei der Bestimmung des Reibungswiderstandes, während die Kohäsion und die Viskosität eher eine untergeordnete Rolle spielen [KUMMER, 1970].

Um den Vorgang der Kraftübertragung zu erläutern, wird nachfolgend näher auf den Mechanismus der Gummireibung eingegangen.

3.1 Mechanismus der Gummireibung

Zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche gibt es keine Haftreibung im klassischen Sinne („Reibung der Ruhe“), es sei denn im Stillstand (z.B. an einem am Hang abgestellten Fahrzeug). Beim fahrenden Fahrzeug gleiten die Flächenelemente der mo-

mentanen Reifenaufstandsfläche mit geringer Geschwindigkeit (einige mm bis cm je Sekunde). Das Haftverhalten kommt nur deshalb zustande, da immer wieder neue Teilchen der Reifenlauffläche in die momentane Aufstandsfläche eintreten. Die Reifenlaufächenteilchen legen während ihrer Anwesenheit auf der Fahrbahn einen kleinen Gleitweg zurück und heben dann sofort wieder ab. Es herrscht also zwischen Reifen und Fahrbahn immer – und nicht nur im trivialen Fall des blockierten Rades – gleitende Reibung. [SCHULZE, 1979].

Die Abbildung 3-1 zeigt einen gleichmäßig belasteten Gummiblock – oder auch aufzufassen als ein Element der Reifenlauffläche –, der mit der Geschwindigkeit V über eine raue, trockene oder nasse Oberfläche gleitet. Weiters ist die unterschiedliche Wirkungsweise der beiden Hauptkomponenten der Gummireibung Adhäsion und Hysterese schematisch dargestellt [KUMMER et al., 1970].

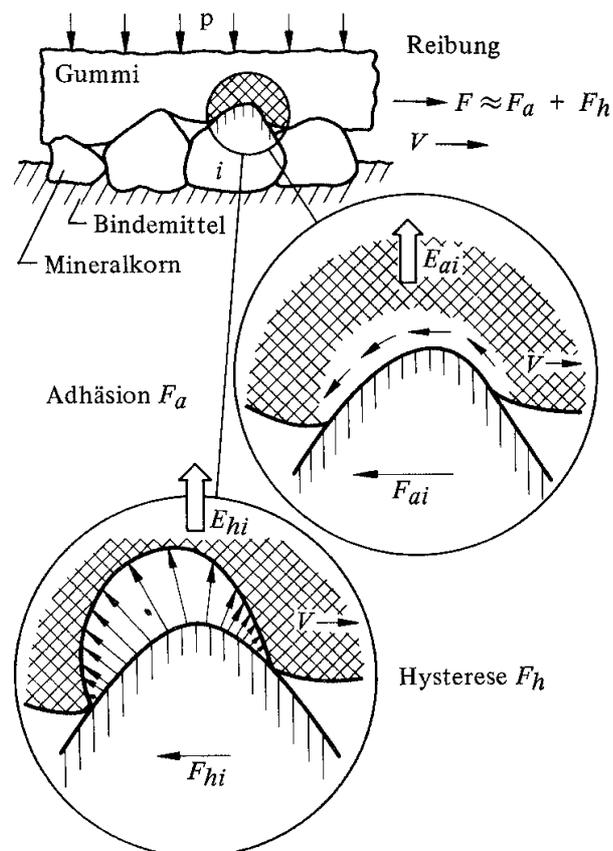


Abbildung 3-1: Die beiden Hauptkomponenten der Gummireibung: Adhäsion und Hysterese [KUMMER et al., 1970].

Bei Abwesenheit von Verschleiß und eines Zwischenmediums setzt sich die Reibungskraft F aus der Adhäsionskraft F_a und der Hysterese kraft F_h zusammen. Diese beiden Reibungsanteile sind wesentlich für die Beurteilung des Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahn und es gilt die Beziehung [KUMMER et al., 1970]:

$$F = F_a + F_h \quad (3.1)$$

F Reibungskraft

F_a Adhäsionskraft (siehe Gleichung (3.2))

F_h Hysterese kraft (siehe Gleichung (3.4))

Bei Reibungsmessungen auf Fahrbahnen treten Adhäsion und Hysterese normalerweise gemeinsam auf, weil keine Fahrbahnoberfläche so glatt ist, dass Hysterese vollkommen ausgeschalten werden kann, und keine Fahrbahnoberfläche so gut „geschmiert“ ist, dass die Adhäsionskomponente gänzlich unbedeutend wird [KUMMER et al., 1970].

Auf trockenen Fahrbahnen wird die Reibung im Allgemeinen maßgeblich durch Adhäsion und Hysterese, auf nassen Fahrbahnen jedoch überwiegend durch Hysterese bestimmt.

3.2 Adhäsionsreibung

Der Reibungsanteil aus Adhäsion (siehe Abbildung 3-1) beruht auf dem Scherverhalten von intermolekularen Bindungen, die sich zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche bilden. Dieser Energieverbrauch wird maßgebend durch ein eventuell vorhandenes Zwischenmedium und durch die Gleitgeschwindigkeit V bestimmt. Eine Gleitbewegung (siehe Abbildung 3-1) zwischen beiden Oberflächen verursacht zunächst eine Dehnung der Polymerketten im Reifengummi, dann ein Reißen der molekularen Verbindungen und schließlich ein Entspannen der Polymerketten bei der Rückkehr in die Ausgangslage, bevor neue Bindungen eingegangen werden. Die Adhäsion ist somit unmittelbar abhängig von der Berührungsfläche und wird daher

auch als Oberflächenkomponente der Reibung bezeichnet. Auf einer glatten, trockenen Fahrbahnoberfläche ist die Adhäsionskomponente der dominierende Anteil der Reibungskraft. Durch einen Wasserfilm in der Kontaktfläche wird die Adhäsion erheblich reduziert [BACHMANN, 1999], [KUMMER et al., 1967].

Die Adhäsionsreibungskomponente F_a wird allgemein als das Produkt aus der Schubspannung s in der Grenzfläche und der tatsächlichen Berührungsfläche A_i des Reifengummis mit dem Rauheitselement i der Fahrbahnoberfläche berechnet (siehe Abbildung 3-1). Daraus ergibt sich für den gesamten Gummiblock, der n Rauheitselemente berührt [KUMMER et al., 1970]:

$$F_a = s \cdot \sum_1^n A_i = s \cdot A \quad (3.2)$$

A Summe der tatsächlichen Teilkontaktflächen

Dividiert man die Adhäsionsreibungskraft F_a durch die Last P , so erhält man den dimensionslosen Adhäsionskoeffizienten f_a nach Gleichung (3.3):

$$f_a = \frac{F_a}{P} \quad (3.3)$$

Die Abbildung 3-2 zeigt die Abhängigkeit des Adhäsionskoeffizienten von der Geschwindigkeit, dem Kontaktdruck und dem Fahrbahnzustand auf einer makroskopisch glatten (glasähnlichen) Oberfläche.

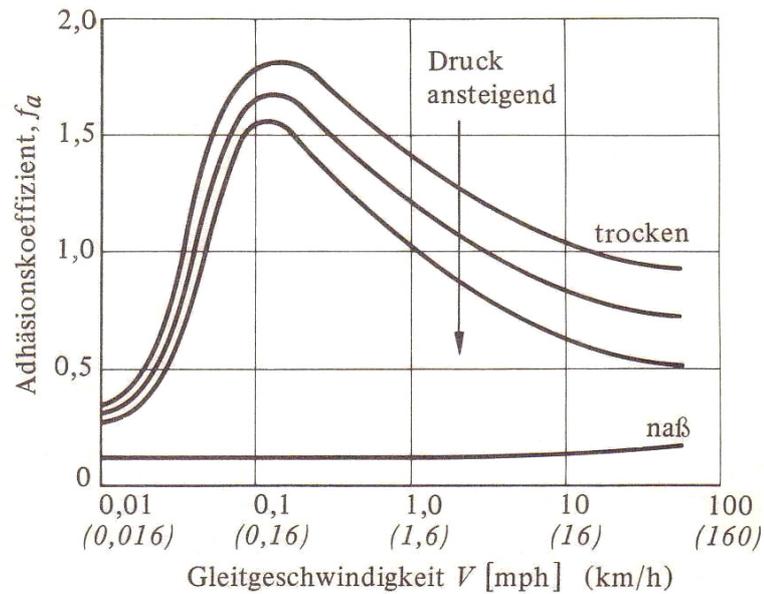


Abbildung 3-2: Typische Adhäsionskoeffizienten für den gleitenden Reifengummi auf makroskopisch glatten Oberflächen [KUMMER et al., 1970].

Nach KUMMER et al. [1970] ergeben sich aus der Abbildung 3-2 folgende Merkmale für den Adhäsionskoeffizienten:

- Auf trockener Oberfläche und bei Gleitgeschwindigkeiten unter etwa 0,16 km/h ist der Adhäsionskoeffizient auf einem niedrigen Niveau.
- Mit zunehmender Geschwindigkeit steigt der Adhäsionskoeffizient schnell an und erreicht bei einer „kritischen“ Gleitgeschwindigkeit ($\sim 0,16$ km/h) das Maximum. Diese „kritische“ Gleitgeschwindigkeit ist stark von der Gummizusammensetzung (visko-elastischen Eigenschaften) und der Temperatur bzw. dem Druck in der Kontaktfläche abhängig.
- Wird die „kritische“ Gleitgeschwindigkeit überschritten, nimmt der Adhäsionskoeffizient wieder ab, was durch das Quietschen der Reifen hörbar ist.
- Der Adhäsionskoeffizient sinkt durch ein vorhandenes Zwischenmedium wie z.B. Wasser oder Öl auf ein sehr geringes, von der Geschwindigkeit unabhängiges Niveau ab. Der drastische Abfall ergibt sich aus der Schwächung der Schubspannung s in der Kontaktfläche, da zwischen Reifen und Fahrbahn kein direkter Kontakt mehr aufgebaut werden kann.

3.3 Hysteresereibung

Der Reibungsanteil aus Hysterese (siehe Abbildung 3-1) beruht auf Dämpfungsverlusten, welche auf die innere Reibung des Reifengummis zurückzuführen sind. Die Hysterese entsteht beim Gleiten eines Gummielementes über ein Rauheitselement durch eine vertikal zur Kontaktfläche erfolgende Deformation des Gummis. Dabei spricht man auch von einem so genannten Fließen des Gummis über die Rauheitselemente der Fahrbahnoberfläche. Die beim Gleiten entstehenden Aufwölbungen am Reifen müssen sich wieder zurückverformen. Die Rückverformung des Gummis erfordert eine bestimmte Zeit, die einerseits von der Dämpfungseigenschaft des Gummis und andererseits von der Größe des sich eindrückenden Rauheitselementes der Fahrbahnoberfläche abhängt. Durch die Dämpfung des Materials erfolgt keine vollständige Rückverformung, sondern es wird ein Teil der dazu benötigten Arbeit in Wärme umgewandelt. Mit zunehmender Geschwindigkeit müssen die Rückverformungen des Reifens schneller erfolgen, und der Gummi beginnt sich auf der „Abflusseite“ von den Rauheitselementen der Fahrbahnoberfläche abzulösen. Aus diesem Grund entsteht die dargestellte unsymmetrische Druckverteilung an den einzelnen Rauheitselementen (siehe Abbildung 3-3) [KUMMER et al., 1970], [BACHMANN, 1999], [SCHULZE, 1979].

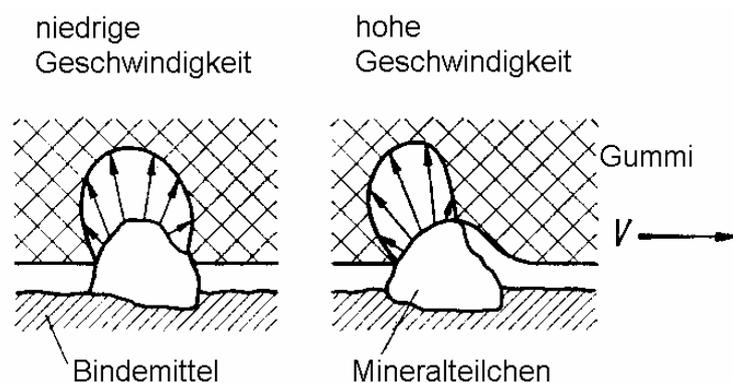


Abbildung 3-3: Der Reibungsmechanismus der Hysterese (Prinzipdarstellung) [SCHULZE, 1979].

Mit steigender Geschwindigkeit nimmt die Größe der Hysteresereibung zu. Aus der Abbildung 3-3 sieht man, dass die horizontale Kraftkomponente, die entgegen der Gleitrichtung auf den Reifen wirkt, mit zunehmender Geschwindigkeit ansteigt. Durch

diesen Anstieg der horizontalen Kraftkomponente der Hysteresereibung kann, bei ausreichender Rauheit der Fahrbahnoberfläche, der Bremsweg bei hohen Geschwindigkeiten verkürzt werden [SCHULZE, 1979].

Die Reibungskomponente der Hysterese F_h wird vereinfacht nach Gleichung (3.4) ermittelt [KUMMER et al., 1970]:

$$F_h = \left(\frac{1}{b}\right) \cdot \sum_1^n E_{hi} = \left(\frac{1}{b}\right) \cdot E_h \quad (3.4)$$

E_{hi} Energieverbrauch pro Rauheitselement

i Anzahl der Rauheitselemente

b Einheit der Gleitlänge

E_h Summe der Energieverbräuche im Inneren des Gummis zufolge
Deformation, hervorgerufen durch n Rauheitselemente

Dividiert man die Reibungskomponente der Hysterese F_h durch die Last P , so erhält man den dimensionslosen Hystereseoeffizient f_h gemäß Gleichung (3.5):

$$f_h = \frac{F_h}{P} \quad (3.5)$$

In Abbildung 3-4 wird der Verlauf des Hystereseoeffizienten f_h für verschiedene Reifengummiarten, die auf einer vollständig mit Schmierfilm bedeckten Oberfläche (zur Ausschaltung der Adhäsion) aus Rundkorn gleiten, dargestellt:

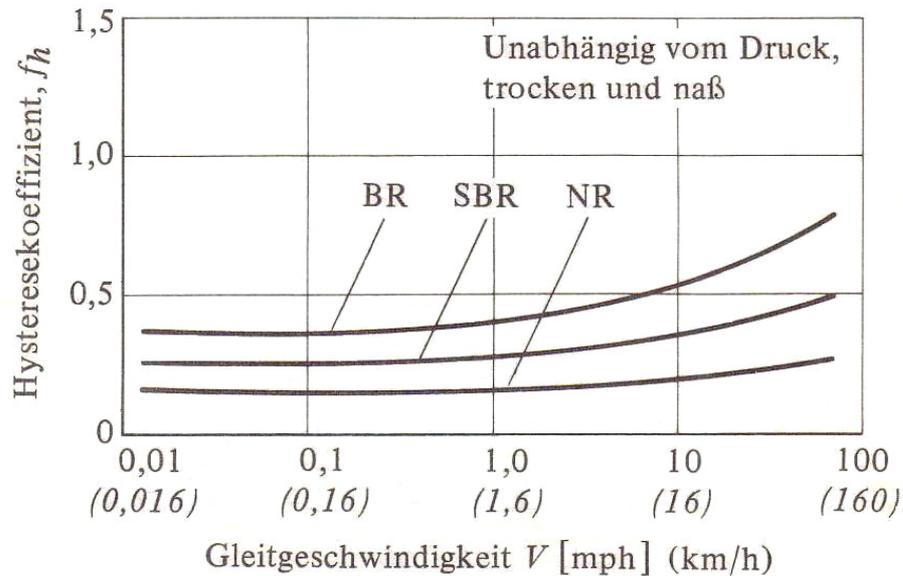


Abbildung 3-4: Hysteresekoeffizienten für verschiedene Reifengummiarten (NR = Naturgummi; SBR = Styrol-Butadien-Gummi; BR = Butyl) [KUMMER et al., 1970].

Die Einflüsse der Gummimischungen von Naturkautschuk (NR) mit geringer Dämpfung, Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) mit mittlerer Dämpfung und Butylkautschuk (BR) mit hoher Dämpfung auf den Hysteresekoeffizienten sind in Abbildung 3-4 dargestellt. Weiters lassen sich nach KUMMER et al. [1970] folgende Zusammenhänge ableiten:

- Der Hysteresekoeffizient zeigt eine geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit in jenem Bereich, in dem der Adhäsionskoeffizient stark von der Geschwindigkeit abhängt.
- Der Hysteresekoeffizient steigt erst bei etwa 80 km/h stark an.
- Mit zunehmender Dämpfung steigt auch der Hysteresekoeffizient, sofern die Gummihärte dadurch nicht verändert wird.
- Der Hysteresekoeffizient unterliegt ähnlich wie der Adhäsionskoeffizient einem Temperatureinfluss. Im Gegensatz zum Adhäsionskoeffizienten nimmt der Hysteresekoeffizient im Geschwindigkeitsbereich für Kraftfahrzeuge bei Erwärmung des Gummis stets ab.
- Vom Kontaktdruck ist der Hysteresekoeffizient praktisch unabhängig.

- Verschmutzung (Schmierfilm) bzw. Wasser und Öl auf der Fahrbahn beeinflussen den Hysterese-Koeffizienten wenig.

3.4 Gemessener Reibungsbeiwert aus Adhäsions- und Hysteresereibung

Die gemessene Reibungskraft bzw. ihre Hauptkomponenten aus Adhäsion und Hysterese werden üblicherweise als dimensionslose Größe angegeben. Sie ist als Verhältnis der Kraft, die dem Gleiten entgegenwirkt, zu der senkrecht auf die Fahrbahnoberfläche gerichteten Normalkraft definiert. Der gemessene Reibungsbeiwert μ enthält somit die Summe des Adhäsions- und Hysterese-Koeffizienten gemäß Gleichung (3.6) [KUMMER et al., 1970]:

$$\mu = f_a + f_h \quad (3.6)$$

μ gemessener Reibungsbeiwert (dimensionslos)

f_a Adhäsionskoeffizient (siehe Gleichung (3.3))

f_h Hysterese-Koeffizient (siehe Gleichung (3.5))

3.5 Kohäsionsreibung

Die Kohäsion definiert jene Kräfte, welche in der Kontaktfläche zu einem Aufräumen oder Herausreißen des Reifengummis (Abrieb) führen. Durch die Kohäsion werden in den meisten Reibfällen die übertragbaren Kräfte jedoch nur vernachlässigbar gering reduziert. Diese Energie- und Reibungsverluste sind auf die ständigen Deformationen im Gummi zurückzuführen. Dadurch kommt es zur Rissbildung und dies führt letzten Endes zum Verschleiß der Reifen. Der Kohäsionsverlust ist maßgeblich von der Temperatur und der Reibflächenbeschaffenheit abhängig [GEYER, 1972].

3.6 Viskoser Reibkraftanteil

Eine viskose Reibungskomponente tritt nur auf, wenn als Zwischenmedium auch ein viskoses Medium (z.B. Wasser, Öl) vorhanden ist, welches auf Scherung beansprucht werden kann. Liegt als Zwischenmedium Wasser vor und kommt es zu Aquaplaning, so liegt reine viskose Reibung vor, bei der nur geringe Kräfte mittels viskoser Scherspannung übertragen werden. Die viskose Reibungskraft für die mögliche Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn ist im Vergleich zur Adhäsion und Hysterese vernachlässigbar klein. Auf eisglatter Fahrbahn oder bei Aquaplaning kann die viskose Reibungskomponente jedoch bestimmend werden [GEYER, 1972].

4 Einflussfaktoren auf die Griffigkeit

Die Griffigkeit ist sehr komplex und von vielen Einflussfaktoren abhängig. Nach Abbildung 4-1 werden die Einflussfaktoren in vier Gruppen eingeteilt [PFEILER, 2004]:

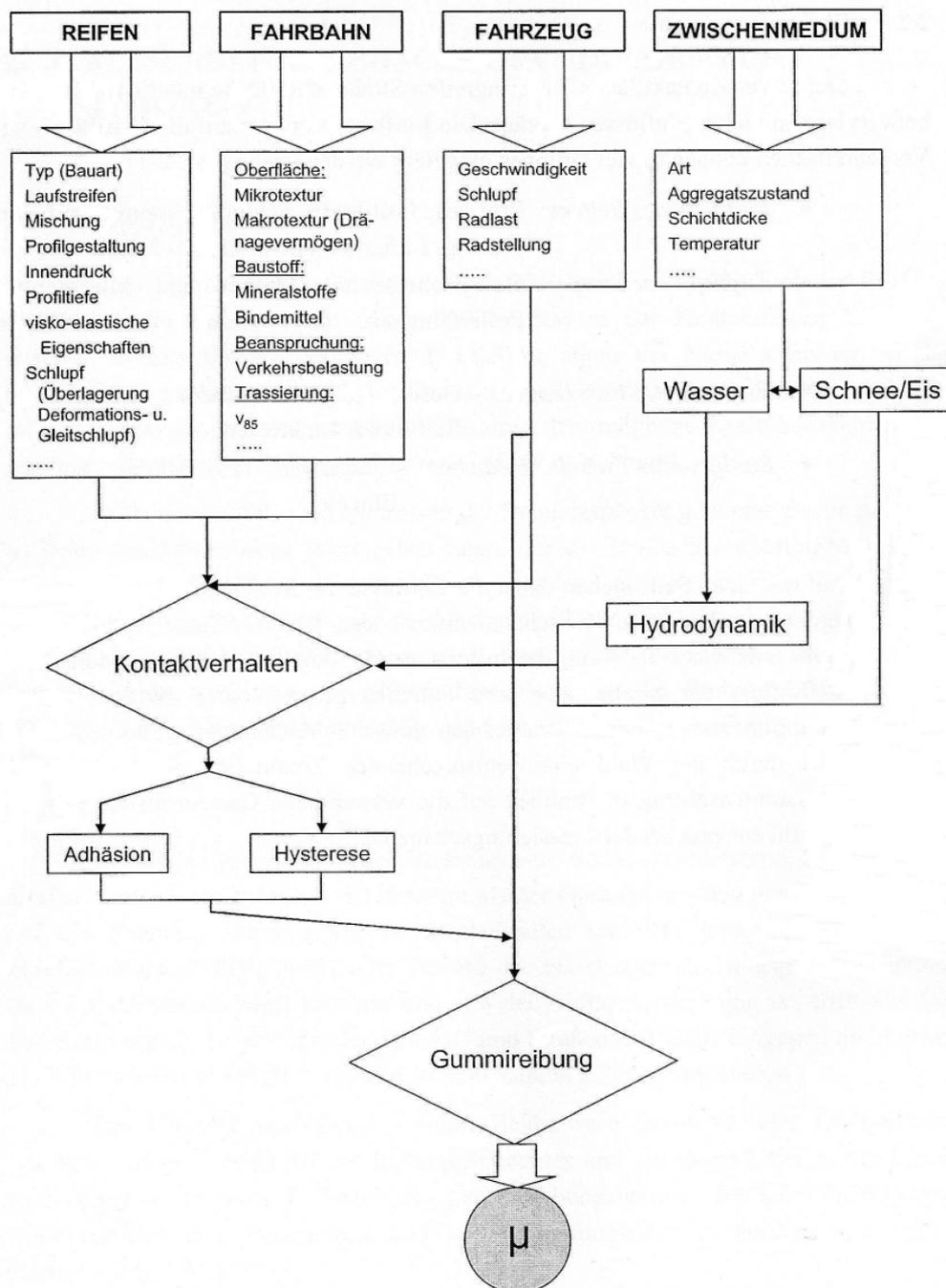


Abbildung 4-1: Einflussfaktoren auf den Reibungsbeiwert μ [PFEILER, 2004].

4.1 Reifen

Der Reifen ist der Reibpartner der Fahrbahn der die teilweise sich widersprechenden Anforderungen Fahrkomfort, Tragfähigkeit, Eignung für hohe Geschwindigkeiten, gute Reibung auf trockener und nasser Fahrbahn, geringer Rollwiderstand, geringer Abrieb und geringe Geräusentwicklung erfüllen soll [KALENDER, 1987].

Als Einflussfaktoren der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn gelten dabei in erster Linie [KALENDER, 1987]:

- Gummimischung der Lauffläche (bestimmen Hysterese und Gummihärte (siehe Kapitel 3.3)),
- Reifenbauart (Diagonal- oder Radialreifen),
- Laufflächenprofil (ist neben der Textur für die Wasserverdrängung maßgebend) und
- Reifeninnendruck (bei zu großem und zu geringem Druck verringert sich das Drainagevermögen, weiters wird die Adhäsion beeinflusst (siehe Kapitel 3.2)).

4.2 Fahrbahn

Der Einflussfaktor Fahrbahn kann durch entsprechende straßenbautechnische Maßnahmen wie etwa durch die Wahl einer entsprechenden Textur, der Optimierung der Gesteinszusammensetzung, der Polierresistenz des Gesteinsmaterials oder durch die Wahl entsprechender Trassierungselemente gesteuert werden [PFEILER, 2004].

Nachfolgend werden die geometrische Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche (Textur), die Einflüsse des gewählten Baustoffes (Asphalt oder Beton) und die Veränderung der Griffigkeit infolge der Witterungsverhältnisse und der Verkehrsbelastung eingehend behandelt.

4.2.1 Textur

Die Textur der Fahrbahnoberfläche ist der entscheidende Einflussfaktor hinsichtlich der Änderung des Reibungsbeiwertes mit der Geschwindigkeit [BREYER, 1983]. Sie ist jedoch keine konstante Größe, sondern sie kann sich im Laufe der Zeit witterungs- (siehe Kapitel 4.2.3) und verkehrsabhängig (siehe Kapitel 4.2.4) verändern [FGSV, 2003].

Die geometrische Feingestalt der Fahrbahnoberfläche wird in die Bereiche Mega-, Makro- und Mikrotextrur eingeteilt (siehe Abbildung 4-2). Im Folgenden wird der Einfluss dieser Texturbereiche auf die Straßengriffigkeit bei nasser und trockener Oberfläche erläutert.

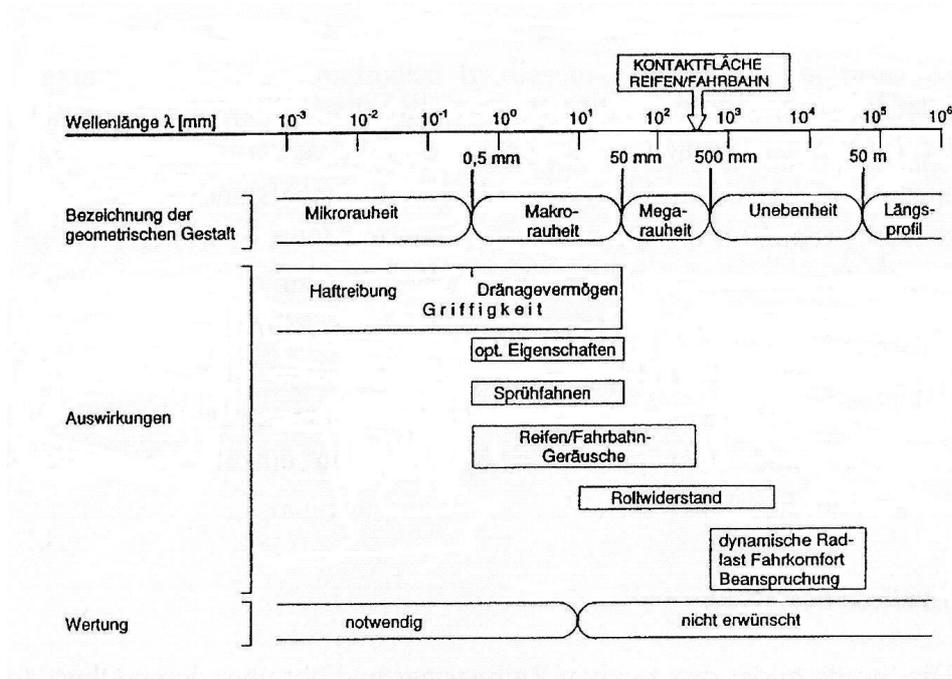


Abbildung 4-2: Wellenspektrum der Fahrbahnoberfläche und Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften [HUSCHEK, 1996b].

Megatextur:

Die Megatextur bzw. Megarauheit besteht nach Abbildung 4-2 aus Rauheitselementen mit einer horizontalen Ausdehnung von 50 mm bis 500 mm und ist für die Längsunebenheit bedeutend. Sie beeinflusst sehr stark das Reifenrollgeräusch, den

Rollwiderstand und die Wasseransammlung infolge Längsunebenheiten [PFEILER, 2004].

Makrotextur:

Die Makrotextur bzw. Makrorauheit wird durch Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung von 0,5 mm bis 50 mm beschrieben (siehe Abbildung 4-2). Dieser Texturbereich ist für das Drainagevermögen der Fahrbahnoberfläche zuständig. Eine ausgeprägte Makrotextur ist durch eine eher grobporige Oberfläche gekennzeichnet und unterstützt das Herausdrücken und Abführen des Wassers aus der momentanen Aufstandsfläche des Fahrzeugreifens. Die Makrotextur hängt stark von der Korngrößenverteilung, dem Größtkorn und der gewählten Deckschichtart ab. Die Griffigkeit wird jedoch nur durch Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung bis 10 mm durch ihre Drainagewirkung beeinflusst [PFEILER, 2004], [FGSV, 2004a]. Weiters werden durch die Makrotextur die praxisrelevanten Gebrauchseigenschaften Sprühfahnenbildung, Reifenrollgeräusch und der Rollwiderstand beeinflusst (siehe Abbildung 4-2).

Mikrotextur:

Die Mikrotextur bzw. Mikrorauheit wird durch Rauheitselemente mit einer horizontalen Ausdehnung kleiner als 0,5 mm beschrieben (siehe Abbildung 4-2). Bei Nässe hat die Textur bis zu einer Größenordnung von 0,01 mm einen sehr großen Einfluss auf die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche. Die Mikrotextur bestimmt im Wesentlichen den Schärfegrad der Fahrbahnoberfläche. Dieser Schärfegrad ist stark von der Kornoberfläche des verwendeten Gesteins abhängig. Die Aufgabe dieses Texturbereiches ist es, einen eventuell vorhandenen dünnen Wasserfilm zu durchbrechen und einen Kontakt zum Reifenprofil herzustellen [PFEILER, 2004], [FGSV, 2004a].

Seitens der Fahrbahnoberfläche wird die Griffigkeit also ausschließlich von der Mikro- und Makrotextur bestimmt, wobei das Drainagevermögen von der Makrotextur abhängt und die Mikrotextur den Schärfegrad bestimmt. Diese beiden Eigenschaften sind voneinander unabhängig und können in beliebigen Kombinationen auftreten. In

Abbildung 4-3 werden Reibungsbeiwert-Geschwindigkeits-Kurven, in Abhängigkeit der Mikrotextur und der Makrotextur, auf neun verschiedenen Modelloberflächen bei Nässe dargestellt.

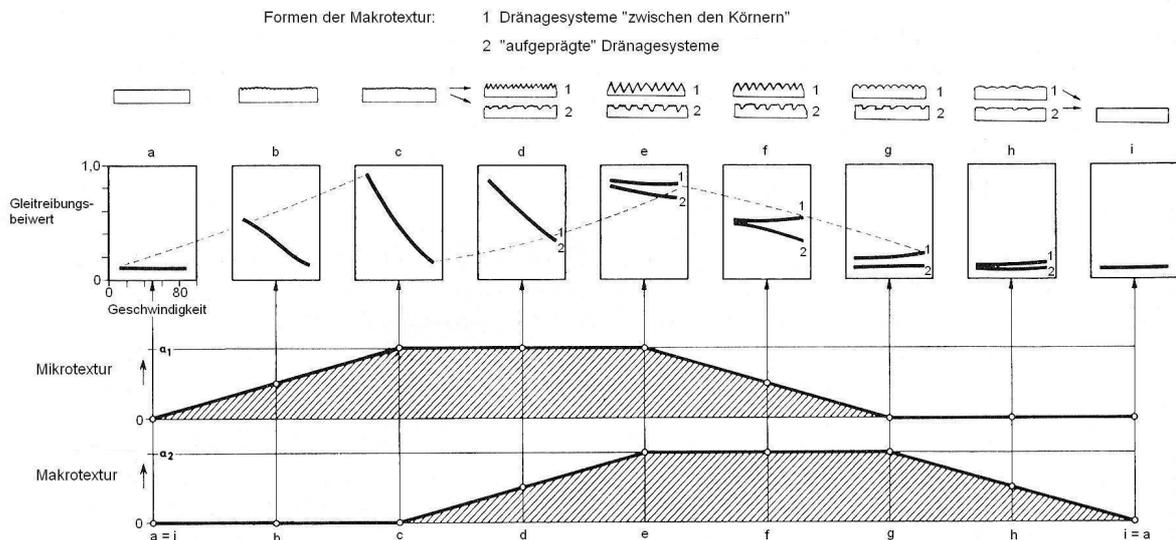


Abbildung 4-3: Reibungsbeiwert-Geschwindigkeits-Kurven in Abhängigkeit der Mikro- und Makrotextur, dargestellt mit Randtypen von Modelloberflächen bei Nässe [SCHULZE, 1979].

Betrachtet man nach SCHULZE [1979] die Abbildung 4-3, so ergeben sich folgende Zusammenhänge:

- Der Gleitreibungsbeiwert wird bei niedrigen Geschwindigkeiten (bis etwa 50 km/h) auf nasser Oberfläche ausschließlich vom Schärfegrad bestimmt, das Dränagevermögen hat keinen Einfluss auf den Gleitreibungsbeiwert.
- Bei höheren Geschwindigkeiten (um 80 km/h) wird der Gleitreibungsbeiwert auf nasser Oberfläche vom Dränagevermögen, jedoch in Abhängigkeit vom Schärfegrad bestimmt.
- Bei konstant hohem Schärfegrad hängt der Gleitreibungsbeiwert von der Geschwindigkeit und vom Dränagevermögen der Fahrbahnoberfläche ab. Der Gleitreibungsbeiwert steigt bei hoher Geschwindigkeit mit zunehmendem Dränagevermögen an.
- Bei konstant hohem Dränagevermögen ist der Gleitreibungsbeiwert von der Geschwindigkeit annähernd unabhängig und wird vom Schärfegrad der Fahr-

bahnoberfläche bestimmt. Ist der Schärfegrad extrem niedrig liegt der Gleitreibungsbeiwert trotz hohem Drainagevermögen auf niedrigem Niveau.

Daraus sieht man die Wechselwirkung zwischen dem Schärfegrad (Mikrotextur) und dem Drainagevermögen (Makrotextur) bezüglich des Gleitreibungsbeiwertes auf nassen Fahrbahnoberflächen.

Im Idealfall der trockenen Fahrbahn ist der Reibungsbeiwert, unabhängig von der Textur und praktisch unabhängig von der Geschwindigkeit, sehr hoch (siehe Abbildung 4-4) [ZIPKES, 1984].

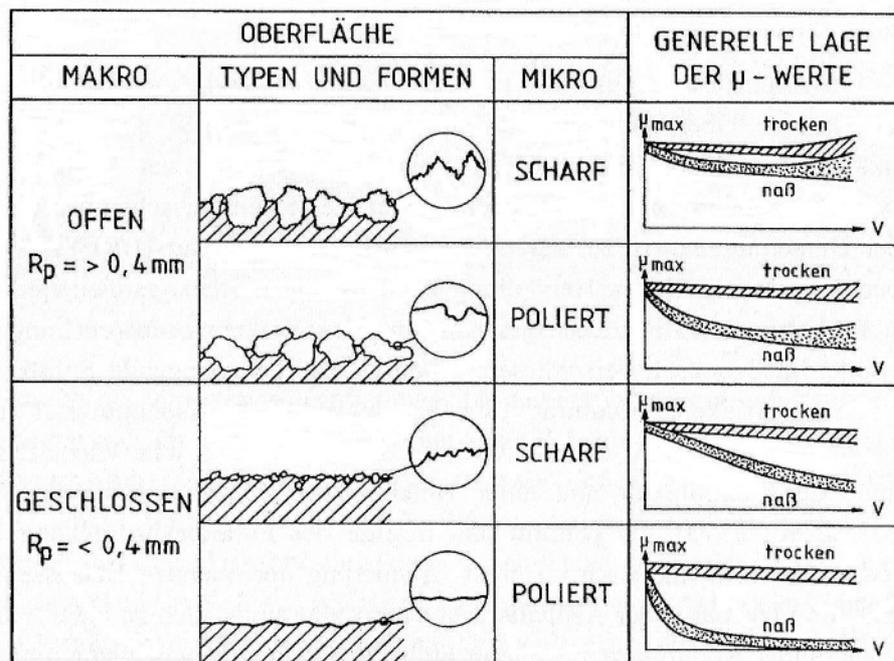


Abbildung 4-4: Auswirkungen der Oberflächentextur auf den Reibungsbeiwert bei trockener und nasser Fahrbahn [ZIPKES, 1984].

Zusammenfassend hat die Textur auf den Gleitreibungsbeiwert und dadurch auch auf die Griffigkeit folgende Einflüsse:

- Bei nassen Fahrbahnoberflächen die nur mit geringen Geschwindigkeiten befahren werden ist der Gleitreibungsbeiwert vom Drainagevermögen (Makrotextur) weitestgehend unabhängig, jedoch liefert ein höherer Schärfegrad (Mikrotextur) der Oberfläche einen höhern Reibungsbeiwert.
- Bei nassen Fahrbahnoberflächen die mit höherer Geschwindigkeit befahren werden hängt der Gleitreibungsbeiwert stärker vom Drainagevermögen (Makrotextur) ab. Eine große Makrotextur hilft das Wasser abzuführen, sodass die Mikrotextur wirken kann. Eine gute Makrotextur ist jedoch nutzlos, wenn die entsprechende Mikrorauheit nicht vorhanden ist.

In der Abbildung 4-5 werden bautechnische Möglichkeiten und Variationen dargestellt, welche die Textur sowohl für Asphalt- als auch für Betondecken steuern [POTSCHKA, 2001].

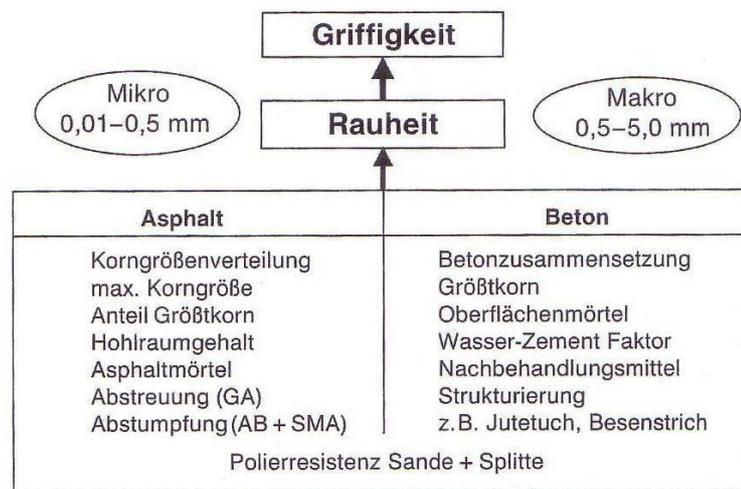


Abbildung 4-5: Bautechnische Einflüsse auf die Textur (Rauheit) [POTSCHKA, 2001].

4.2.2 Bauweise, Baustoff

Die Einflüsse seitens der Baustoffe stellen den wichtigsten Parameter für die Veränderung des Reibungsbeiwertes mit der Zeit dar [BREYER, 1983]. Die Art der Veränderung und die damit verbundenen Auswirkungen unterscheiden sich allerdings je nach Bauweise (Asphalt, Beton) [PFEILER, 2004].

4.2.2.1 Asphaltdecken

Bei Asphaltdecken besteht die Fahrbahnoberfläche nach einer von der Verkehrsstärke und der Witterung abhängigen Einfahrzeit hauptsächlich aus bindemittelfreien Gesteinsoberflächen [VAN DER SLUIS et al., 2002]. Während die polierende Wirkung der Reifen die Mikrotextur verändert, führt ein ungleichmäßiger Verschleiß zwischen den Splittkörnern und der Bindemittelmatrix zu Veränderungen der Makrotextur [BREYER, 1983]. Nach der Herstellung bestimmt zunächst die mit Bindemittel angereicherte Oberfläche die Griffigkeit. Flächenhafte Bindemittelanreicherungen wirken sich stets negativ auf die Griffigkeit aus. Verkehr und Witterung entfernen den Bindemittelfilm auf den Gesteinskörnern an der Oberfläche und das herausragende Splittkorn bestimmt immer mehr die Griffigkeit [PFEILER, 2004], [FGSV, 2004b]. Die Bedeutung der Splittkomponente wird, wenn keine Abstreuerung zur Verbesserung der Anfangsgriffigkeit vorgenommen wird, also erst einige Monate nach der Verkehrsübergabe relevant [VAN DER SLUIS et al., 2002]. Bei starker Poliereinwirkung durch den Verkehr kann die Griffigkeit auf ein Niveau absinken, welches maßgeblich vom Polierwiderstand der Gesteinskörnungen abhängt. Jedoch kann bei geringem Verkehr die aufrauende Wirkung durch die Witterung größer sein als die polierende Wirkung des Verkehrs [FGSV, 2004b].

Nachfolgend werden die wesentlichen Einflüsse der Mischgutzusammensetzung und deren Auswirkungen auf die Griffigkeit erläutert [BERNDT, 1995]:

- Bindemittelanreicherungen an der Oberfläche:
geringere Anfangsgriffigkeit und fehlende Mikrotextur, daher ist ein dünner Bindemittelfilm günstiger als ein dicker; in der warmen Jahreszeit ist viskoses Verhalten an der Oberfläche ungünstiger, in kalter Jahreszeit günstiger;
- Menge und Korngrößenverteilung im Splittbereich:
ein hoher Splittgehalt ist günstig für die Makrotextur;
- Größtkorn:
ein kleineres Größtkorn ist wegen erhöhter Kantenschärfe (Mikrotextur) und größerem Polierwiderstand günstiger;

- Menge der Korngrößenverteilung im Sandbereich:
hoher Brechsandanteil ist wegen der Kantenschärfe günstiger; mehr Grob- und Mittelsand wirken sich ebenfalls günstiger aus;
- Hohlraumgehalt:
durch größeren Hohlraumgehalt ist die Bindemittelanreicherung an der Oberfläche geringer, dadurch jedoch auch eine kürzere Lebensdauer der Deckschicht.

Weiters sollten die Einzelbaustoffkomponenten hinsichtlich der Griffigkeit von Deckschichten folgende Eigenschaften besitzen [BERNDT, 1995]:

- Splitt:
große Härte; geringe Spaltbarkeit; mittelkörnige, richtungslos sperrige, kristalline Textur;
bei Sedimenten: ungleichmäßige Struktur; unterschiedliche Härte und Spaltbarkeit im kristallinen Bereich;
- Sand:
Brechsand; polierresistenter Sand; auch monomineralischer und feinkörniger Aufbau (Quarz);
- Bitumensorte und Füllerart:
haben keine signifikanten Einflüsse.

4.2.2.2 Betondecken

Die oberflächennahen Zonen neuer Betondecken (siehe Abbildung 4-6) durchlaufen nach DAMES et al. [1981] im Laufe der Zeit unter Einfluss von Witterung und Verkehr folgende Griffigkeitsphasen:

- Phase 1 – Anfangsphase: Die nach der Herstellung und ausreichender Erhärtung ermittelte Anfangsgriffigkeit;

- Phase 2 – nachfolgende Phase: Die Griffigkeit, welche durch den Verkehr und die Witterung bis zu einem ersten Beharrungszustand erzeugt wird;
- Phase 3 – anschließender Zeitabschnitt: Die Griffigkeit schwankt längere Zeit unregelmäßig um einen Mittelwert (bestimmend für die Griffigkeit ist im Wesentlichen die Zusammensetzung des Oberflächenmörtels);
- Phase 4: Das langfristige Griffigkeitsniveau, welches sich an der Fahrbahnoberfläche einstellt (Dauergriffigkeit). In diesem Zeitraum sind die groben Zuschläge des Betons ausschlaggebend.

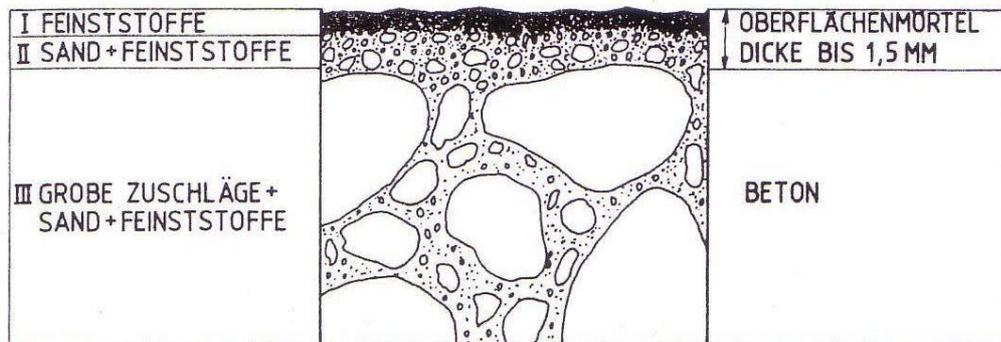


Abbildung 4-6: Oberflächennahe Zonen einer Betonfahrbahndecke [DAMES et al., 1981].

Infolge der verdichtenden und vibrierenden Wirkung der Einbaugeräte bildet sich an der Oberfläche der Betondecke eine etwa 1,5 mm dicke Mörtelschicht aus (siehe Abbildung 4-6). Der oberste Bereich, Zone I, besteht nur aus Feinststoffen ($< 0,063$ mm), das heißt aus Mehlkorn (dazu gehört auch der Zement) und Feinstsand. Dies bestimmt die Anfangsgriffigkeit und wirkt sich ungünstig auf die Griffigkeit aus. Durch Maßnahmen wie den Besenstrich oder das Jutetuch bzw. mit einer Waschbetonoberfläche kann eine Oberflächenstruktur auf der geglätteten Betonoberfläche erzeugt werden, um die Anfangsgriffigkeit zu erhöhen (Phase 1 und 2). Weiters werden durch Witterung und Verkehr die Feinststoffe abgetragen und somit ebenfalls die Anfangsgriffigkeit erhöht. Dadurch wird die Zone II freigelegt, die aus Mörtel, also Sand (vor allem Feinsand < 1 mm) und Zement besteht. Diese Zone wirkt sich in der Regel positiv auf die Griffigkeit aus. Die Sandteilchen bestimmen dann über Jahre hinweg die Griffigkeit, da es lange dauert bis die groben Zuschläge freigelegt sind (Phase 3) [DAMES et al., 1981], [FLEISCHER, 1995], [PFEILER, 2004].

Wenn der Oberflächenmörtel abgefahren bzw. abgewittert ist, wird die Zone III (Abbildung 4-6) und die Griffigkeitsphase 4 erreicht. Durch das starre Korn-Zement-Gefüge bei Betondecken dauert der Vorgang zum Erreichen dieser Zone in der Regel sehr lange. Die eigentliche Zusammensetzung des Betons wird nun maßgebend für das Griffigkeitsverhalten. Es sind die Makrotextur und das Polierverhalten (PSV-Wert) der groben Zuschläge (Splittkomponenten) für die Griffigkeit entscheidend [FLEISCHER, 1995], [PFEILER, 2004].

Seit 1990 wird auf Österreichs höherrangigem Straßennetz vorwiegend die Waschbeton-Bauweise (GK 8 oder 11 mm) zur Bildung der Oberflächenstruktur ausgeführt [STEIGENBERGER, 2003]. Damit herrscht bereits bei der Verkehrsübergabe der Zustand der Zone III.

4.2.3 Witterungsverhältnisse

Die auf einer Fahrbahn gemessene Griffigkeit ist nicht nur von der Deckschichtart bzw. der Mischgutzusammensetzung abhängig, sondern auch von der Witterung und Temperatur [VAN DER SLUIS et al., 2002].

Fahrbahnen, die nur dem Wetter ausgesetzt sind, erfahren eine stetige Verbesserung der Griffigkeit, die sich asymptotisch einem oberen Grenzwert nähert. Der Verkehr baut hingegen durch die polierende Wirkung der Fahrzeugreifen laufend Griffigkeit ab [WEHNER, 1970]. Durch diese beiden Effekte kann ein „dynamisches Gleichgewicht“ des Griffigkeitsniveaus entstehen. Die Verbesserung der Griffigkeit wird im Wesentlichen auf den Regen zurückgeführt, wobei das Regenwasser durch zwei Effekte Einfluss auf die Oberflächentextur nimmt. Erstens wird die Fahrbahnoberfläche von Staub- und Schmutzpartikel gereinigt, sodass die Mikrotextur wieder zum Vorschein kommt. Zweitens kommt es bei kalksteinhaltigen Deckschichten (z.B. durch kalksteinhaltigen Füller-Mineralstoff) infolge des sauren Wassers zur Bildung von löslichem Bikarbonat, wodurch die Griffigkeit erhöht wird (Kohlensäureverwitterung) [PFEILER, 2004].

Aus Langzeitbeobachtungen ermittelte WEHNER [1970] jahreszeitliche Griffigkeitsschwankungen infolge von Witterungseinflüssen (siehe Abbildung 4-7). Daraus sieht

man, dass der mit dem Messverfahren SCRIM (siehe 5.3.1.6) ermittelte Seitenkraftbeiwert zur Quantifizierung der Griffigkeit im trockenen Sommer eher abnimmt und in den feuchten Wintermonaten eher steigt. Im Winter sorgen niedrigere Temperaturen und längere Regenperioden für höhere Griffigkeitswerte, während im Sommer höhere Temperaturen und längere Trockenperioden das Gegenteil erzielen. Diese Langzeitversuche wurden jedoch keiner Beanspruchung durch Spikes-Reifen ausgesetzt, die sich in den Wintermonaten durch ihre aufrauende Wirkung ebenfalls positiv auf die Griffigkeit auswirken [VAN DER SLUIS et al., 2002], [PFEILER, 2004].

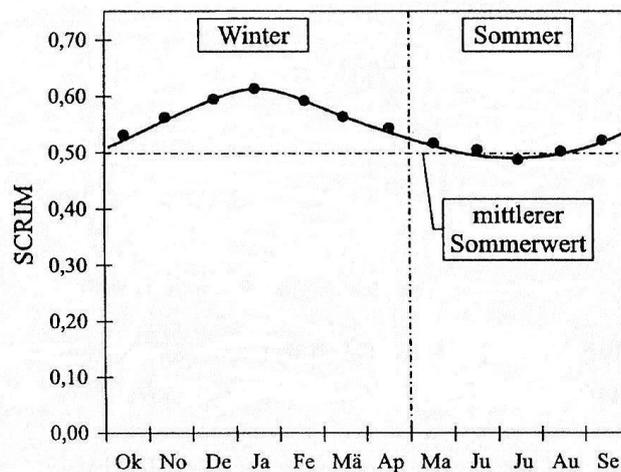


Abbildung 4-7: Jahreszeitliche Griffigkeitsschwankungen [HUSCHEK, 1995].

Um die Einflüsse der Witterung möglichst gering zu halten, sollten Griffigkeitsmessungen in der Zeit von Anfang Mai bis Ende Oktober durchgeführt werden [HUSCHEK, 1995].

4.2.4 Verkehrsbelastung

Der Verkehr kann das Griffigkeitsniveau ganz unterschiedlich verändern. Nach der Verkehrsfreigabe einer neuen Fahrbahn wirkt sich die Verkehrsbelastung günstig auf die Griffigkeit aus. Langfristig geht durch den Poliervorgang jedoch die Mikrorauheit verloren. Dadurch ist der Polierwiderstand der Mineralstoffe für die Dauergriffigkeit maßgeblich [VAN DER SLUIS, 2002]. Der Poliervorgang ist besonders stark, wo sich

die Fahrzeugreifen mit erhöhtem Schlupf bewegen, nämlich auf Brems- und Beschleunigungsstrecken sowie bei relativ kleinen Kurvenradien [HUSCHEK, 1995].

Weiters kann durch Verunreinigungen der Fahrbahnoberfläche (Verschmutzung aus der Landwirtschaft, Verschleiß der Oberfläche durch Verkehr, Reifenabrieb usw.) die Griffigkeit beeinflusst werden. Nach HUSCHEK [1995] wirken sich feine Staubteilchen polierend, und grobe Staubteilchen aufrauend aus.

Bei bituminösen Decken wird während des Sommers durch die Sonne der Belag warm, und unter der Verkehrsbelastung werden die herausragenden Splittkörner in den Belag hineingedrückt. Durch diese Mastixanreicherung und das Verschließen der Oberflächenporen kommt es zur Verminderung der Makrotextur [SCHULZE K., 1973].

Neben der Anzahl der Fahrzeuge hat auch deren Gewicht einen entscheidenden Einfluss auf die Griffigkeit. Durch die höheren Achslasten ist die Polierwirkung eines LKW um ein Vielfaches höher als jene eines PKW [ZIEGER, 1990]. Daher sollten auf mehrstreifigen Fahrbahnen die Griffigkeitsmessungen in der rechten Rollspur des rechten äußeren Fahrstreifens durchgeführt werden, um den maßgebenden niedrigsten Wert zu erfassen.

In Abbildung 4-8 ist die zeitliche Entwicklung der Griffigkeitsverläufe für verschiedene Deckschichtarten, Verkehrsstärken und Polierresistenzen der verwendeten Gesteine dargestellt. Dabei ist die Anfangsgriffigkeit – also die Griffigkeit im Neuzustand einer Deckschicht – sowie der weitere Verlauf der Griffigkeitsentwicklung, je nach Bauweise sehr unterschiedlich. Bei nicht abgestreuten Asphaltdeckschichten (Verlauf b) steigt die niedrige Anfangsgriffigkeit durch das Abfahren des Bindemittelfilms. Eine gegenläufige Griffigkeitsentwicklung ist bei abgestreuten Asphaltdeckschichten und bei Betondecken (Verlauf a) zu erkennen. Dabei nimmt die meist höhere Anfangsgriffigkeit durch die Verkehrsbeanspruchung ab. In Abhängigkeit von der Polierresistenz der Mineralstoffe und der Verkehrsstärke erreicht die Langzeitgriffigkeit nach einer gewissen Einfahrzeit ein konstantes Niveau. Bei sehr geringem Verkehr kann das Griffigkeitsniveau mit der Zeit sogar ansteigen, wenn die aufrauende Wirkung der Witterung stärker ist als die polierende Wirkung des Verkehrs [VAN DER SLUIS et al., 2002], [HUSCHEK, 1995].

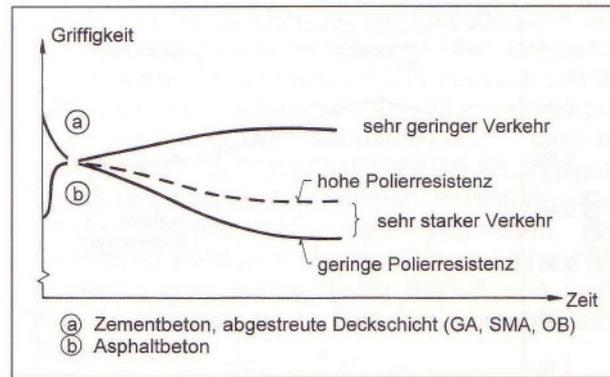


Abbildung 4-8: Zeitliche Entwicklung der Griffigkeit [HUSCHEK, 1995].

4.3 Fahrzeug

4.3.1 Schlupf

Um zwischen Reifen und Fahrbahn Kräfte übertragen zu können, muss die Reibung aktiviert werden. Dies ist möglich aufgrund der viskoelastischen Eigenschaften des Reifens, wenn dieser aufgrund seiner Elastizität verformt wird. Diese Reibungskräfte werden aktiviert, wenn es bei einem Rad zu einer Verzögerung oder Beschleunigung des Abrollvorganges kommt. Ein Beispiel dafür ist das in Abbildung 4-9 dargestellte gebremste Rad, das sich im Vergleich zu einem frei rollenden Rad langsamer bewegt. Die Umfangsgeschwindigkeit v_U des gebremsten Rades ist also kleiner als die Geschwindigkeit des Radmittelpunktes v_F . Es liegt also eine Geschwindigkeitsdifferenz vor, die nicht nur von der Verformung des Reifens, sondern auch von der Fahrgeschwindigkeit abhängig ist [MAYER et al., 2002].

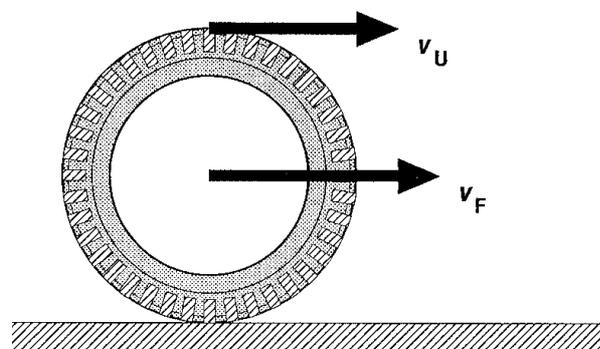


Abbildung 4-9: Geschwindigkeit am gebremsten Rad [MAYER et al., 2002].

Das Verhältnis der Geschwindigkeiten v_U zu v_F wird als Schlupf S bezeichnet und in Prozent angegeben. Der Schlupf berechnet sich nach Gleichung (4.1):

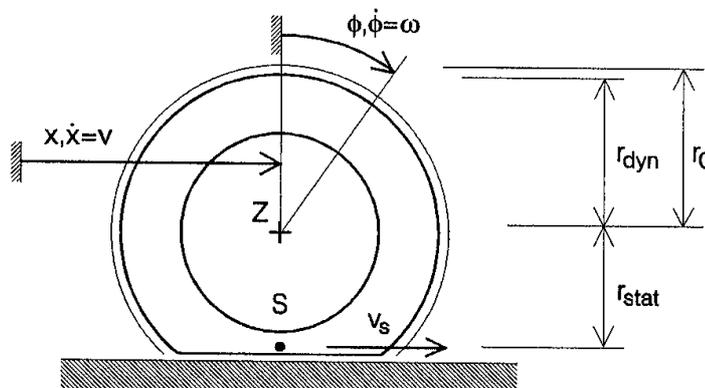
$$S = \frac{v_F - v_U}{v_F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

mit

$$v_U = r_{\text{dyn}} \cdot \omega \quad (4.2)$$

ω Winkelgeschwindigkeit des Reifens unter Schlupf

Der dynamische Radius r_{dyn} eines Reifens ist dabei der Radius, der sich unter der Annahme eines konstanten Abrollumfanges ergibt. Der dynamische Radius r_{dyn} ist stets größer als der statische Radius r_{stat} unter Auflast und kleiner als der Radius r_0 eines unbelasteten Rades (siehe Abbildung 4-10) [MAYER et al., 2002].



- | | |
|---|---|
| r_{dyn} ..dynamischer Radius | $\dot{\phi} = \omega$. Winkelgeschwindigkeit unter Schlupf |
| r_{stat} ..statischer Radius unter Auflast | v_s Geschwindigkeit in der Reifenaufstandsfläche |
| r_0 Radius des unbelasteten Rades | $\dot{x} = v$.. Geschwindigkeit des Radmittelpunktes |
| ϕ Abrollweg | x Weg des Radmittelpunktes |

Abbildung 4-10: Geometrische und kinematische Größen am rollenden Rad [MAYER et al., 2002].

Der Schlupf setzt sich aus Deformationsschlupf, hervorgerufen durch Verzerrungen und Verschiebungen der Reifenlauffläche gegen die die Radfelge, und Gleitschlupf zusammen. Gleitschlupf entsteht, da jedes Flächenelement der Reifenaufstandsfläche während seiner Verweildauer auf der Fahrbahnoberfläche mit geringer Geschwindigkeit gleitet [SCHULZE, 1979].

Neben der Geschwindigkeit, den Reifen- und Fahrbahneigenschaften hat auch der Bewegungszustand des Rades einen wesentlichen Einfluss auf den Reibungsbeiwert. Dabei sind drei Bewegungszustände des Rades zu unterscheiden [BÜHLMANN, 1984]:

- Das Rad läuft frei ab (0% Schlupf). Auf das Rad wirken keine fahrdynamischen Kräfte und es befindet sich somit vollständig im Bereich der Haftreibung.
- Das Rad ist blockiert (100% Schlupf = Bremsschlupf bei blockiertem Rad). Das Fahrzeug führt zwar eine translatorische Bewegung aus, obwohl sich das blockierte Rad nicht dreht. Analoges gilt für den Antriebsschlupf bei durchdrehenden Rädern.
- Das Rad läuft im Verhältnis zum zurückgelegten Weg zu langsam (gebremst) bzw. zu schnell (beschleunigt), dadurch ergibt sich eine bestimmte Schlupfzahl (Angabe in Prozent).

Mit zunehmendem Schlupf wächst die Reibungskraft zunächst linear an (siehe Abbildung 4-11), was vor allem auf die Längssteifigkeit des Reifens zurückzuführen ist. In diesem Bereich dominiert der Deformationsschlupfanteil am Gesamtschlupf. Noch vor Erreichen des Maximums kommen bereits Gleitanteile hinzu, die bei weiter steigendem Schlupf immer größer werden und somit für den Abfall der Kurve nach dem Maximum verantwortlich sind [BACHMANN, 1999].

Bei weiterer Steigerung der Brems- bzw. der Antriebskraft sinkt der Reibungswiderstand erheblich ab, was zu einem Gleiten oder Blockieren des Rades führt [BREYER, 1983].

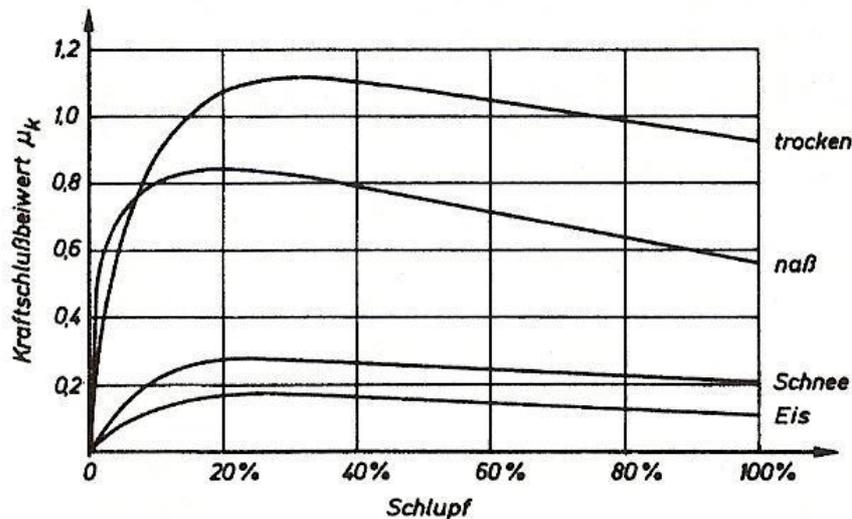


Abbildung 4-11: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf bei unterschiedlichen Zwischenmedien und Oberflächen [REIMPELL, 1971].

Der Schlupf kann also Werte zwischen 0 % und 100 % annehmen. Der maximale Reibungsbeiwert hängt vom Schlupf und vom Zustand der Fahrbahnoberfläche ab. Auf einer nassen Fahrbahn wird das Maximum des Reibungswiderstandes bei ca. 12 % bis 20 % Schlupf erreicht. Bei trockener Fahrbahnoberfläche liegt das Maximum zwischen ca. 25 % und 30 %. Während bei trockener Fahrbahn im Allgemeinen der Reibungsbeiwert auch bei 100 % Schlupf (blockiertes Rad) sehr hohe Werte annimmt, ist bei Nässe mit zunehmender Schlupfzahl ein beträchtlicher Abfall festzustellen (siehe Abbildung 4-11) [BÜHLMANN, 1984].

Bei modernen Kraftfahrzeugen wird mit Antiblockiersystem (ABS) und Antriebschlupfregelung (ASR) versucht, diesen optimalen Schlupf der Reifen zu erreichen, um die fahrdynamischen Umfangskräfte wie Bremsen oder Beschleunigen am besten auf die Fahrbahn zu übertragen. Das ABS reguliert die Bremskraft an jedem Reifen so, dass der Schlupf während des Bremsvorganges jederzeit möglichst nahe am optimalen Schlupf liegt [WIKIPEDIA, 2007a]. Die ASR reguliert den optimalen Schlupf der Antriebsreifen beim Beschleunigen [WIKIPEDIA, 2007b].

4.3.2 Fahrgeschwindigkeit

Aus der Abbildung 4-4 (siehe Kapitel 4.2.1) geht hervor, dass der Reibungsbeiwert auf trockener Fahrbahn praktisch unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist. Der Reibungsbeiwert ist erst bei einem vorhandenen Wasserfilm stark von der Geschwindigkeit abhängig. Auf einer nassen Fahrbahn nimmt der Reibungsbeiwert bei zunehmender Geschwindigkeit generell ab. Die Stärke der Abnahme wird dabei wesentlich von der Textur der Fahrbahnoberfläche (siehe Kapitel 4.2.1), dem Schlupf des Reifens (siehe Kapitel 4.3.1), dem Reifeninnendruck (siehe Kapitel 4.1) und der vorhandenen Wassermenge (siehe Kapitel 4.4) bestimmt.

4.4 Zwischenmedium

Das Zwischenmedium kann neben einem vorhandenen Wasserfilm auch Schnee, Eis, oder eine verschmutzte Fahrbahn (z.B. Öl, Staub- und Schmutzpartikel) sein, welches den Reibungsbeiwert verringert. Bei Anwesenheit von Wasser auf der Fahrbahn sinkt der Gleitreibungsbeiwert in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Wasserfilmdicke rasch ab (siehe Abbildung 4-12). Ein eventuell vorhandener Wasserfilm als Zwischenmedium kann durch bautechnische Variationen der Textur (siehe Kapitel 4.2.1) straßenbautechnisch beeinflusst werden. Weiters sieht man, dass der Gleitreibungsbeiwert einer winterglatten Fahrbahn unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit sehr niedrig ist und unter 0,2 bleibt, wodurch kaum mehr Kräfte zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche übertragen werden können. Im Vergleich dazu ist die Griffigkeit auf trockener Fahrbahn im Allgemeinen hoch und weitestgehend unabhängig von der Oberflächentextur und der gefahrenen Geschwindigkeit (siehe Abbildung 4-12).

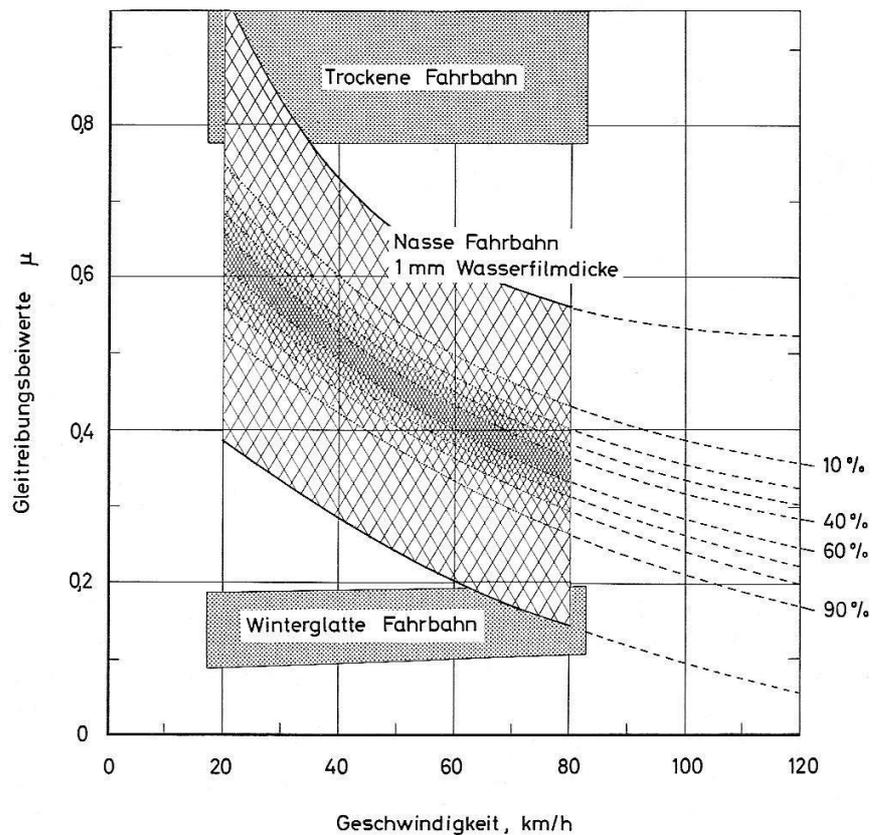


Abbildung 4-12: Variationsbreite und Häufigkeitsverteilung der Gleitreibungsbeiwerte auf trockener, nasser und winterglatter Fahrbahn am blockierten Messrad [DAMES, 1971].

Der schraffierte Bereich gibt die Häufigkeitsverteilung der Gleitreibungsbeiwerte von Fahrbahndecken an, wobei z.B. die 90 %-Grenze angibt, dass 90 % der Straßendecken einen Gleitreibungsbeiwert oberhalb dieser Grenze aufweisen [DAMES, 1971].

Die Mikrotextrur (Schärfegrad) einer nassen Fahrbahnoberfläche kommt nur dann vollständig zur Wirkung, wenn der Reifen das Wasser aus seiner gesamten Aufstandsfläche verdrängen kann. Bei nassen Fahrbahnen ist dies nur bei sehr geringen Geschwindigkeiten möglich. Steigt die Geschwindigkeit, kann der Reifen die Masse des Wassers nicht mehr rasch genug abführen, und es bildet sich das so genannte 3-Zonen-Modell in der Reifenaufstandsfläche (siehe Abbildung 4-13, Fall a). Kann das Wasser letztendlich überhaupt nicht mehr verdrängt werden, liegt der Sonderfall des 3-Zonen-Modells vor, das so genannte Aquaplaning oder Hydroplaning (siehe Abbildung 4-13, Fall b) [ALLBERT, 1970], [KALENDER, 1987].

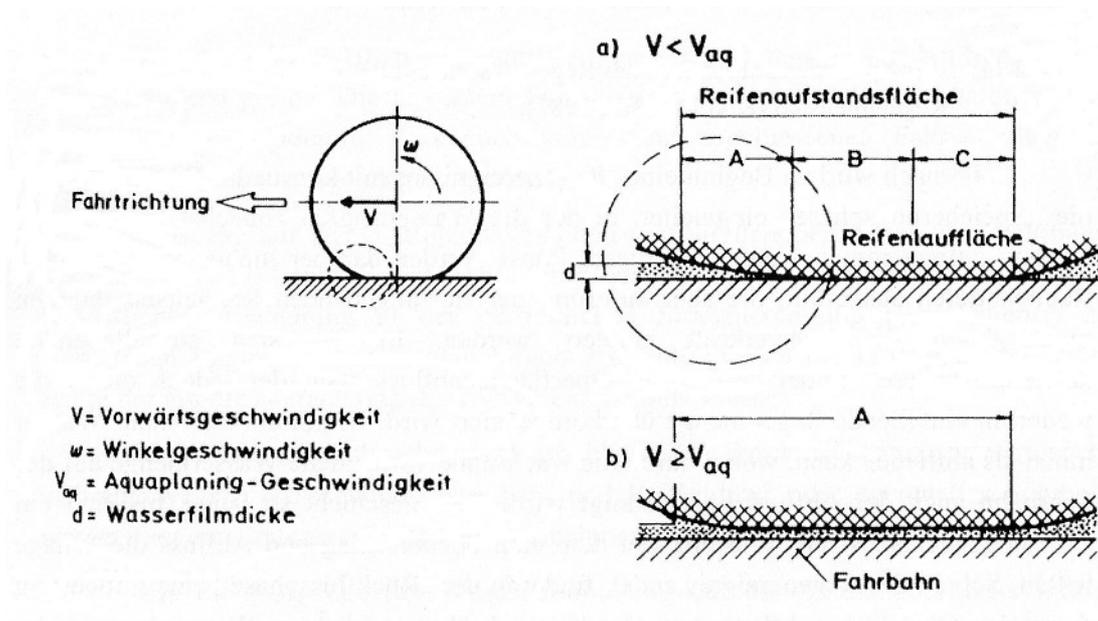


Abbildung 4-13: 3-Zonen-Modell in der Reifenaufstandsfläche auf nasser Fahrbahn [KALENDER, 1987].

In Abbildung 4-13 wird je nach Höhe der Vorwärtsgeschwindigkeit zwischen zwei Zuständen unterschieden:

- a) $v < v_{aq}$: die Vorwärtsgeschwindigkeit des Fahrzeuges ist kleiner als die Aquaplaning-Geschwindigkeit, es können sich alle drei Zonen ausbilden, zwischen Reifen und Fahrbahn kann eine kraftschlüssige Verbindung hergestellt werden.
- b) $v \geq v_{aq}$: die Vorwärtsgeschwindigkeit des Fahrzeuges ist größer als die Aquaplaning-Geschwindigkeit, es kommt zum Aquaplaning, zwischen Reifen und Fahrbahn gibt es keine kraftschlüssige Verbindung.

In Zone A – im vorderen Bereich des Reifens bei $v < v_{aq}$, bzw. in der gesamten Radaufstandsfläche bei $v \geq v_{aq}$ – ist ein geschlossener Wasserfilm vorhanden und der Reibungsbeiwert ist praktisch gleich Null.

In Zone B – Übergangsbereich bei $v < v_{aq}$ – ist der Wasserfilm an seiner dicksten Stelle weniger als einige Hundertstel mm dick und wird teilweise durchbrochen.

In Zone C – im hinteren Bereich des Reifens bei $v < v_{aq}$ – wird der Wasserfilm vollständig durchbrochen, die Reifenlauf­fläche hat direkten, trockenen Kontakt mit der Fahrbahnoberfläche. Der Großteil der gesamten Reibungskraft des Reifens wird in dieser Zone übertragen [ALLBERT, 1970].

Mit steigender Geschwindigkeit wird die wirksame Länge der Zonen A und B progressiv vergrößert und die Länge der Zone C verkürzt. Wird die Aquaplaning-Geschwindigkeit erreicht, so wird die ganze Reifenaufstandsfläche vom Wasser getragen [ALLBERT, 1970].

5 Messmethoden für die Griffigkeit und Textur

5.1 Allgemeines

Da die Verfahren und Messgeräte zur Erfassung des Reibungsbeiwertes und der Oberflächentextur von Land zu Land unterschiedlich sind, werden in diesem Kapitel verschiedene Messgeräte und Messmethoden, die in Europa Anwendung finden, beschrieben. Besonderes Augenmerk gilt hier der Griffigkeits- und Texturmessung in Österreich.

Je nach Messmethode unterscheidet man zwischen dynamischen und stationären Messmethoden. Mit den stationären Messmethoden erfolgt lediglich eine punktuelle Erfassung der Griffigkeit und der Textur. Die dynamischen Messmethoden haben gegenüber den stationär messenden den Vorteil, dass mit ihnen Griffigkeit und Textur durchgehend gemessen werden kann [FGSV, 2003].

In Österreich wird je nach Tiefe der Information über den Straßenzustand zwischen der Messung auf Netz- und Projektebene unterschieden:

- Die Zustandserfassung auf Projektebene soll eine detaillierte Information über den Zustand eines Straßenabschnittes bzw. eines Bauloses liefern, um entsprechende Maßnahmen treffen zu können. Für die Messungen auf Projektebene werden sowohl dynamische wie auch stationäre Messmethoden eingesetzt.
- Die Zustandserfassung auf Netzebene hat das Ziel, einen Überblick über den Zustand des gesamten Straßennetzes zu erhalten. Diese Messungen sind u.a. Eingangsgröße und Grundlage moderner Pavement Management Systeme (PMS). Zur Messung auf Netzebene eignen sich nur dynamische Hochleistungsmessgeräte mit einer hohen Tageskilometerleistung.

5.2 Stationäre Messmethoden

Bei den stationären Messmethoden kommen Kleingeräte zum Einsatz, mit denen man mit geringem Aufwand die Griffigkeit bzw. Textur der Fahrbahnoberfläche punktuell erfassen kann. Wie bereits oben erwähnt, beschränkt sich aufgrund der Wirtschaftlichkeit der Einsatzbereich auf die Projektebene.

In Österreich und Europa werden derzeit folgende stationäre Messmethoden zur Ermittlung der Griffigkeit bzw. der Textur eingesetzt:

- SRT-Pendelgerät (Skid Resistance Tester) – Messung der Griffigkeit (dabei wird die Mikrotextur bewertet);
- Ausflussmesser nach Moore – Messung der Makrotextur (Dränagevermögen);
- Sandfleckverfahren (Sand Patch Method) – Messung der Makrotextur.

5.2.1 Stationäre Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendelgerät

Einziges in den österreichischen Normen verankertes stationäres Griffigkeitsmessgerät ist das SRT-Pendelgerät (Skid Resistance Tester), das Ende der sechziger Jahre vom Transport and Road Research Laboratory (TRRL) entwickelt wurde [PFEILER, 2004].

Im Labor dient das Pendelgerät zur Bestimmung des PSV (polished stone value). Durch eine Modifizierung des Pendelgeräts – größerer Gummigleitkörper und andere Skalierereinrichtung – kann dieses auch zur Messung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen (ebene Prüffläche) verwendet werden. Dieses modifizierte Pendelgerät (siehe Abbildung 5-1) beurteilt die Griffigkeit bei relativ geringer Geschwindigkeit. Dabei ist vor allem die Mikrotextur für das Messergebnis maßgebend [PFEILER, 2004], [BREYER, 1980].

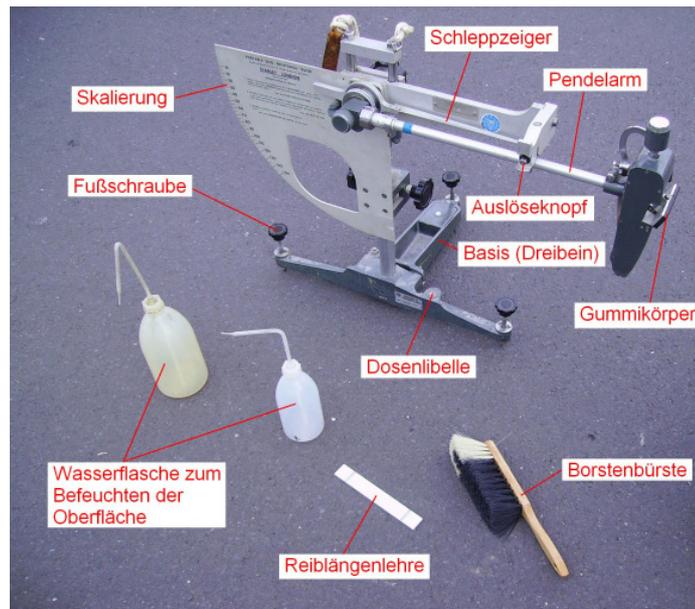


Abbildung 5-1: SRT-Pendelgerät mit Prüfausrüstung (Foto: Achleitner).

Wie in Abbildung 5-1 dargestellt, besteht die Basis des Pendelgerätes im Wesentlichen aus einem Dreibein, das zum Einstellen der Horizontallage mit drei verstellbaren Fußschrauben und einer Dosenlibelle ausgestattet ist. Dieses Basisgestell trägt eine Säule, an der eine Skalierung und ein Pendelarm mit Schleppzeiger befestigt sind. Am Ende des Pendelarms ist ein Gleitkörper aus Gummi federnd gelagert [FGSV, 2004c]. Beim Messvorgang gleitet die Kante des Gummikörpers über eine bestimmte Länge der zuvor angehäuteten Oberfläche. Je kleiner der Energieverlust nach dem Gleitvorgang ist, desto größer ist die Steighöhe des Pendelarms. Die Steighöhe des Pendels wird mit Hilfe eines Schleppzeigers messtechnisch erfasst. Der auftretende kinetische Energieverlust entspricht der Reibungsarbeit und ist somit ein Maß für die Griffigkeit der zu prüfenden Oberfläche [BREYER, 1980].

Durchführung der Griffigkeitsmessung von Oberflächen mit dem SRT-Pendelgerät gemäß ÖNORM EN 13036-4 [ONI, 2003b]:

Bei der Durchführung der Prüfung ist die zu prüfende Oberfläche von losen Partikeln zu reinigen und mit Wasser zu spülen. Das Pendelgerät ist so auf eine feste Oberfläche zu stellen, dass das Pendel in Richtung des Verkehrs schwingt. Die Neigung

der Oberfläche darf maximal 6 % betragen. Wo das nicht möglich ist, kann der Versuch in einem anderen Winkel zur Richtung des Verkehrs ausgeführt werden, der es ermöglicht, das Neigungswinkel-Kriterium zu erfüllen. Der Pendeltest ist in der am stärksten befahrenen Radspur einer Straße durchzuführen. Die Temperatur der bewässerten Prüffläche sowie des Gleitkörpers ist zu messen und muss innerhalb eines Bereiches von 1 °C bis 40 °C liegen.

Ein geeigneter Gleitkörper mit einem Reibgummi entweder aus CEN-Gummi oder aus 4S-Gummi ist zu wählen.

Die Höhe des Pendelarms ist so einzustellen, dass der Reibgummi bei der Bewegung über die Oberfläche mit seiner gesamten Breite und über einen festgelegten Schleifweg Kontakt mit der Prüfoberfläche hat. Dabei ist eine markierte Lehre (Abbildung 5-1) zum Einstellen der Reiblänge (126 ± 1 mm) zu verwenden.

Das Pendel und der Zeiger sind mit dem Auslöseknopf aus der horizontalen Position zu lösen. Das Pendel ist kurz nach Beginn des Rückschwingens festzuhalten, und die Anzeige des Zeigers ist als volle Zahl aufzuzeichnen. Das Pendel und der Zeiger sind durch Anheben des Gleitkörpers mit dem Handgriff in die Ausgangsposition zurückzuführen.

Der Pendelwert (PTV) ist der Mittelwert aus fünf Schwingungen. Dabei ist die Prüffläche jedes Mal kurz vor Loslassen des Pendels zu bewässern. Die Prüfergebnisse sind aufzuzeichnen. Weichen die ersten fünf Ergebnisse um mehr als drei Einheiten voneinander ab, wird die Prüfung so lange wiederholt, bis die Werte dreier aufeinander folgender Messungen konstant sind. Bei einem CEN-Gummi ist der PTV bei einer von 20 °C abweichenden Temperatur nach Tabelle 5-1 zu korrigieren. Bei einem Reibgummi aus 4S-Gummi erfolgt keine Korrektur des PTV. Der PTV bzw. der PTV_{corr} ist als ganze Zahl anzugeben.

In diversen Normen und in der Fachliteratur wird der PTV auch als SRT-Wert bezeichnet.

Bei der kombinierten Griffigkeits- und Texturmessung werden zur Beurteilung einer Fahrbahnoberfläche das SRT-Pendelgerät und das Ausflussmessgerät nach Moore (siehe Kapitel 5.2.2.1) eingesetzt. Mit dem SRT-Pendelgerät wird die Mikrotextur be-

wertet, mit dem Ausflussmesser wird das Drainagevermögen einer Oberfläche untersucht, welches hauptsächlich von der Makrotextur abhängt [FGSV, 2004c]

Gemessene Temperatur [°C]	Korrektur des Messergebnisses
40	+3
30	+2
20	±0
15	-2
10	-3
5	-5

Tabelle 5-1: Korrektur des PTV bei einer von 20 °C abweichenden Temperatur [ONI, 2003b].

5.2.2 Stationäre Texturmessmethoden

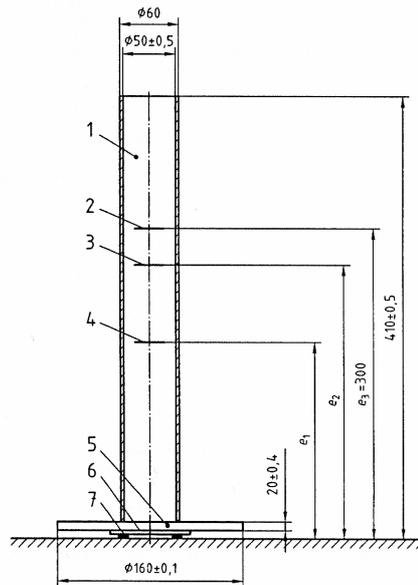
Fälschlicherweise werden zwar auch der Ausflussmesser nach Moore und das Sandfleckverfahren immer wieder mit Griffigkeitsmessung in Zusammenhang gebracht. Diese beiden Messmethoden dienen allerdings ausschließlich zur Bestimmung der Texturtiefe (Makrotextur) und geben nur in Kombination mit dem Pendelwert Aufschluss über die Griffigkeit einer Straßenoberfläche [PFEILER, 2004].

5.2.2.1 Ausflussmessgerät nach Moore

Diese Messmethode beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der horizontalen Entwässerung von Fahrbahnoberflächen. Das Ausflussmessgerät simuliert das Abfließen von Wasser im Kontaktbereich zwischen Fahrbahn und einem sich bewegenden Fahrzeugreifen. Es kann bei glatten, nichtporösen Fahrbahnoberflächen mit einer mittleren Profiltiefe unter 0,4 mm eingesetzt werden.

Das in Abbildung 5-2 dargestellte Ausflussmessgerät besteht aus einem durchsichtigen Kunststoffhohlzylinder, der auf einem Beschwerungsring aus Messing aufgeklebt ist. An der Unterseite des Beschwerungsringes ist ein Tragring (siehe Abbildung 5-3) angeschraubt. Auf diesen Tragring aus Messing ist ein Gummiring aufvulkanisiert [ONI, 2003a].

Maße in Millimeter



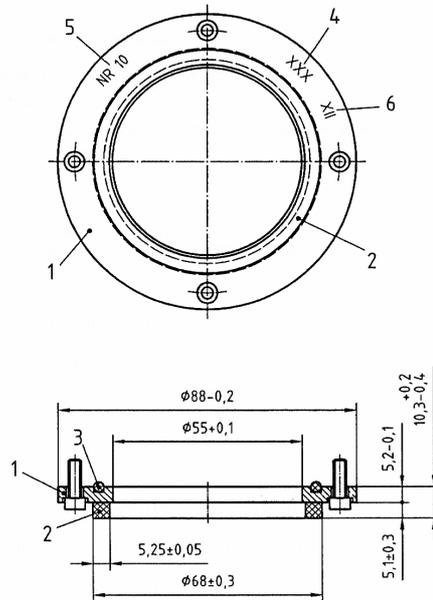
Legende

- 1 Zylinder aus massivem durchsichtigem Kunststoff
- 2 obere Markierung
- 3 Zwischenmarkierung
- 4 untere Markierung
- 5 Beschwerungsring aus Messing (Material MS 58)
- 6 Tragring aus Messing
- 7 Gummiring

ANMERKUNG Die drei Markierungen (obere Markierung, Zwischenmarkierung und untere Markierung) werden durch eine zugelassene Kalibrierstelle angebracht.

Abbildung 5-2: Ausflussmessgerät nach Moore [ONI, 2003a].

Maße in Millimeter



Legende

- 1 Tragring
- 2 Führungsring aus Gummi
- 3 Abdichtung
- 4 Kennzeichen der zugelassenen Kalibrierstelle (Beispiel)
- 5 Seriennummer (Beispiel)
- 6 Verfallsdatum

Abbildung 5-3: Tragring des Ausflussmessgerätes [ONI, 2003a].

Durchführung von Messungen zur Ermittlung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten nach ÖNORM EN 13036-3 [ONI, 2003a]:

Diese Messungen sind auf den am meisten befahrenen Flächen (Radspur) und, falls erforderlich, an weiteren Stellen durchzuführen. Der Messpunkt muss eine repräsentative, homogene Fläche sein, die keine örtlich beschränkten Merkmale wie Risse oder Fugen enthält. Die Anzahl der Messpunkte hängt von der Veränderlichkeit der Oberflächenbeschaffenheit ab. Es ist ein Probenahmeplan zu erstellen. Auf Straßen muss alle 300 m bis 500 m ein Prüffeld angeordnet werden. Im Zweifelsfall, bei inhomogener Oberflächenstruktur oder bei ausgeprägten Spurrinnen sind zusätzliche Prüffelder erforderlich. Die Prüffeldlänge beträgt üblicherweise 25 m. Um den Wert des Ausflussmessgerätes für eine Prüffeldlänge zu erhalten, sind mindestens 10 Werte in einem Abstand von etwa 2,5 m zu ermitteln.

Vor dem Beginn der Messungen ist der untere Teil des Ausflussmessgerätes (Tragring) in Wasser zu tauchen, um den Gummiring zu befeuchten. Danach ist das Ausflussmessgerät vertikal mit dem Gummiring nach unten auf die zu prüfende Oberfläche zu stellen. Der Ausflussmesser ist mit Trinkwasser zu füllen. Die Zeit, die zum Abfallen des Wasserspiegels von der oberen Markierung bis zur unteren Markierung benötigt wird, ist auf eine Sekunde gerundet abzulesen und aufzuzeichnen. Vergehen mehr als drei Minuten bis der Wasserspiegel die Zwischenmarkierung erreicht, ist die Stoppuhr beim Erreichen der Zwischenmarkierung anzuhalten. Die Zeit ist auf eine Sekunde gerundet abzulesen und als Prüfwert aufzuzeichnen. Das Ergebnis für den Prüfpunkt wird durch Multiplizieren des Prüfwertes mit der Zahl 6 erhalten. Die Einzelergebnisse sind nach Gleichung (5.1) für die zehn Prüfpunkte OT_i eines Prüffeldes zu mitteln, um den Wert OT_P für die Oberflächenlänge von 25 m zu erhalten. Es erfolgt keine Korrektur für die Temperatur.

$$OT_P = \frac{OT_1 + OT_2 + \dots + OT_{10}}{10} \quad (5.1)$$

OT_P die Ausflusszeit für eine Oberfläche mit einer Länge von 25 m

OT_1 bis OT_{10} die Ausflusszeit an den Prüfpunkten 1 bis 10

5.2.2.2 Sandfleckverfahren (Sand Patch Method)

Seit vielen Jahren wird weltweit das so genannte „Sandfleckverfahren“ angewandt, um die Textur von Straßenoberflächen zu messen.

Bei diesem Verfahren wird eine definierte Sandmenge auf einer sauberen und trockenen Straßenoberfläche ausgebreitet. Der Sand wird so verteilt, dass er einen kreisförmigen Fleck bildet, dessen Durchmesser gemessen wird (siehe Abbildung 5-4). Wird das bekannte Sandvolumen durch die bedeckte Fläche dividiert, erhält man einen Wert, der die mittlere Tiefe der Sandschicht darstellt, d.h. eine mittlere „Texturtiefe“ (MTD – Mean Texture Depth). Die Technik ist so ausgelegt, dass sie einen Mittelwert ausschließlich für die Tiefe der Makrotextur (Gültigkeitsbereich 0,25 mm bis 5 mm) der Fahrbahn liefert und die Beschaffenheit der Mikrotextur der Fahrbahn nicht berücksichtigt.

Bei einer Weiterentwicklung des Sandfleckverfahrens wird der Sand durch Glassand ersetzt [ONI, 2001].

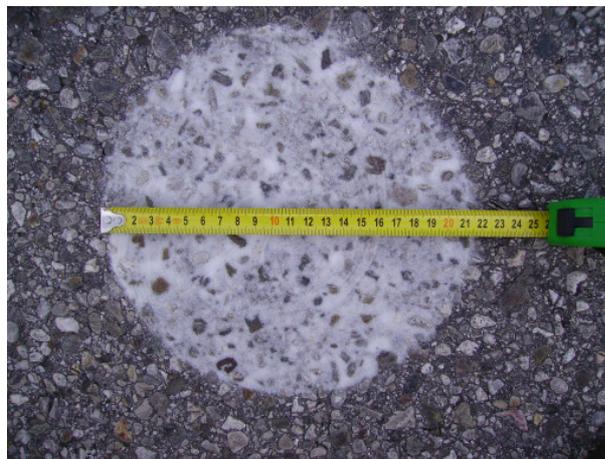


Abbildung 5-4: Ausgebreiteter Sandfleck (Foto: Achleitner).

Dieses Messverfahren eignet sich für Feldversuche, um die mittlere Tiefe der Makrotextur einer Fahrbahnoberfläche zu bestimmen. Bei der Verwendung in Verbindung mit anderen physikalischen Messverfahren können die Werte der Makrotexturtiefe, die aus diesem Prüfverfahren abgeleitet werden, verwendet werden, um die Griffigkeit, die Geräuscheigenschaften der Fahrbahn und die Eignung von Fahrbahnbaustoffen oder Fertigungstechniken zu ermitteln. Bei der Anwendung zusammen mit

anderen Messverfahren ist darauf zu achten, dass alle Messungen an derselben Stelle stattfinden [ONI, 2001].

Prüfgeräte und Hilfsmittel für das Sandfleckverfahren nach ÖNORM EN 13036-1 [ONI, 2001]:

Die für die Messung der Makrotexturtiefe mit Hilfe des Sandfleckverfahrens verwendeten Prüfgeräte und Hilfsmittel sind in der Abbildung 5-5 dargestellt:

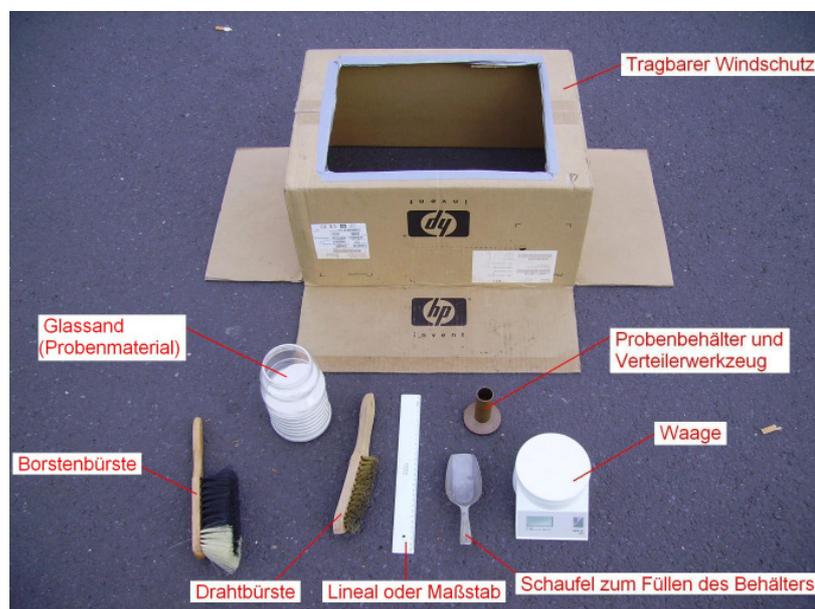


Abbildung 5-5: Prüfgeräte und Hilfsmittel für das Sandfleckverfahren (Foto: Achleitner).

- Probenbehälter und Verteilerwerkzeug:

Es ist ein zylindrischer Behälter aus Metall oder Kunststoff mit einem vorgegebenen Innenvolumen von mindestens 25.000 mm³ (25 ml) zu verwenden, um das Volumen des zu verteilenden Glassandes zu ermitteln (siehe Abbildung 5-6). Für die Verteilung des Glassandes muss eine flache, harte Scheibe von etwa 25 mm Dicke und 60 mm bis 75 mm Durchmesser verwendet werden. Die Unterseite der Scheibe muss mit einem harten Gummi material überzogen sein, und auf der oberen Fläche der Scheibe darf ein geeigneter Handgriff angebracht sein (siehe Abbildung 5-7). Ein Eishockeypuck

aus Hartgummimaterial kann als geeignetes Verteilerwerkzeug für dieses Prüfverfahren angesehen werden.



Abbildung 5-6: Probenbehälter inklusive Verteilerwerkzeug von oben (Foto: Achleitner).



Abbildung 5-7: Unterseite des Probenbehälters und Verteilerwerkzeugs (Foto: Achleitner).

- Glassand (Probenmaterial):

Als Probenmaterial sind massive, im Wesentlichen runde Glaskugeln zu verwenden [ASTM, 1991]. Die Glaskugeln müssen zu 90 % Massenanteil ein Sieb mit 0,25 mm Lochweite passieren und auf einem Sieb mit 0,18 mm Lochweite nach ISO 565 [1990] zurückgehalten werden.

- Bürsten:

Vor dem Aufbringen des Glassandes ist die Fahrbahnoberfläche gründlich mit einer steifen Drahtbürste und einer weichen Borstenbürste zu reinigen.

- Tragbarer Windschutz:

Um während der Versuchsdurchführung den Glassand vor Wind zu schützen und damit Verwehungen zu vermeiden, wird vor dem Aufbringen des Glassandes ein geeigneter Schirm oder ein Schild auf der Fahrbahn aufgestellt. Als Beispiel ist in Abbildung 5-5 eine Kartonschachtel dargestellt.

- Maßstab:

Zum Abmessen des Durchmessers des kreisrunden Sandflecks wird ein Maßstab mit einer Länge von 300 mm oder mehr mit einem Skalenwert von 1 mm verwendet.

- Waage:

Um eine zusätzliche Prüfmöglichkeit zu haben, dass die Masse des für die Messung der Makrotexturtiefe verwendeten Materials konstant ist, wird für dieses Prüfverfahren die Verwendung einer Laborwaage mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 g empfohlen.

Durchführung der Makrotexturmessungen mit Hilfe des Sandfleckverfahrens nach ÖNORM EN 13036-1 [ONI, 2001]:

Die Prüfoberfläche muss ein trockener, homogener Bereich sein, der keine besonderen lokalen Merkmale wie Risse und Fugen aufweist. Die Fahrbahnoberfläche ist zuerst gründlich mit der steifen Drahtbürste und anschließend mit der weichen Borstenbürste zu reinigen, damit keine Verschmutzungen oder lose haftende Gesteinskörnungen an der Oberfläche vorhanden sind. Um den Prüfbereich ist der tragbare Windschutz aufzustellen.

Der Probenbehälter mit bekanntem Rauminhalt ist mit trockenem Glassand zu füllen. Dann den Zylinder mehrmals leicht auf eine feste Oberfläche klopfen und weiteres Material nachfüllen bis der Zylinder bis zum oberen Rand gefüllt ist. Danach ist mit dem Lineal der überschüssige Glassand abziehen. Steht eine Laborwaage zur Verfügung ist die Masse des mit Glassand gefüllten Zylinders zu ermitteln und diese Masse für jede Messung zu verwenden.

Der Glassand, von dem Volumen und Masse bekannt ist, ist auf die gereinigte Prüflfläche zu schütten. Mit der harten Gummischeibe verteilt man anschließend durch

spiralförmig sich erweiternde Kreisbewegungen den Glassand. Auf die Scheibe ist gerade so viel Druck auszuüben, dass die Scheibe die Gesteinsspitzen der Fahrbahn berührt. Die Oberflächenhohlräume werden somit bis auf die Höhe der Gesteinsspitzen gefüllt und es soll dabei ein möglichst gleichmäßiger, kreisrunder Fleck entstehen. Ab einem bestimmten Durchmesser, der von der Makrotextur abhängt, lässt sich der Sandfleck nicht mehr ausbreiten.

Der Durchmesser der vom Glassand bedeckten Kreisfläche ist an mindestens vier gleichweit voneinander entfernten Stellen auf dem Umfang des Prüfbereichs zu messen und festzuhalten. Daraus ist der mittlere Durchmesser zu berechnen und festzuhalten.

Bei sehr glatten Fahrbahnoberflächen, auf denen der Durchmesser des Sandflecks größer ist als 300 mm, wird empfohlen, die Hälfte des normalen Materialvolumens zu verwenden.

Auf einem gegebenen Fahrbahnoberflächentyp muss eine Person mindestens vier zufällig verteilte Messungen durchführen. Das arithmetische Mittel der einzelnen Werte ist als mittlere Oberflächentexturtiefe (Makrotextur) der geprüften Fahrbahnoberfläche anzusehen.

Die mittlere Oberflächentexturtiefe MTD wird nach folgender Gleichung berechnet [ONI, 2001]:

$$MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2} \quad (5.2)$$

MTD mittlere Oberflächentexturtiefe [mm]

V Probenvolumen, d.h. Zylinderinnenvolumen [mm³]

D mittlerer Durchmesser der vom Material bedeckten Fläche [mm]

5.3 Dynamische Messmethoden

Die dynamischen Messmethoden erfolgen in der Regel mit entsprechenden Hochleistungsmessgeräten, die den Zustand des gesamten Straßennetzes mit einer hohen Tageskilometerleistung erfassen können. Bei den schnell fahrenden Hochleis-

tungsmessgeräten ist die Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs relativ gering. Weiters sind auch dynamische Messmethoden bei Schrittgeschwindigkeit im Einsatz, die während der Messung auf befahrenen Verkehrsflächen entsprechende Sicherheitsmaßnahmen erfordern.

Im deutschen Sprachraum sind vor allem die dynamisch messenden Geräte SCRIM, RoadSTAR, SRM, Skiddometer und GripTester von Relevanz, einige davon haben bereits Eingang in die nationalen Prüfvorschriften gefunden [PFEILER, 2004].

In Österreich werden derzeit folgende dynamische Messgeräte zur Ermittlung der Griffigkeit bzw. der Textur eingesetzt:

- RoadSTAR (Road Surface Tester of Arsenal Research) – Griffigkeits- und Texturmessung;
- GripTester (derzeit nur zu Forschungszwecken) – Griffigkeitsmessung.

5.3.1 Dynamische Griffigkeitsmessgeräte

Die dynamische Griffigkeitsmessung auf Straßenoberflächen hat weltweit eine sehr lange Tradition. Bereits im Jahr 1928 wurden in Berlin zur Bestimmung der Fahrbahngriffigkeit Bremsversuche mit Kraftwagen durchgeführt.

Moderne Griffigkeitsmessgeräte lassen sich je nach Bauart in verschiedene Messverfahren unterteilen. Zu jedem Messverfahren sind nachfolgend die in Europa gebräuchlichsten Messgeräte angeführt [FUCHS, 2002]:

- Messverfahren mit blockiertem Messrad (100 % Schlupf):
 - RoadSTAR I – Road Surface Tester of Arsenal Research (optional);
 - SRM – Stuttgarter Reibungsmesser;
 - Skiddometer BV 11(optional);
 - ROAR – Road Analyzer and Recorder (optional);
 - ADHERA;
- Messverfahren mit konstantem Schlupf des Messrades:

GripTester (15 % Schlupf);

RoadSTAR I (18 % Schlupf);

Skiddometer (10,5 % bis 19 % Schlupf je nach Messreifen);

ROAR (beliebig regelbarer Schlupf);

MK IV Rear Axle System (12 % Schlupf);

SARSYS Friction Tester (15 % Schlupf);

SARSYS Trailer Friction Tester (15 % Schlupf);

T2GO Portable Friction Tester (20 % Schlupf);

VTI Portable Friction Tester (25 % Schlupf);

- Messverfahren mit variablen Schlupf des Messrades:

ROAR (von 0 % bis 100 % Schlupf);

RoadSTAR II (18 %, 25 %, 50 %, 62,5 % Schlupf);

- Messverfahren mit schräg laufendem Messrad:

SCRIM – Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine
(Schräglaufwinkel 20°);

Mu-Meter (Schräglaufwinkel 7,5°);

Stradograf (Schräglaufwinkel 12°), wird seit 1997 nicht mehr gebaut;

- Messverfahren mit Antiblockiersystem (ABS):

RoadSTAR I (optional).

Die Tabelle 5-2 zeigt zusammenfassend einen Überblick über die in diesem Kapitel beschriebenen dynamischen Griffigkeitsmessgeräte:

Gerät	Messgeschwindigkeit [km/h]		Messprinzip	Messreifen	Geräteart, -typ	Anwendung	
	schnell fahrend	Schubbetrieb				Straßen	Flugbetriebsflächen
GripTester	bis 80	ca. 5	k(15%)	g (ASTM E1844-96)	Messanhänger	x	x
RoadSTAR I	40-120 (Standard: 60)		k(18%), b, ABS	p (PIARC)	LKW	x	
SRM	bis 80 (Standard: 40, 60, 80)		b	p (PIARC)	LKW	x	
Skiddometer BV 11	20-160		k(10,5-19%) ¹ , b	g, p (PIARC, ASTM)	Messanhänger	x	x
ROAR	20-130		k, v(0-100%)	g (ASTM E-1551)	Messanhänger, LKW	x	
SCRIM	25-85 (Standard: 40, 60, 80)		s(20°)	g (PIARC)	LKW	x	
Mu-Meter Mk6	Standard: 64		s(7°)	g	Messanhänger	x	x
MK IV Rear Axle System	Standard: 30, 60, 90		k(12%)	p	PKW, Messanhänger	x	x
SARSYS Friction Tester	25-165 (Standard: 95, 65)		k(15%)	g, p (Unitester, ASTM)	PKW	x	x
SARSYS Trailer Friction Tester	45-130 (Standard: 95)		k(15%)	g, p (Unitester, ASTM)	Messanhänger	x	x
Adhera 2	40-120		b	p	Messanhänger	x	
T2GO Portable Friction Tester		ca. 5	k(20%)	p	Schubgerät	x	x
VTI Portable Friction Tester		ca. 1,8	k(25%)	g	Schubgerät	x	x

k(%) Messrad mit konstantem Schlupf (Prozentangabe)
 v(%) Messrad mit variablen Schlupf (Prozentangabe)
 b..... blockiertes Messrad
 s(°).. schräg laufendes Messrad (Schräglaufwinkel in °)
 ABS Messrad mit Antiblockiersystem
 g..... glatter (profilloser) Messreifen
 p..... profilierter Messreifen
¹)..... je nach Messreifen

Tabelle 5-2: Zusammenfassender Überblick der dynamischen Griffigkeitsmessgeräte.

5.3.1.1 GripTester

Allgemeines:

Der GripTester (siehe Abbildung 5-8) ist kompakter Dreiradanhänger zur dynamischen Erfassung des Reibungsbeiwertes μ_{GT} von Fahrbahnoberflächen, Flugbetriebsflächen und sonstigen Verkehrsflächen. Dieses Messgerät wurde im Jahr 1987 von der schottischen Firma Findlay Irvine Ltd. entwickelt [JANISCH, 2002].



Abbildung 5-8: GripTester GT 135 des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung (Foto: Achleitner).

Der GripTester ist durch seine Kompaktheit, sein geringes Gewicht und den einfachen Transport zur Messstrecke auch auf Verkehrsflächen, wie z.B. Fußgänger-

zonen, Radwege, engen Messstellen oder Bodenmarkierungen einsetzbar, die für andere dynamische Hochleistungsriffigkeitsmessgeräte (RoadSTAR, SRM oder SCRIM) nicht möglich sind. Weitere Vorteile sind neben der einfachen Bedienung die geringen Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten im Vergleich zu den anderen dynamischen Griffigkeitsmessgeräten. In Österreich wäre der GripTester eine optimale Ergänzung zum Hochleistungsmessfahrzeug RoadSTAR und dem punktuell einsetzbaren SRT-Pendel. Die zulässige Messgeschwindigkeit liegt zwischen Schrittgeschwindigkeit und 80 km/h [PFEILER, 2002], [JANISCH, 2002].

Die Firma Findlay Irvine Ltd. hat mit dem GripTester am PIARC Ringversuch 1992 teilgenommen, um die Messergebnisse verschiedener Griffigkeitsmessgeräte zu vergleichen und zu harmonisieren. Die Messergebnisse des GripTester lassen sich mit dem International Friction Index IFI (siehe Gleichung (5.11)) mit den Messergebnissen anderer Geräte vergleichen [PFEILER, 2002].

Betriebsarten:

Der GripTester kann in zwei verschiedenen Betriebsarten, dem Schlepp- und dem Schubbetrieb, eingesetzt werden und so Griffigkeitsmessungen auf Netz- und Projektebene durchführen.

Beim Schubbetrieb wird der GripTester mit Schrittgeschwindigkeit (ca. 5 km/h) von einer Person geschoben. Dazu muss zusätzlich ein Schubbügel auf dem GripTester montiert werden. Für die Wasserversorgung müssen zwei Wassertanks auf dem GripTester angebracht werden (siehe Abbildung 5-9). Die Wassermenge wird dazu über ein Handventil geregelt, wobei die Durchflussmenge auf ~2 l/min einzustellen ist. Die Wasserfilmdicke hat allerdings bei geringer Messgeschwindigkeit kaum einen Einfluss auf das Messergebnis. Zusätzlich muss eine zweite Person den mittels Datenkabel verbundenen Laptop (Datenerfassungseinheit) bedienen. Aufgrund der geringen Messgeschwindigkeit und der kleinen Wassertanks ist diese Betriebsart ausschließlich für die Projektebene geeignet. Ein Vorteil der Griffigkeitsmessungen im Schubbetriebsmodus besteht darin, dass Fußgängerzonen, Radwege, enge Messstellen, Helidecks usw., die für dynamische Hochleistungsmessgeräte (RoadSTAR,

SRM und SCRIM) nicht zugänglich sind, auch gemessen werden können [PFEILER, 2002], [JANISCH, 2002].

Im Schubbetrieb besteht das Messsystem GripTester aus folgenden Komponenten (siehe Abbildung 5-9):

- Messgerät GripTester mit montiertem Schubbügel,
- Bewässerungseinheit (zwei aufschraubbare Wassertanks) und
- Laptop mit der Software „RoadManager“ als Datenerfassungseinheit.

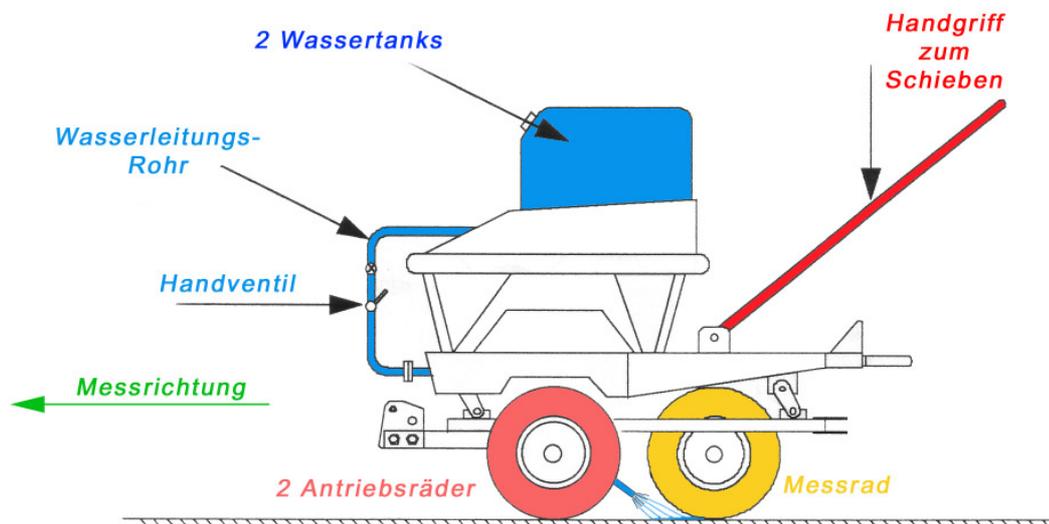


Abbildung 5-9: Komponenten des Messsystems GripTester im Schubbetrieb [JANISCH, 2002].

Im Schleppbetrieb wird der GripTester an eine Anhängervorrichtung eines Zugfahrzeuges (siehe Abbildung 5-10 und Abbildung 5-11) gehängt und kann bis zu einer zugelassenen Geschwindigkeit von 80 km/h Griffigkeitsmessungen durchführen. Die Wasserversorgung erfolgt durch die Bewässerungseinheit GT-BW-01 der Firma Mechatronic. Der Schleppbetrieb wird auf Netz- und Projektebene eingesetzt. Beim Einsatz auf Netzebene spielt vor allem das Wassertankvolumen eine entscheidende Rolle [PFEILER, 2002].

Das Messsystem GripTester besteht im Schleppbetrieb aus folgenden Komponenten (siehe Abbildung 5-10):

- Messgerät GripTester,
- Bewässerungseinheit GT-BW-01 der Firma Mechatronic,
- Laptop mit der Software „RoadManager“ als Datenerfassungseinheit und
- Zugfahrzeug.

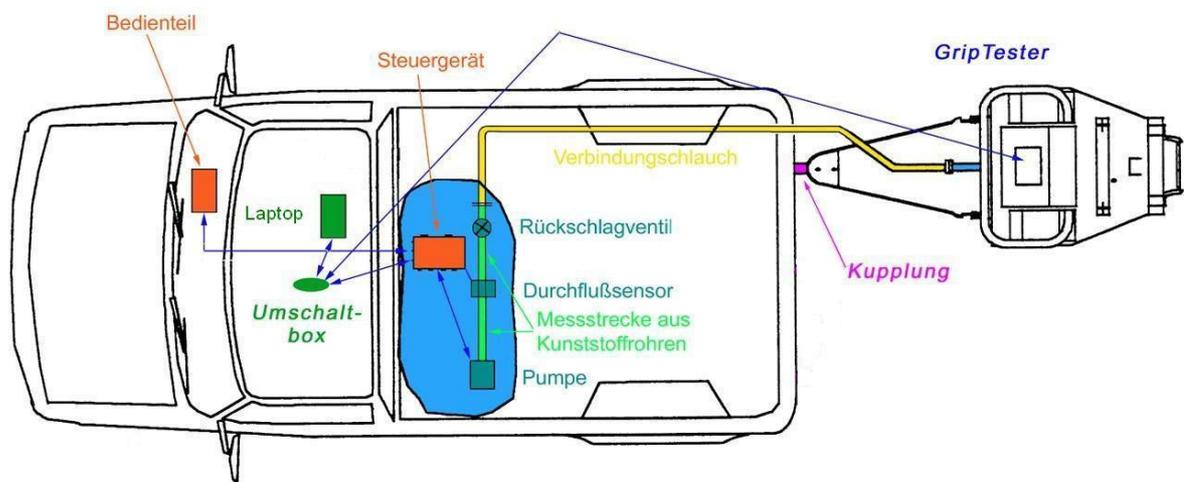


Abbildung 5-10: Komponenten des Messsystems GripTester im Schleppbetrieb [JANISCH, 2002].



Abbildung 5-11: GripTester im Schleppbetrieb (Foto: Achleitner).

Messprinzip:

Der GripTester arbeitet nach dem Prinzip des gebremsten Messrades bei konstantem Schlupf von 15 % und berechnet bei vorgewässeter Oberfläche den Reibungsbeiwert μ_{GT} . Der Reibungsbeiwert μ_{GT} wird nach dem Coulomb'schen Reibungsgesetz gemäß Gleichung (5.3) als Quotient der Horizontalkraft F_H und der Vertikalkraft F_V definiert.

$$\mu_{GT} = \frac{F_H}{F_V} \quad (5.3)$$

An der Vorderachse des Fahrwerks befinden sich zwei profilierte Laufräder, an der Hinterachse ist mittig der profillose Messreifen (Innendruck = 1,38 bar) angebracht. Die beiden Achsen mit unterschiedlich großen Zahnrädern sind mit einer Antriebskette verbunden (siehe Abbildung 5-12). Durch das größere Zahnrad an der hinteren Messradachse wird während der Fortbewegung ein rechnerischer Schlupf von 15 % erzeugt. Dadurch bewegt sich das Messrad langsamer als die vorderen Antriebsräder, das Messrad wird also konstant gebremst. Die entstehende tangentielle Horizontalkraft in der Grenzfläche zwischen Messreifen und Fahrbahn und die auf den Messreifen wirkende Vertikalkraft werden mittels Dehnmessstreifen gemessen. [PFEILER, 2002].

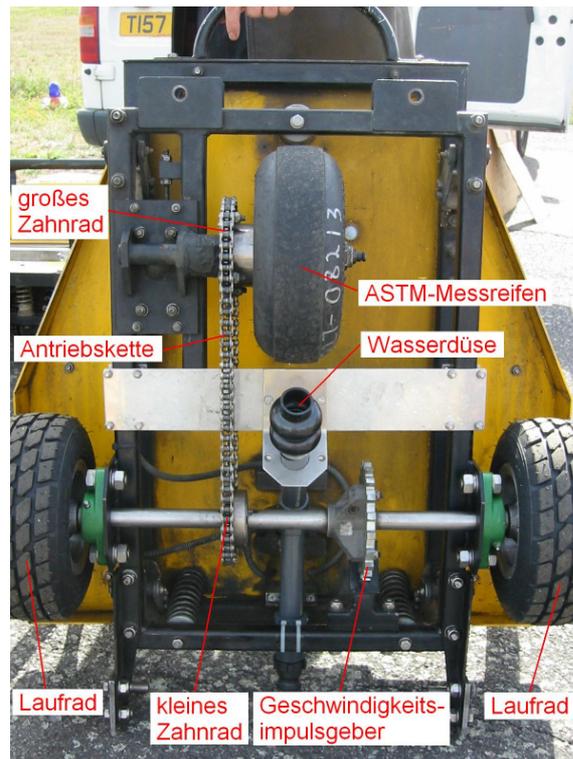


Abbildung 5-12: GripTester – Ansicht von unten (Foto: ISTU-Archiv).

Je nach eingestellter Messauflösung nimmt der GripTester die Messwerte im Abstand von 40 oder 80 cm (Schleppbetrieb) auf und bildet automatisch einen Mittelwert über eine gewählte Abschnittslänge (z.B. 1, 5, 50 m). Die Messdaten werden von der Messeinheit am GripTester mittels Datenkabel an die Datenerfassungseinheit (Laptop) gesendet.

Der erforderliche Wasserfilm wird über eine Wasserdüse (siehe Abbildung 5-12), die am Fahrwerksrahmen befestigt ist, direkt vor dem Messreifen aufgebracht [PFEILER, 2002].

Die Bewässerungseinheit GT-BW-01 wurde eigens von der Firma Mechatronic GmbH für das Messsystem GripTester im Schleppbetrieb entworfen. Die Griffigkeitsmessung mit dem GripTester erfolgt grundsätzlich nur auf einer bewässerten Fahrbahnoberfläche. Die Aufbringung des Wasserfilms von 0,2 bis 1,0 mm vor dem Messreifen kann geschwindigkeitsabhängig (Auto-Modus) oder konstant (Hand-Modus) gesteuert werden [PFEILER, 2002].

Die Komponenten des Bewässerungssystems GT-BW-01 (siehe Abbildung 5-10) bestehen aus [JANISCH, 2002]:

- Wassertank mit Pumpe, Durchflusssensor, Kunststoffrohren und Rückschlagventil,
- Bedienteil mit LCD-Display (siehe Abbildung 5-13),
- Steuergerät (Regelelektronik),
- Umschaltbox,
- Verbindungskabel zwischen Umschaltbox und Steuergerät,
- Versorgungskabel zum Anschluss an die Autobatterie und
- Verbindungsschlauch, mit Schnellverschluss, vom Rückschlagventil des Wassertanks zum GripTester.

Das Bewässerungssystem GT-BW-01 kann fix in das Zugfahrzeug eingebaut werden (siehe Abbildung 5-10), wobei für den Einbau des Wassertanks die Sicherheitsvorschriften nach der Straßenverkehrsordnung (StVO) eingehalten werden müssen. Das Volumen des Wassertanks ist für die durchgehende Erfassungslänge der Messstrecke von großer Bedeutung. Standardmäßig wird ein 275 Liter fassender Wassertank beige gestellt. Bei einer üblichen Wasserfilmdicke von 0,5 mm und einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h, das entspricht einer Wassermenge von 25 l/min, kann mit einer Tankfüllung eine maximale Streckenlänge von ca. 7000 m gemessen werden. In Deutschland sind bereits Messsysteme mit größeren Wassertanks im Einsatz, womit man längere Strecken messen kann. Allerdings ist dafür auch ein entsprechend leistungsstarkes Zugfahrzeug erforderlich [PFEILER, 2002], [JANISCH, 2002].

Am Bedienteil des Bewässerungssystems (siehe Abbildung 5-13) kann die Wasser- aufbringung ein- und ausgeschaltet werden. Weiters kann mit dem Bereichswahl- schalter die Wasserfilmdicke und mit dem Modusschalter der Auto- oder Hand- Modus eingestellt werden. Im Auto-Modus wird die Wassermenge automatisch

proportional zu der Messgeschwindigkeit geregelt. Beim Hand-Modus wird die eingestellte Wassermenge unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Zugfahrzeuges konstant gehalten. Am Display (siehe Abbildung 5-13) können die aktuellen Messparameter Geschwindigkeit, Durchflussmenge, Wasserfilmdicke und der Betriebsmodus abgelesen werden [JANISCH, 2002].

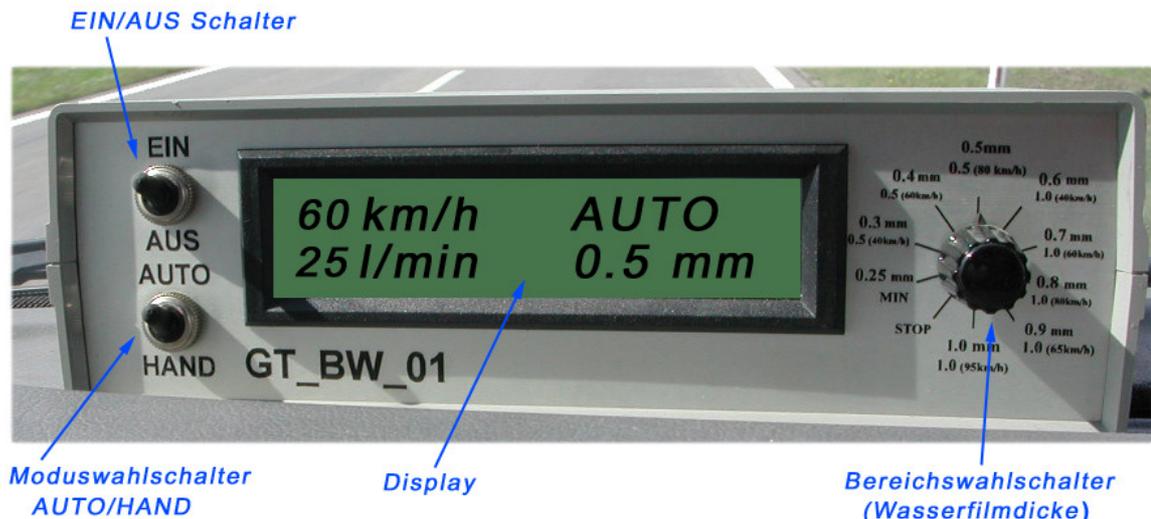


Abbildung 5-13: Bedienteil des Bewässerungssystems GT-BW-01 [JANISCH, 2002].

Als Datenerfassungseinheit wird ein Laptop mit der Software „RoadManager“ der Firma Mechatronic verwendet. Der Laptop ist während der Messung mit einem Datenkabel mit dem GripTester verbunden und zeichnet die gemessenen Daten auf. Mit der Software „RoadManager“ kann man GripTester Einstellungen und die GripTester Kalibrierung wählen. Dabei kann man eine Distanzkalibrierung des jeweiligen Messreifens durchführen bzw. einen bereits kalibrierten Messreifen auswählen. Neben dem gemessenen Reibungsbeiwert μ_{GT} erhält man die Möglichkeit, weitere Informationen wie Name des Messtechnikers, Gerätenummer, Wasserfilmdicke, berechneter Wasserfluss, Wetterbedingungen, Wasser-, Umgebungs- und Oberflächentemperatur abzuspeichern. Die Griffigkeitsmessdaten können entweder mit der Software „RoadManager“ oder mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. MS Excel) dargestellt werden. Mit der Software „RoadManager“ kann man Messkurven verschiedener Messfahrten gegenüberstellen, sowie die Differenz zweier Messkurven bestimmen. Außerdem kann man die Messkurven verschieben, da der Startpunkt der Messung bei einer Messgeschwindigkeit von z.B. 60 km/h nicht immer

exakt getroffen werden kann. Zur Darstellung mittels Tabellenkalkulationsprogramm können die *.grt Dateien der Software „RoadManager“ einfach per Importfunktion eingelesen werden.

Als Zugfahrzeug kann jedes beliebige Fahrzeug mit entsprechend großer Ladefläche und genügender Leistungsstärke eingesetzt werden. Wichtig ist, dass der Wassertank und der GripTester auf der Ladefläche Platz finden, damit der GripTester im Zugfahrzeug mittransportiert werden kann (siehe Abbildung 5-14). Der einfache Transport in einem gängigen Kleintransporter kann beim Einsatz auf Projektebene Überstellungszeiten und somit Kosten verringern. Der Nachteil gegenüber den dynamischen Hochleistungsgeräten RoadSTAR, SCRIM oder SRM ist die geringere Leistungsfähigkeit auf Netzebene wegen der kleinen Wassertankgröße. Deshalb soll der GripTester nicht nur als Alternative, sondern primär als Ergänzung zu diesen Hochleistungsgeräten gesehen werden [PFEILER, 2002].

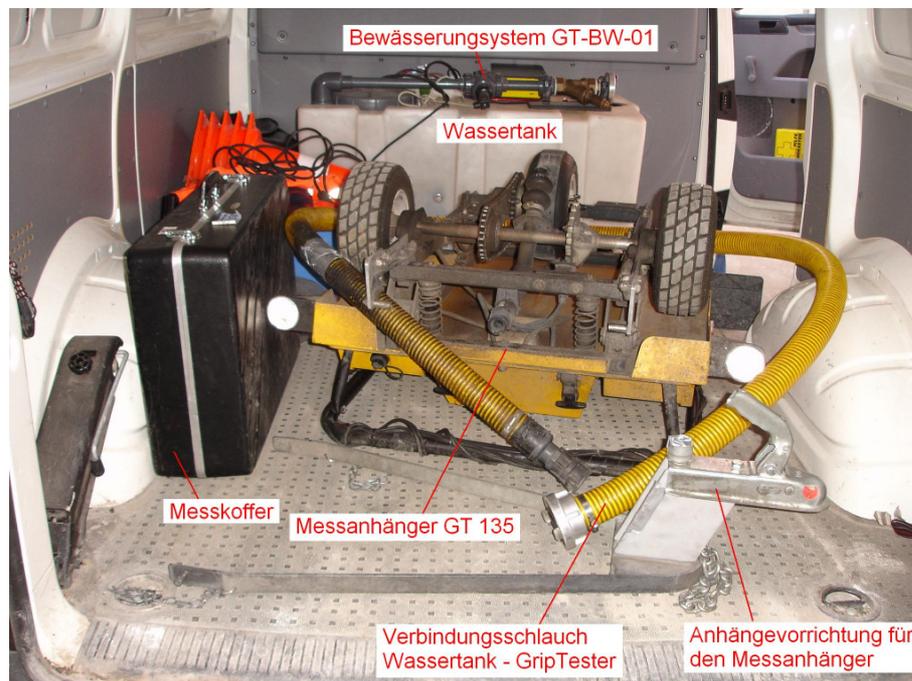


Abbildung 5-14: Ladefläche des Kleintransporters inklusive Wassertank und GripTester beim Transport (Foto: ISTU-Archiv).

Ohne Wasserfilm bzw. am Ende eines Messvorgangs muss der GripTester mit angehobenem Messrad transportiert werden, damit ein großer Verschleiß des Messrades vermieden wird. Für kurze Strecken (zur Messstelle, zum Wassertanken, usw.) kann

das Messrad ganz einfach mittels eines Spanngurtes angehoben werden (siehe Abbildung 5-15). Dadurch kann man ohne viel Aufwand kurze Strecken ohne Messdurchführung zurücklegen.

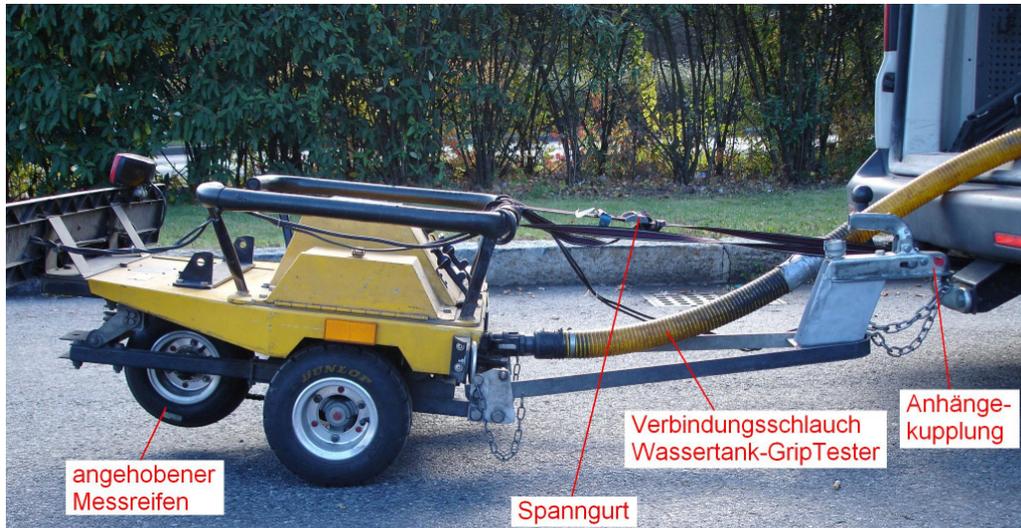


Abbildung 5-15: Transport mittels Spanngurt zum Anheben des Messrades (Foto: ISTU-Archiv).

Technische Daten [PFEILER, 2002], [JANISCH, 2002]:

Abmessungen:	$l = 1010$, $b = 790$, $h = 510$ mm
Gewicht:	ca. 85 kg
Messreifen:	$\varnothing 10''$ (25,4 cm) profilloser ASTM* Reifen (definiert nach ASTM Standard E1844-96), Reifendruck: 20 psi = 1,38 bar, (*American Society for Testing and Materials)
Antriebsräder:	$\varnothing 10''$ (25,4 cm) profilierte Räder - Dunlop
Messschlupf:	konstanter Schlupf von 15 %
Messgeschwindigkeit:	ca. 5 km/h im Schubbetrieb theoretisch bis 130 km/h (bis 80 km/h zugelassen) im Schleppbetrieb
Messauflösung:	4, 16 cm Intervall im Schubbetrieb 40, 80 cm Intervall im Schleppbetrieb
Mittelungslänge:	beliebig ab 0,1 m Die Mittelungslänge ist am Messgerät nicht einstellbar,

sondern wird mit der Software gewählt.

Stromversorgung: DryFit A512/16, 12 Volt, 8500 mAmp

Messbedingungen:

Für die Griffigkeitsmessungen sind folgende Einsatzbedingungen einzuhalten, um die Einflüsse von Witterung und Straßenzustand möglichst gering zu halten und damit die Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit von Griffigkeitsmessungen zu gewährleisten [FSV, 2002], [JANISCH, 2002]:

- Lufttemperatur: $\geq 3 \text{ °C}$
- Fahrbahnoberflächentemperatur: $5 \text{ °C bis } 50 \text{ °C}$
- Fahrbahnzustand: keine sichtbaren Verschmutzungen
- Witterung: keine Messungen bei Regen.

5.3.1.2 RoadSTAR (Road Surface Tester of Arsenal Research)

Das dynamische Messfahrzeug RoadSTAR I (siehe Abbildung 5-16) wurde im Jahr 1990 vom Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal (ÖFPZ Arsenal) entwickelt und bis heute laufend erweitert. Der RoadSTAR I erfasst die wichtigsten Oberflächeneigenschaften sowie Trassierungsparameter der Fahrbahn bei Messgeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 120 km/h. Bei der Erfassung des Straßenzustandes im österreichischen Straßennetz liegt die Standardgeschwindigkeit bei 60 km/h.

Dieser zweiachsige LKW mit luftgefedertem Fahrgestell der Marke ÖAF wird von einem 340 KW (460 PS) starken Dieselmotor angetrieben. Die Leistung des Motors wurde so gewählt, um eine Messung bei vollem Wassertank auf einer Fahrbahn mit einem Griffigkeitsbeiwert von $\mu_{RS} = 1,0$ und einer Steigung von 8 % bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h zu gewährleisten. Der Wassertank über der Hinterachse hat ein Fassungsvermögen von 6.000 Litern. Mit einer Tankfüllung und bei einer vor-

gewählten konstanten Wasserfilmdicke von 0,5 mm kann eine Messstreckenlänge von bis zu 60 km erreicht werden [MAURER et al., 2002], [ARSENAL, 2006].



Abbildung 5-16: Messfahrzeug RoadSTAR I im Messeinsatz [ARSENAL, 2006].

Am RoadSTAR I sind Messeinrichtungen (siehe Abbildung 5-16) zur Erfassung folgender Messgrößen montiert [MAURER et al., 2002], [ARSENAL, 2006]:

- Griffigkeit (Messrad mit 18 % Schlupf, blockiertes Messrad und ABS-Messung)
- Textur (mittlere Profiltiefe MPD – Mean Profile Depth, geschätzte Oberflächentexturtiefe ETD – Estimated Texture Depth), siehe Kapitel 5.3.2.1
- Querebenheit (Querprofil, Spurrinntentiefe links und rechts, Profiltiefe links und rechts, Spurrinnenbreite, Spurrinnenvolumen, theoretische Wasserfilmdicke, Wasserfilmbreite und Wasserfilmvolumen)
- Längsebenheit (Längsprofil, IRI – International Roughness Index, RN – Ride Number, Wellenlängenspektrum)
- Fahrbahntemperatur

- Anlageverhältnisse (Kurvenradien, Kurvenkrümmung, Querneigung, Längsneigung, Höhenprofilverlauf, Längenschnitt, dGPS-Koordinaten und Videoerfassung von Objekten des Straßenraums wie z.B.: Verkehrszeichen, Bodenmarkierungen, etc.)
- Fahrbahnrisse ab 1 mm, Schlaglöcher etc. mit einem Hochgeschwindigkeits-Videosystem

Die Messung erfolgt computerunterstützt, wobei unterschiedliche Messprogramme vordefiniert und vom Bediener abgerufen werden können. Ein grafisches Benutzer-Interface informiert den Bediener über die aktuellen Messdaten und Betriebszustände. Weiters können während der Fahrt zusätzliche Eingaben wie Belagswechsel, Brückenbereiche, Stationierung und dergleichen vermerkt und mitausgewertet werden [MAURER et al., 2002].

Seit 2005 steht ein zweiter RoadSTAR (RoadSTAR II) als mögliches internationales Referenzfahrzeug nur für die Griffigkeitsmessung zur Verfügung. Dieses Referenzfahrzeug liefert Griffigkeitsmesswerte bei [ARSENAL, 2006]:

- 18 % Schlupf (Standard)
- 25 % Schlupf (Messgeschwindigkeit 40 km/h)
- 50 % Schlupf (Messgeschwindigkeit 60 km/h)
- 62,5 % Schlupf (Messgeschwindigkeit 80 km/h)

Nachfolgend wird nur auf die Griffigkeitsmessung mit dem Messsystem RoadSTAR I, näher eingegangen. Die dynamische Lasertexturmessung mit dem Messfahrzeug RoadSTAR I wird im Kapitel 5.3.2.1 genau beschrieben.



- | | |
|--|--|
| 1.....Messrad mit Bremsmomentenerfassung | 5.....Getriebe zur Erzeugung von 18 % Schlupf |
| 2.....Belastungszylinder | 6.....Wassertank |
| 3.....Bewässerungseinheit | 7.....Geräteaufbewahrung |
| 4.....Vorbewässerung | 8.....Fahrerkabine, digitale Messwerterfassung |

Abbildung 5-17: Bestandteile der Griffigkeitsmessung am Messfahrzeug RoadSTAR I [ARSENAL, 2006].

Griffigkeitsmessung:

Die Griffigkeitsmessungen mit dem RoadSTAR I erfolgen mit einem eigens adaptierten und verbesserten modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser (STURM). Diese Messeinrichtung hat im Vergleich zum Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) (siehe Kapitel 5.3.1.3) völlig neu konstruierte bzw. verbesserte Aggregate. Die Neukonstruktion der Belastungseinheit – ein Druckluftbelastungszylinder sorgt für einen konstanten Reifenanpressdruck des Messrades – und die zusätzliche Erfassung der aktuellen Radlasten erhöht die Messgenauigkeit. Mit dem RoadSTAR können unterschiedliche Bremszustände, die beim Verzögern eines Fahrzeuges auftreten simuliert und untersucht werden. Die Griffigkeitsmessungen können bei den Bremszuständen blockiertes Rad (100 % Schlupf), gebremstes Rad mit konstantem Schlupf (18 % Schlupf) und gebremstes Rad mit Antiblockiersystem (ABS) durchgeführt werden. Der erforderliche Wasserzufluss hängt von der vorgegebenen Messge-

schwindigkeit ab. Die Wasserfilmdicken sind zwischen 0,5 mm und 2 mm und die Messgeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 120 km/h vorwählbar. Die Standardgriffigkeitsmessung im österreichischen Straßennetz erfolgt am gebremsten Rad mit 18 % Schlupf bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h und einer konstanten Wasserfilmdicke von 0,5 mm. Die Griffigkeitsmessung erfolgt in der rechten Radspur mit einem international genormten Messreifen. Der Messreifen ist ein gerillter PIARC-Reifen (165 R 15, Innendruck 2 bar) und ist am Heck des Fahrzeuges so montiert, dass er sich immer in die Stellung schwenkt, die nahezu seitenkraftfrei abläuft. Das Messgerät liefert Reibungsbeiwerte in einem Längsabstand von 20 cm. Je nach Erfordernis können die Messwerte zu Messlängen ≥ 5 m zusammengefasst werden. In Abbildung 5-18 ist die Griffigkeits- und Bewässerungseinrichtung dargestellt [MAURER et al., 2002], [ARSENAL, 2006].

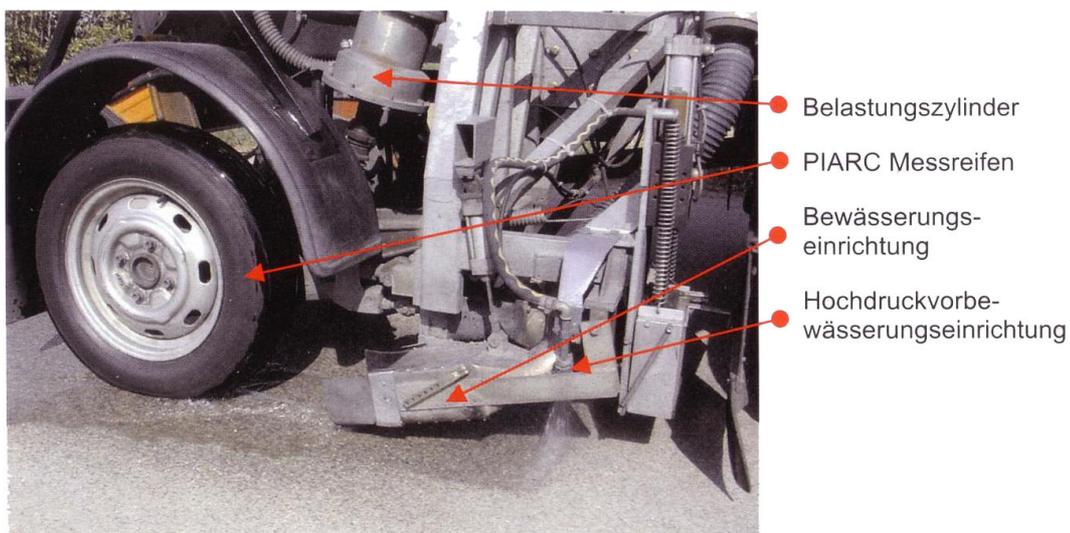


Abbildung 5-18: Griffigkeitsmess- und Bewässerungseinrichtung am Messfahrzeug RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].

Bei höheren Geschwindigkeiten ergeben sich bei der Griffigkeitsmessung Grenzwinkel, die aus der Konstruktion der Griffigkeitsmesseinrichtung und den Wankbewegungen des RoadSTAR resultieren. In der Abbildung 5-19 ist der Zusammenhang zwischen der Messgeschwindigkeit und den minimalen Kurvenradien dargestellt. Die geometrische Eigenschaft der Griffigkeitsmesseinrichtung bildet bis zu einer Messgeschwindigkeit von etwa 60 km/h das Limit für die minimal messbaren Kurvenradien, weil das Messrad nicht mehr frei laufen kann. Bei einer Messgeschwindigkeit von über 60 km/h sind die Wankbewegungen maßgebend. Aus Abbildung 5-19 sieht

man, dass bei der in Österreich angewendeten Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h und bei einem Kurvenradius unter 85 m keine Griffigkeitsbeiwerte ermittelt werden können. Sind die Radien kleiner als 85 m muss die Messgeschwindigkeit verringert werden [MAURER et al., 2002], [FSV, 2002].

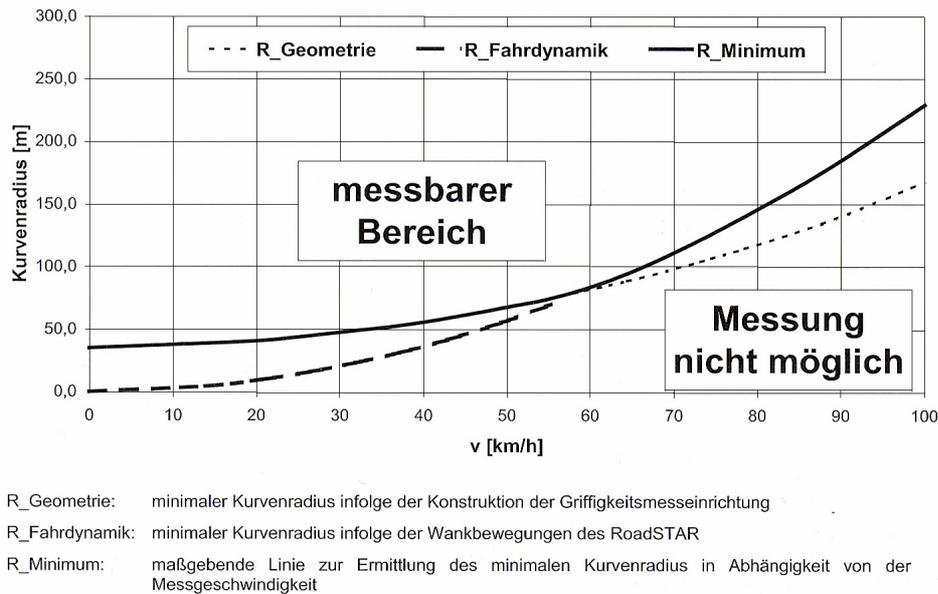


Abbildung 5-19: Minimale Kurvenradien in Abhängigkeit von der Messgeschwindigkeit [FSV, 2002].

Das Messprinzip der Griffigkeitsmessung am RoadSTAR beruht auf einem Messrad, das an einer Schwinge aufgehängt ist (siehe Abbildung 5-20 und Abbildung 5-21). Diese Schwinge lässt Schwenk- und Federbewegungen zu. Weiters wird das Messrad durch ein Getriebe mit 18 % Schlupf angetrieben. Der Sturz des Messrades ist durch die gewählte Aufhängung auf den Wert Null eingestellt. Die Radmittelebene steht senkrecht zur Fahrbahnebene. Das Messrad schwenkt selbständig in die Stellung, in der es nahezu seitenkraftfrei läuft. Der Schräglaufwinkel ist daher bei einer Kurvenfahrt annähernd Null. Mit Hilfe eines Pneumatikzylinders wird das Rad auf die Fahrbahn gepresst bzw. entlastet, um eine definierte Radlast zu erzeugen. Während der Messfahrt werden die aktuellen Radlasten sowie das Bremsmoment am Messrad kontinuierlich erfasst und mit Hilfe des bekannten Radhalbmessers des Messrades der Reibungsbeiwert μ_{RS} bestimmt [MAURER et al., 2002].

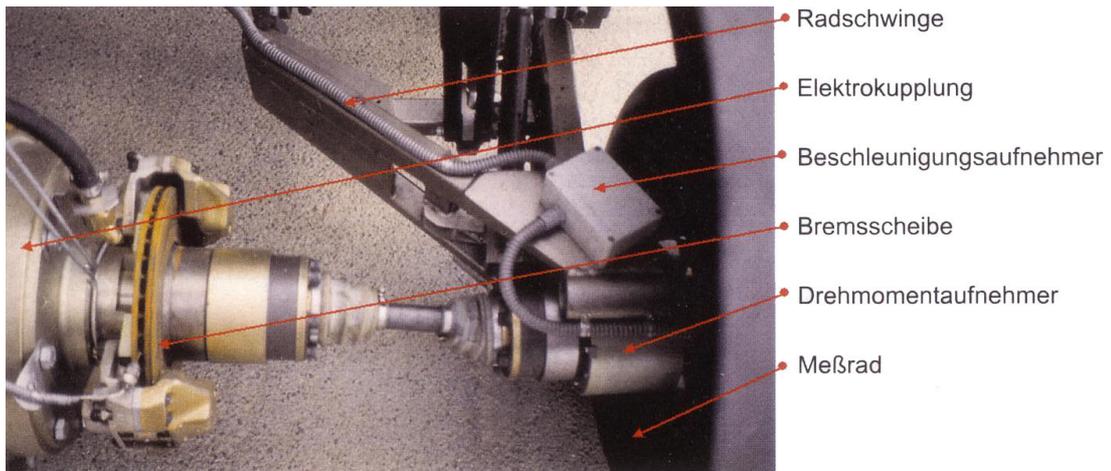


Abbildung 5-20: Griffigkeitsmesseinrichtung am Messfahrzeug RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].

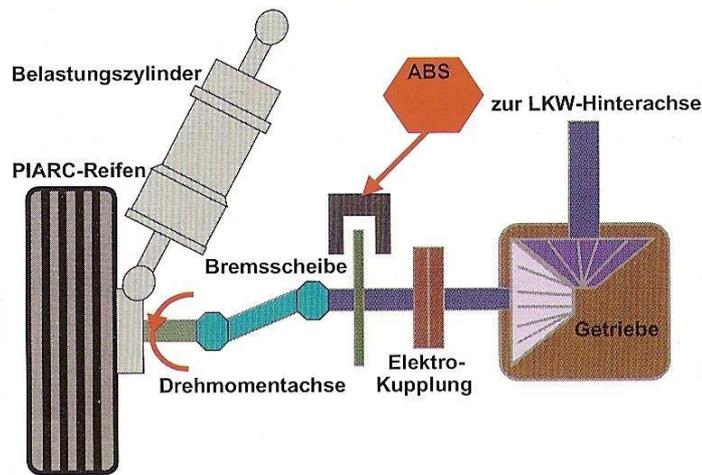


Abbildung 5-21: Systemskizze der Griffigkeitsmesseinrichtung am Messfahrzeug RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].

Die Bremskraft F_B , die zwischen Reifen und Fahrbahn übertragen wird, kann aus dem Bremsmoment berechnet werden:

$$F_B = \frac{M_B}{r} \quad (5.4)$$

F_B Bremskraft [kN]

M_B Bremsmoment [kNm]

r Abstand Messradmittelpunkt zur Fahrbahnoberfläche [m]

Den Reibungsbeiwert μ_{RS} erhält man aus dem Quotienten der Bremskraft F_B und der bekannten Radlast F_N .

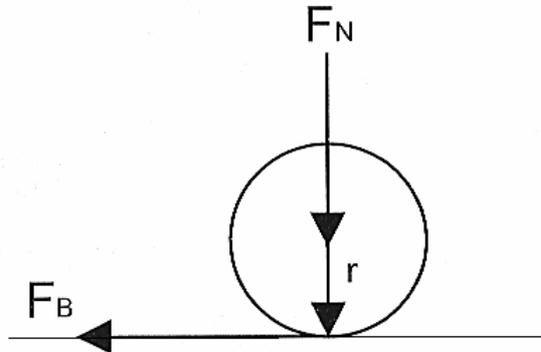


Abbildung 5-22: Ermittlung des Reibungsbeiwertes μ_{RS} mit dem Messfahrzeug RoadSTAR [MAURER et al., 2002]

$$\mu_{RS} = \frac{F_B}{F_N} \quad (5.5)$$

μ_{RS} Reibungsbeiwert [-]

F_B Bremskraft [kN]

F_N aktuelle Radlast [kN]

Messbedingungen:

Um Einflüsse durch Temperatur- und jahreszeitliche Schwankungen möglichst gering zu halten und weiters die Vergleichbarkeit von Messungen zu gewährleisten, sind nach RVS 11.06.65 [FSV, 2002] für die Griffigkeitsmessungen folgende standardisierte Messbedingungen einzuhalten:

- Lufttemperatur: $\geq 3 \text{ °C}$
- Fahrbahnoberflächentemperatur: 5 °C bis 50 °C
- Fahrbahnzustand: keine sichtbaren Verschmutzungen
- Witterung: keine Messungen bei Regen.

Weiters werden die Griffigkeitsmessungen nach RVS 11.06.65 [FSV, 2002] mit folgenden Standardmessbedingungen durchgeführt:

- Messreifen: PIARC-Normmessreifen
- Messverfahren: konstanter Schlupf bei 18 %
- Statische Radlast: 3.500 N
- Messgeschwindigkeit: 60 km/h
- Wasserfilmdicke: 0,5 mm
- Mittelungslänge: 5,0 m
- Auswertelänge: 50 m
- Lage der Messspur: rechte Rollspur.

5.3.1.3 SRM (Stuttgarter Reibungsmesser)

Der Stuttgarter Reibungsmesser besteht aus einem LKW mit einem Wassertank und einem am Heck auf einer Parallelogrammaufhängung montierten längslaufenden Messrad. Das in Abbildung 5-23 dargestellte Messfahrzeug der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ist sowohl mit einem SRM- als auch mit einem SCRIM-Messsystem ausgestattet [HUSCHEK et al., 1996a].

Beim Messprinzip des SRM wird die Vollbremsung ohne Anti-Blockier-System (ABS) simuliert, indem das Messrad während der Messfahrt bei konstanter Geschwindigkeit intermittierend blockiert wird (siehe Abbildung 5-25). Das Bremsmoment wird während des blockierten Zustandes erfasst. Die vom Reifen auf die Fahrbahn übertragene Bremskraft F_B kann aus dem Bremsmoment und dem bekannten Radhalbmesser berechnet werden [FGSV, 2004a].



Abbildung 5-23: Das SRM-/SCRIM-Messsystem des BAST-Messfahrzeuges [HUSCHEK et al., 1996a].

$$F_B = \frac{M_B}{r} \quad (5.6)$$

F_B übertragene Bremskraft

M_B gemessenes Bremsmoment

r Messradhalbmesser

Bildet man den Quotienten aus der Bremskraft F_B und der bekannten Radlast F_N erhält man den Längskraftbeiwert μ_{SRM} .

$$\mu_{SRM} = \frac{F_B}{F_N} \quad (5.7)$$

μ_{SRM} Längskraftbeiwert

F_B Bremskraft

F_N Radlast

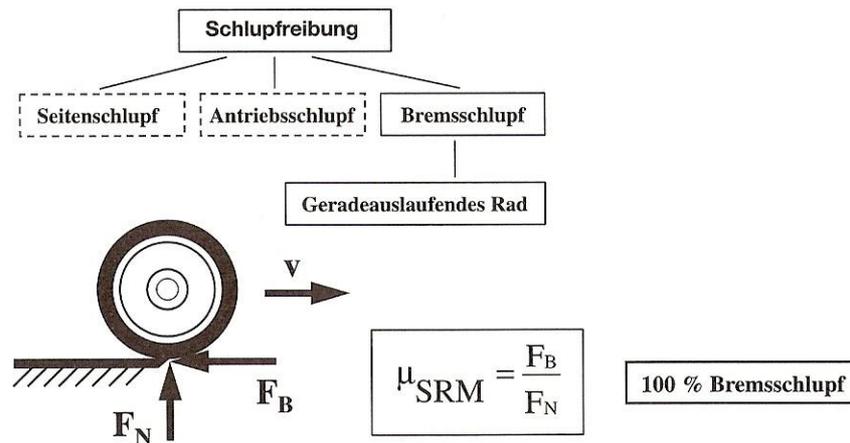


Abbildung 5-24: Bestimmung des Längskraftbeiwertes am blockiert gebremsten Rad [FGSV, 2004a].

Die konstante Radlast wird durch einen reibungsarmen Pneumatikzylinder erzeugt. Beim Griffigkeitsmessverfahren SRM wird somit die Längskraft am blockierten und geradeauslaufenden Messrad (zusätzliches Rad in der rechten Rollspur des Messfahrzeuges) bestimmt [FGSV, 2004a].

Die Bewässerung der Fahrbahn erfolgt unmittelbar vor dem Messrad. Das hierzu notwendige Wasser wird in einem Vorratstank mitgeführt. Zur Erzeugung eines rechnerisch konstanten Wasserfilms von 1 mm wird hierbei die Wassermenge geschwindigkeitsabhängig dosiert.

Die Soll-Messgeschwindigkeit (40, 60, 80 km/h) ist in Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen zu wählen. Die Zykluslänge eines Messabschnittes beträgt 25 m, davon werden 20 m blockierend gemessen und 5 m läuft das Messrad frei rollend ab (siehe Abbildung 5-25). Aus den letzten 15 m der Messlänge von 20 m wird der mittlere Längskraftbeiwert μ_{RS} bestimmt und wird als 25-m-Einzelwert abgespeichert [FGSV, 2004a].

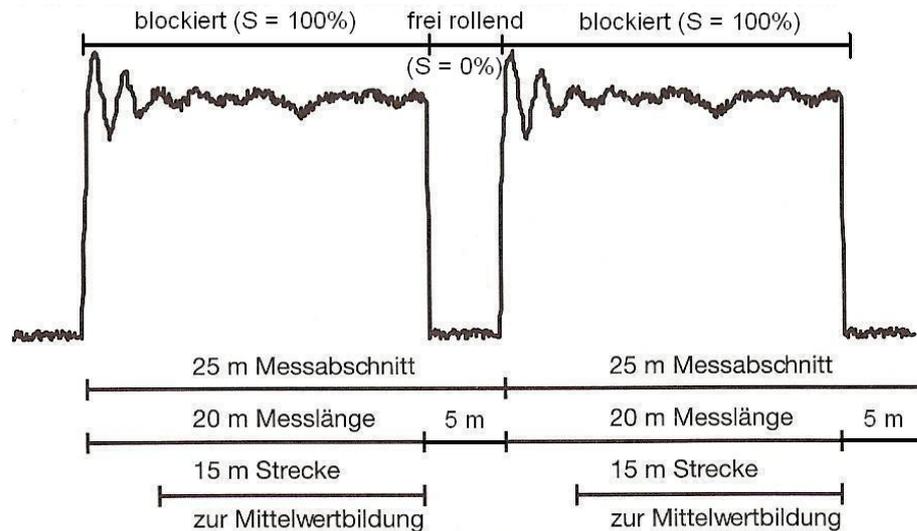


Abbildung 5-25: Erläuterung von Messabschnitt, Messlänge und Strecke zur Mittelwertbildung [FGSV, 2004a].

Da die Griffigkeitsmesswerte stark von der Geschwindigkeit abhängen, ist die oben angeführte Soll-Messgeschwindigkeit einzuhalten. Jedoch können verkehrsbedingt Abweichungen von der Soll-Messgeschwindigkeit (ΔV) auftreten, die eine Korrektur auf die jeweilige Soll-Messgeschwindigkeit erfordern. Um die Gültigkeit einer Messung einzuhalten, darf die maximale Abweichung für $\Delta V \pm 10$ km/h betragen.

Die Geschwindigkeitskorrektur lautet:

$$\mu_{\text{SRM},k(v)} = \mu_{\text{SRM}} + \frac{(V_{\text{ist}} - V_{\text{soll}})}{20 \text{ km/h}} \cdot 0,09 \quad [-] \quad (5.8)$$

$\mu_{\text{SRM},k(v)}$ normierter, auf Soll-Messgeschwindigkeit umgerechneter SRM-Griffigkeitswert [-], die entsprechende Soll-Messgeschwindigkeit ist als Zahl (40, 60, 80) einzusetzen

μ_{SRM} gemessener Längskraftbeiwert am blockiert gebremsten und gerade auslaufenden Rad im 25 m-Abschnitt [-]

V_{ist} mittlere Geschwindigkeit im 25 m-Abschnitt [km/h]

V_{soll} Soll-Geschwindigkeit [km/h]

ΔV $V_{\text{ist}} - V_{\text{soll}}$ [km/h].

Beim SRM ist bei den Messwerten keine Temperaturkorrektur nötig, da der Temperatureinfluss vernachlässigbar klein ist. Aus den korrigierten Messwerten ist für vier aufeinander folgende 25 m-Abschnitte der Mittelwert eines 100 m-Abschnittes zu bilden (100 m-Einzelwert) [FGSV, 2004a].

5.3.1.4 Messanhänger Skiddometer BV 11

Das Skiddometer BV 11 (siehe Abbildung 5-26) ist ein weltweit verbreitetes System für die Ermittlung und Dokumentation von Reibungsbeiwerten auf Flugbetriebsflächen. Beim Flughafen Wien werden monatliche Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer von der Flugbetriebsleitung (FBL) durchgeführt. Diese Messungen bilden die Grundlage für die Terminplanung der regelmäßigen Entfernung des Gummiabriebes, um ein sicheres Starten und Landen zu gewährleisten. Vor allem in der Schweiz werden Skiddometer-Messzüge auch für Griffigkeitsuntersuchungen des Straßennetzes verwendet. Entwickelt wurde das Skiddometer am schwedischen Straßen- und Transportforschungsinstitut (Statens väg-och transportforskningsinstitut VTI).

Das Skiddometer BV 11 besteht aus einem dreirädrigen, einachsigen Messanhänger mit einer Gesamtlänge von 2,45 m und einem Gesamtgewicht von 400 kg. Der Messanhänger wird mit einer Standard-Anhängerkupplung mit einem Zugfahrzeug verbunden. Die beiden äußeren Räder dienen als Laufräder, die dem System die seitliche Stabilität geben. Das längs laufende Messrad ist in der Mitte angebracht und besitzt einen kleineren Durchmesser als die beiden Laufräder, wodurch der für die Messung erforderliche Schlupf erzeugt werden kann. Die Reibungskraft in der Grenzfläche zwischen Reifen und Fahrbahn wird mit Hilfe des Prinzips der Drehmomentmessung durch Dehnmessstreifen in Brückenschaltung gemessen. Das Verhältnis der gemessenen Reibungskraft zur statischen vertikalen Radlast ergibt dann den Reibungsbeiwert. Ein Zugfahrzeug muss neben einer entsprechenden Motorleistung auch ein Bewässerungssystem mit Wassertank integriert haben, um einen Wasserfilm aufzubringen. Mit dem Bewässerungssystem des Skiddometers lässt sich eine stufenlos veränderbare rechnerische Wasserfilmdicke von bis zu etwa 1,0 mm vor dem Messrad aufbringen. Für Standardmessungen wird meist eine rechnerische Wasserfilmdicke von 0,5 mm gewählt. Der Messanhänger besitzt ein gefedertes Chassis mit

niedrigem Schwerpunkt, abrupte Kurvenfahrten und hohe Geschwindigkeiten sind daher kein Problem. Es sind Messgeschwindigkeiten von 20 km/h bis 160 km/h möglich [LITZKA et al., 1988], [PATRIA, 2006], [FLUGHAFEN WIEN AG, 2006].



Abbildung 5-26: Skiddometer BV 11 mit tragbarem Computer MI 90 [WINDHOFF, 2006].

Bei der ursprünglichen Version des Skiddometers sind nur Messungen unter Schlupf möglich. Das Messrad ist mit den Laufrädern durch Kardanwellen verbunden. Durch den geringeren Radumfang des Messrades entsteht ein konstanter Bremsschlupf gegenüber der Straßenoberfläche, das heißt, das Messrad bewegt sich langsamer fort, als es der Geschwindigkeit des Fahrzeuges entspräche. Der Bremsschlupf ist also von der Größe des Messrades abhängig. Dieser beträgt beim ASTM-Messreifen der Dimension 7.50-14 etwa 14 %, beim größeren PIARC-Messreifen (165 SR 15) entsprechend weniger, und zwar 10,5 %. Für Reifen der Größe 165 SR 13 ergibt sich ein Schlupf von 19 %.

Bei einem modernen Skiddometer kann das Messrad über ein System von elektromagnetischen Bremsen und Kupplungen Griffigkeitsmessungen wahlweise unter Schlupf oder im blockierten Zustand durchführen [LITZKA et al., 1988].

Die Firma Patria Vammas AEC bietet beim Bewässerungssystem zwei Alternativen an:

- On Board System: Dabei ist die Wasserpumpe auf dem Messanhänger Skiddometer BV 11 montiert und der Wassertank ist in oder auf dem Zugfahrzeug angebracht. Die Größe des Wassertanks wird so angeboten, dass er zum jeweiligen Zugfahrzeug passt. Das On Board System ist für die meisten Anwendungen geeignet.
- WMS System: Das Bewässerungssystem ist inklusive eines 1.000 Liter Wassertanks auf dem Messanhänger Skiddometer BV 11 angebracht [PATRIA, 2006].

Der tragbare Skiddometer Computer MI-90 (siehe Abbildung 5-26) kann mit einer Fernbedienung bequem vom Fahrer gesteuert werden. Zur Datensicherung und Auswertung ist ein Speicherstick mit dem Programm „Friclog“ erhältlich. Die Dokumentation der Messfahrten erfolgt durch ein gedrucktes Dokument. Ein wesentlicher zusätzlicher Vorteil ist die fortlaufende Kalibrierung wenn der Skiddometer-Rechner eingeschaltet ist [PATRIA, 2006], [WINDHOFF, 2006].

5.3.1.5 ROAR (Road Analyzer and Recorder)

Die Firma Norsemeter Friction AS entwickelt Griffigkeitsmethoden für Straßenoberflächen und für Flugbetriebsflächen. Das Messgerät ROAR wurde speziell für Messungen auf Straßenoberflächen und das Messgerät RUNAR speziell für Messungen auf Flugbetriebsflächen entwickelt. Nachfolgend wird auf das Messgerät ROAR näher eingegangen. Die Grundeinheit des variablen Messgerätes ROAR kann auf einem Messanhänger oder einem LkW angebracht werden (siehe Abbildung 5-27).

Der ROAR kommt vor allem in Norwegen, USA, Kanada und Australien zum Einsatz, aber auch Länder wie Dänemark, Mexiko, Holland, Portugal, Griechenland, Israel und Estland stehen auf der Referenzliste [NORSEMETER, 2006].

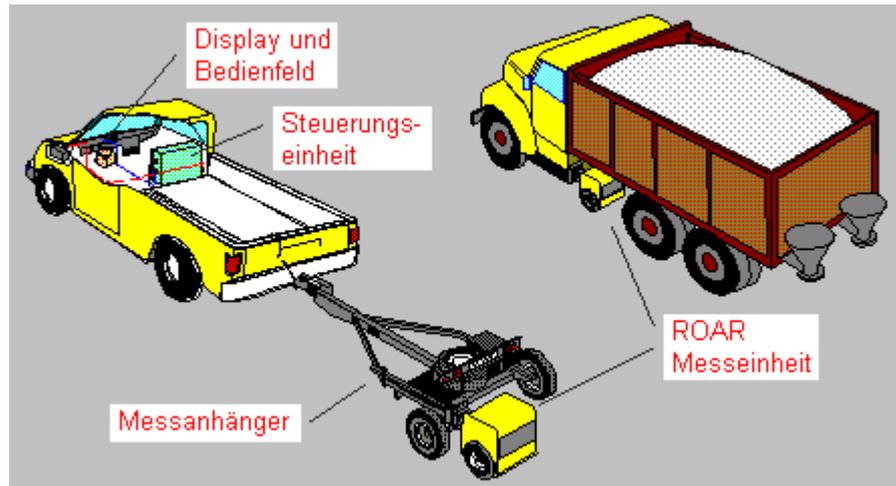


Abbildung 5-27: Systemskizze der Messeinheit ROAR auf einem Messanhänger bzw. LkW [NORSEMETEER, 2006].

Am häufigsten ist das Messgerät ROAR auf einem Messanhänger angebracht, der von einem Zugfahrzeug gezogen wird (siehe Abbildung 5-28). Der Messanhänger mit dem ROAR hat eine Gesamtlänge von 3,53 m, eine Breite von 1,72 und eine Höhe von 1,40 m. Das Gewicht des Messanhängers beträgt 420 kg und der Wassertank fasst zusätzlich 500 l [NORSEMETEER, 2006], [PILLES, 2002].

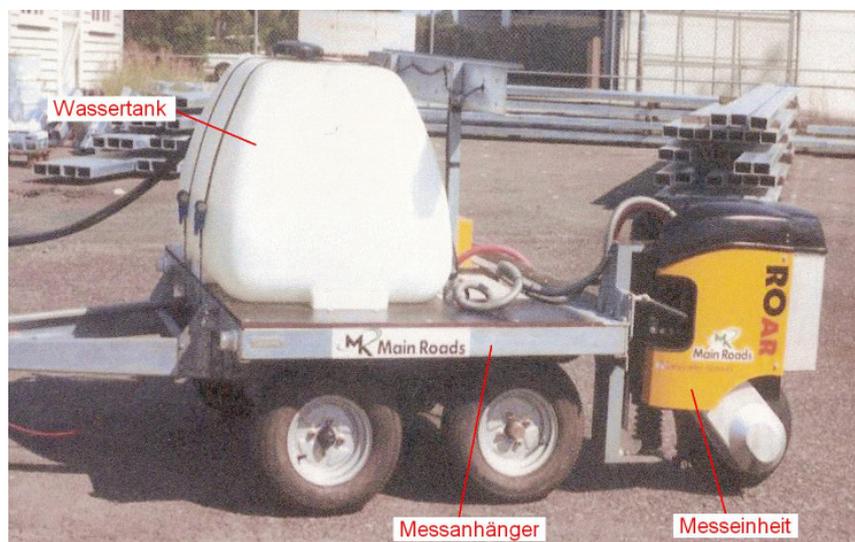


Abbildung 5-28: Messeinheit ROAR auf einem Messanhänger [CLAGUE et al., 2005].

Die Messeinheit mit dem Messrad kann auf der 1,72 m breiten Verstellschiene an der Rückseite des Messanhängers beliebig auf die gewünschte Position versetzt werden (siehe Abbildung 5-29).



Abbildung 5-29: Messeinheit ROAR montiert auf einer Verstelltschiene [CLAGUE et al., 2005].

Die Messeinrichtung besteht aus einem profillosen, schmalen Messreifen der ASTM E-1551 Serie und einer elektronischen Messeinheit. Die Messung und Auswertung erfolgt computerunterstützt. Die Norsemeter Software „Pavement Surface Expert“ ist modular aufgebaut [NORSEMETER, 2006]:

- Basis-Modul: filtert die Messdaten, Straßenmarkierung und -identifizierung, statistische Analyse und grafische Aufzeichnung der Daten, es wird für jeden ROAR-Parameter und jeden Messabschnitt der Mittelwert, die Standardabweichung und das 95 % Konfidenzintervall errechnet;
- Optional Modul 1 – Mikrotextur: aus den variablen Schlupfmessungen kann die Mikrotextur der Straßenoberfläche berechnet werden;
- Optional Modul 2 – Makrotextur: dieses Modul gibt dem Anwender die Option aus einem großen Bereich von Laser-, Volumetrischen- oder Ausflussmessgeräten zu wählen, aus den variablen Schlupfmessungen wird die Makrotextur der Straßenoberfläche berechnet und in der gewählten Skala dargestellt;
- Optional Modul 3 – Bremsindex (Bremswegverhältnis): diese Option berechnet das Bremswegverhältnis für Fahrzeuge mit einem konventionellen und einem ABS Bremssystem, dieser Index zeigt das Verhältnis zwischen der idealen Bremsleistung (SDR =1) und der aktuellen Bremsleistung auf dem Messab-

schnitt, ein $SDR = 2$ sagt aus, dass das Fahrzeug einen doppelt so langen Bremsweg hat als der ideale Bremsweg;

- Optional Modul 4 – Umwandlung der Griffigkeitswerte in Werte anderer Griffigkeitsmessgeräte: der Anwender kann aus den Griffigkeitsmessgeräten SCRIM, GripTester, SRM, Mu-Meter, Skiddometer, SRT-Pendelgerät, usw. wählen;
- Optional Modul 5 – Geschwindigkeitsanpassung der Messungen: dieses Modul ermöglicht dem Anwender die Messungen bei einer variablen Geschwindigkeit durchzuführen und die Griffigkeitswerte werden analysiert als wäre die Geschwindigkeit konstant.

Das hydraulische Bremssystem des ROAR kann Messungen zwischen 0 % und 100 % Schlupf beliebig variieren. Weiters sind auch Messungen mit konstantem Schlupf möglich. Die Wasserfilmdicke kann während der Messung verändert werden und die Messgeschwindigkeit liegt zwischen 20 km/h und 130 km/h [NORSEMETER, 2006], [PILLES, 2002].

5.3.1.6 SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine)

Dieses Messsystem wurde in England von der Firma WDM Limited unter der Lizenz von UK Transport Research Laboratory (TRL) entwickelt. Aufgrund der großen Leistungsfähigkeit von bis zu 200 bis 300 km Messstreckenlänge pro Tag wird das Messgerät SCRIM international weit verbreitet eingesetzt. In einigen europäischen Ländern wie Deutschland, England oder Frankreich wird damit auf Netzebene die Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahngriffigkeit durchgeführt [WDM, 2006], [PILLES, 2002].

Das Messfahrzeug SCRIM (siehe Abbildung 5-30) besteht aus einem kommerziellen LKW-Fahrgestell und ist zusätzlich mit einem Wassertank samt Bewässerungssystem, einem oder zwei Messreifen und der Datenaufnahme-Elektronik ausgestattet. Es gibt SCRIM-Trägerfahrzeuge die das Messrad in der rechten Radspur angebracht haben und andere, die in der linken Radspur (England) mit einem Messrad ausgestattet sind [WDM, 2006].



Abbildung 5-30: Messfahrzeug SCRIM im Messeinsatz [LSt, 2006].

Die Messeinheit des Messfahrzeuges SCRIM (siehe Abbildung 5-31) bildet ein um 20 Grad schräg zur Fahrtrichtung laufendes Messrad, welches mit einer konstanten Normalkraft von 1960 N belastet wird [FGSV, 2001].

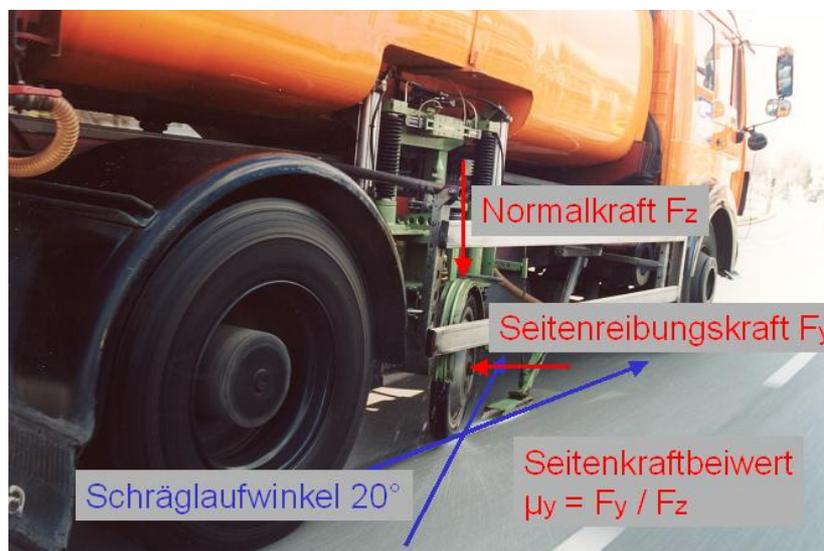


Abbildung 5-31: Die Messeinheit des Messfahrzeuges SCRIM [WIKIPEDIA, 2006].

Durch eine mechanische Schrägstellung des Messreifens wirkt eine Seitenkraft auf den Reifen. Diese Seitenkraft wird vom SCRIM erfasst. Das Verhältnis aus der ge-

messenen Seitenreibungskraft F_y und der bekannten Normalkraft F_z ergibt den Seitenkraftbeiwert μ_y (vgl. Abbildung 5-31 und Abbildung 5-32), [FGSV, 2001].

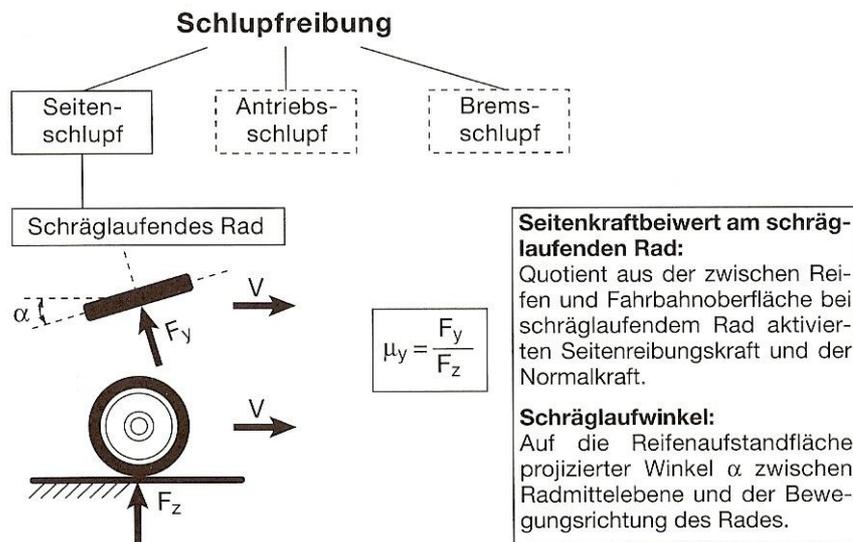


Abbildung 5-32: Bestimmung des Seitenkraftbeiwertes μ_y [FGSV, 2001].

Die Messung erfolgt bei einer rechnerischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm und je nach Art der Straße bei einer Soll-Messgeschwindigkeit von 40 km/h, 60 km/h oder 80 km/h. Als SCRIM-Messreifen wird ein profilloser, schmaler Reifen der Größe 3 x 20 Zoll nach PIARC verwendet. Der mittlere Seitenkraftbeiwert μ_{SCRIM} von 20 m Messlänge ist als 20 m-Einzelwert aus mindestens 25 Einzelabtastungen zusammen mit den zugeordneten Messdaten, die unten angeführt sind, als ein Datensatz abzuspeichern. Da in der Praxis jedoch verkehrsbedingt Abweichungen von der Soll-Messgeschwindigkeit (ΔV) auftreten, ist eine Korrektur der Griffigkeitsmesswerte erforderlich. Es ist aber eine maximale Abweichung ΔV von ± 10 km/h für die vorgeschriebene Soll-Messgeschwindigkeit einzuhalten [FGSV, 2001].

Nach FGSV [2001] lautet der korrigierte Seitenkraftbeiwert bezüglich Geschwindigkeit:

$$\mu_{\text{SCRIM},k(v)} = \mu_{\text{SCRIM}} + \frac{(V_{\text{ist}} - V_{\text{soll}})}{20 \text{ km/h}} \cdot 0,07 \quad [-] \quad (5.9)$$

$\mu_{\text{SCRIM},k(v)}$...normierter, auf Soll-Messgeschwindigkeit umgerechneter SCRIM-Griffigkeitswert [-], die entsprechende Soll-Messgeschwindigkeit ist als Zahlenwert (40, 60,80) einzusetzen

μ_{SCRIM} mittlerer, gemessener Seitenkraftbeiwert im 20 m-Abschnitt [-]

V_{ist} mittlere Geschwindigkeit im 20 m-Abschnitt [km/h]

V_{soll} Soll-Messgeschwindigkeit [km/h]

ΔV $V_{\text{ist}} - V_{\text{soll}}$ [km/h].

Der nach der Geschwindigkeit korrigierte Seitenkraftbeiwert ($\mu_{\text{SCRIM},k(v)}$ [-]) ist in Abhängigkeit von der Fahrbahntemperatur (TF [°C]) nach FGSV [2001] wie folgt zu korrigieren:

$\mu_{\text{SCRIM},k(v,v)} = \mu_{\text{SCRIM},k(v)} - 0,01 \quad [-]$	für $5,0^\circ\text{C} \leq \text{TF} < 10,0^\circ\text{C}$
$\mu_{\text{SCRIM},k(v,v)} = \mu_{\text{SCRIM},k(v)} \pm 0,00 \quad [-]$	für $10,0^\circ\text{C} \leq \text{TF} < 30,0^\circ\text{C}$
$\mu_{\text{SCRIM},k(v,v)} = \mu_{\text{SCRIM},k(v)} + 0,01 \quad [-]$	für $30,0^\circ\text{C} \leq \text{TF} < 40,0^\circ\text{C}$
$\mu_{\text{SCRIM},k(v,v)} = \mu_{\text{SCRIM},k(v)} + 0,02 \quad [-]$	für $40,0^\circ\text{C} \leq \text{TF} \leq 50,0^\circ\text{C}$.

Aus den korrigierten Messwerten ist für fünf aufeinander folgende 20-m-Abschnitte der Mittelwert eines 100 m-Abschnittes zu bilden (100 m-Einzelwert) [FGSV, 2001].

Die WDM Software „Skid SCRIM Manager“ (SSM) wurde konzipiert, um eine komplette Lösung zum Regeln, Verarbeiten und Berichten der SCRIM-Messdaten im Microsoft Windows Betriebssystem zu liefern. Weiters werden neben dem Seitenkraftbeiwert folgende Messdaten aufgezeichnet: Wegstrecke, Geschwindigkeit, Fahrbahn-, Luft-, Wasser- und Messreifentemperatur, Randabstandsdaten der Messspur, GPS-Koordinaten sowie Fahrbahnattribute [WDM, 2006], [GGM, 2006].

Das Messverfahren SCRIM wird in Deutschland seit etwa 10 Jahren für die Griffigkeitsmessung von Fahrbahnoberflächen im Bereich der Kontrollprüfung im Rahmen von Bauverträgen und im Bereich der Zustandserfassung und -bewertung von Straßennetzen eingesetzt [GGM, 2006].

5.3.1.7 Mu-Meter Mk6

Das Mu-Meter Mk 6 wurde von der englischen Firma Douglas Equipment Ltd. entwickelt und eignet sich vor allem für Griffigkeitsmessungen auf Flugbetriebsflächen, aber auch für Straßenoberflächen. Das Messsystem besteht aus einem Dreiradmessanhänger, einer elektronischen Messeinheit mit einem Laptop inklusive Mess-Software und einem Zugfahrzeug. Der Messanhänger wird für die Messung an ein Zugfahrzeug gehängt und der Reibungsbeiwert wird bei einer Standardmessgeschwindigkeit von 64 km/h kontinuierlich ermittelt. Der Messanhänger ist bezüglich Ausstattung mit (siehe Abbildung 5-33) oder ohne Bewässerungssystem (siehe Abbildung 5-34) erhältlich [DOUGLAS, 2007].

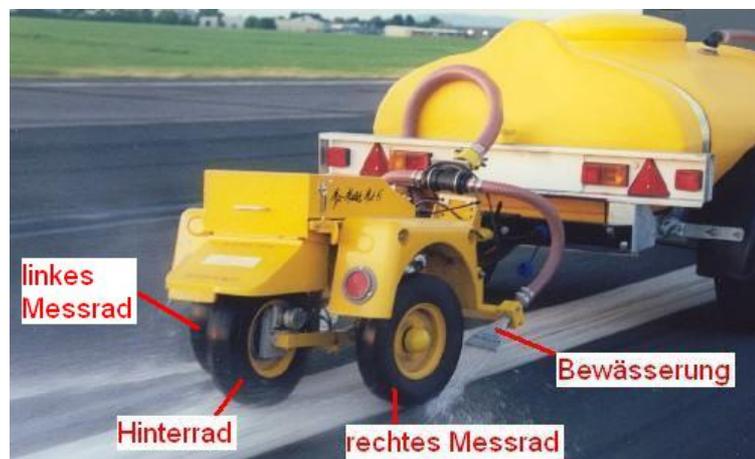


Abbildung 5-33: Mu-Meter Mk6 mit Bewässerungseinrichtung [DOUGLAS, 2007].

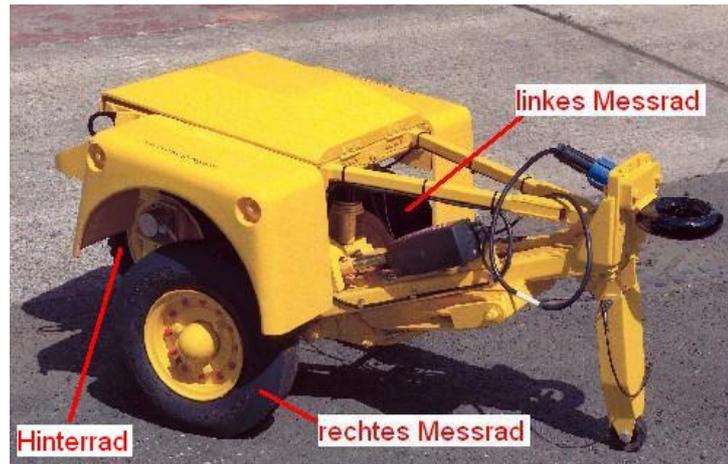


Abbildung 5-34: Mu-Meter Mk6 ohne Bewässerungseinheit [DOUGLAS, 2007].

Die beiden äußeren profilosen Räder (linkes und rechtes Messrad) sind jeweils auf einer kurzen Achse montiert und messen bei einem Schräglaufwinkel von $7,5^\circ$ die Seitenkraft. Die linke Achse ist festgesetzt und gesperrt für eine vorgegebene Nachspur relativ zur Längsmittelachse des Messanhängers, während die rechte Achse mit dem Rad-Positionierungssystem verbunden ist. Das rechte Messrad kann zwischen Transit- und Messposition hin und her geschaltet werden. Das Rad-Positionierungssystem wird vom Laptop aus gesteuert. Das profilierte Hinterrad dient zur Distanzmessung und stabilisiert gleichzeitig den Messanhänger [DOUGLAS, 2007].

Das Mu-Meter kann in drei verschiedenen Betriebsweisen arbeiten [DOUGLAS, 2007]:

- Transit-Modus: Um beim Transport des Messanhängers von Messstrecke zu Messstrecke die Reifenabnutzung zu minimieren kann durch Drücken des Button „Wheel Up“ von der Messposition auf die Transportposition geschaltet werden. Dabei hebt ein Fördergetriebe das Hinterrad an und die rechte kurze Achse samt Messrad wird von der Nachspurposition um $7,5^\circ$ in die Vorspurposition gebracht. Dadurch werden die seitlichen Messräder parallel zum mittig angebrachten Hinterrad geführt.
- Mess-Modus: Drückt man den Button „Wheel down“ wird der Messanhänger von der Transportposition wieder in Messposition gebracht.

- Einfahr-Modus für neue Messreifen: Dieser Modus entspricht dem symmetrischen Messmodus, das Hinterrad wird jedoch angehoben.

5.3.1.8 MK IV Rear Axle System (Hinterachsen-System)

Das MK IV Rear Axle System (siehe Abbildung 5-35) wurde von der schwedischen Firma ASFT (Airport Surface Fiction Tester) Industries AB entwickelt. Bei diesem Messsystem ist die Hinterradachse über drei Ketten am Antriebsarm mit dem dritten kleineren Messrad verbunden. Die Getriebeübersetzung liefert einen konstanten Schlupf von 12 %. Der Messreifen hat einen kleineren Durchmesser als die Hinterräder dadurch werden bei bewegtem Fahrzeug die Ketten gezogen. Diese Zugkraft ist proportional zum Reibungsbeiwert. Der Drehmomentsignalgeber wandelt die Zugkraft in ein analoges Signal um. Auf den Messreifen wirkt während einer Messung eine Vertikallast von 1.400 N, diese Last wird durch Hydraulikzylinder erzeugt und von einem Vertikallastsensor überwacht [ASFT, 2007].

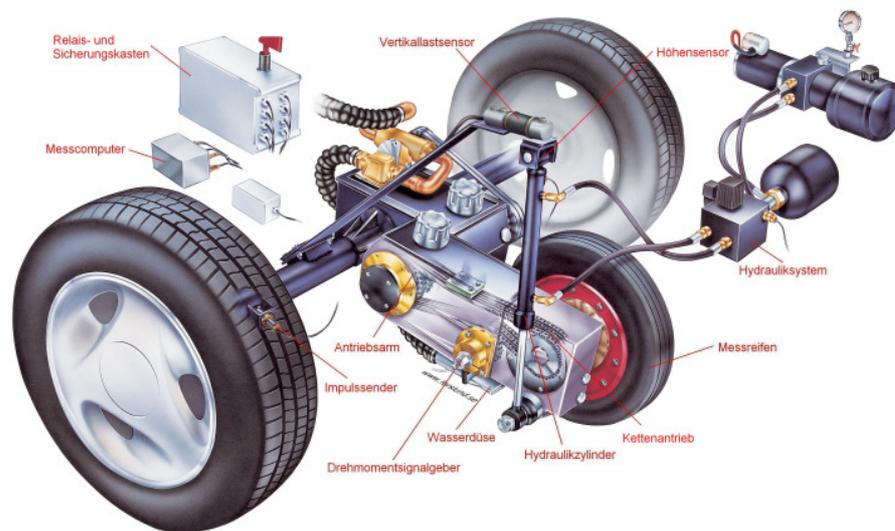


Abbildung 5-35: ASFT MK IV Rear Axle System [ASFT, 2007].

Dieses MK IV Rear Axle Messsystem wird in verschiedenen Anbieterfahrzeugen und in einem Messanhänger für die kontinuierliche Griffigkeitsmessung auf Straßen bzw. auf Flugbetriebsflächen eingesetzt. Mit diesem Messsystem ist eine Messgeschwindigkeit von bis zu 165 km/h möglich, die empfohlene Messgeschwindigkeit liegt bei 96 km/h [ASFT, 2007].

Das ASFT MK IV Rear Axle System ist für Griffigkeitsmessungen auf Straßen im:

- VW Sharan Road Surface Friction Tester (siehe Abbildung 5-36),
- Ford Galaxy Road Surface Friction Tester und
- T-10 Trailer Road Surface Friction Tester (siehe Abbildung 5-37) enthalten.

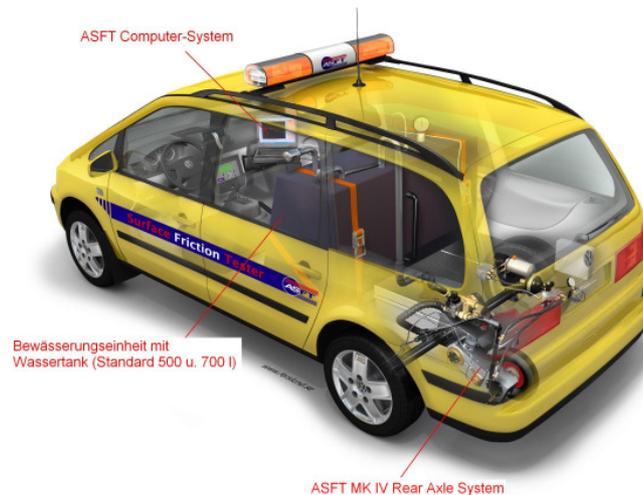


Abbildung 5-36: ASFT Sharan Road Surface Friction Tester [ASFT, 2007].



Abbildung 5-37: ASFT T-10 Trailer Road Friction Tester [ASFT, 2007].

Das ASFT MK IV Rear Axle System ist für Griffigkeitsmessungen auf Flughäfen im:

- Saab 9-5 Wagon Airport Surface Friction Tester,
- VW Sharan Airport Surface Friction Tester,
- Ford Galaxy Airport Surface Friction Tester,

- Ford Taurus Airport Surface Friction Tester und
- T-10 Trailer Airport Surface Friction Tester enthalten.

Diese angeführten Messsysteme sind mit einer Bewässerungseinheit ausgestattet, die einen Wasserfilm von 0,1 bis 5,0 mm aufbringen kann. Die Wassertanks sind im jeweiligen Anbieterfahrzeug bzw. beim ASFT T-10 Messanhänger im Zugfahrzeug angebracht. Neben der Standardgröße von 500 l bzw. 700 l werden die Wassertanks auch nach Maß gefertigt. Die jeweilige Software für Messungen auf Straßen bzw. auf Flugbetriebsflächen kontrolliert den Messprozess und präsentiert die Ergebnisse am Computer Display und/oder am Papiausdruck.

Ein großer Vorteil dieser jeweiligen Anbieterfahrzeuge besteht darin, dass nach der Messdurchführung das Messrad angehoben wird und diese dann als normale Fahrzeuge verwendet werden können. In weniger als fünf Minuten lässt sich der Wassertank entfernen und die zusätzlichen Sitze einbauen [ASFT, 2007].

5.3.1.9 SARSYS Friction Tester (SFT)

Der SARSYS Friction Tester (SFT) wurde von der schwedischen Firma SARSYS AB entwickelt und in einem Saab 9-5 (siehe Abbildung 5-38) eingebaut. Dieses Griffigkeitsmessgerät wird primär für Messungen auf Flugbetriebsflächen eingesetzt, kann aber auch für Messungen auf Straßen eingesetzt werden [SARSYS, 2007].



Abbildung 5-38: SARSYS Friction Tester (SFT) [SARSYS, 2007].

Die Messeinrichtung besteht grundsätzlich aus einem Messreifen hinter der Hinterachse des Fahrzeuges und einem Hydraulik-System (siehe Abbildung 5-38). Die Messradachse ist mit einer flexiblen Antriebswelle mit der Radnabe des rechten hinteren Autoreifens verbunden. Dabei entsteht ein konstanter Schlupf von 15 % bei neuem Messreifen und neuen Autoreifen. Je nach Abnutzung des Messreifens und der Fahrzeugreifen kann der Schlupf zwischen 13 % und 17 % variieren. Das Messrad kann mit dem Hydraulikzylinder be- und entlastet werden, dadurch wird die Vertikalkraft auf das Messrad während der Messung kontrolliert. Der SFT kann mit oder ohne Bewässerungseinheit geliefert werden. Der Wassertank mit einem Volumen von 580 Liter wird an Stelle der Rückbank im Fahrzeug montiert. Eine Wassertankfüllung reicht bei einem Wasserfilm von 1 mm für eine Messstrecke von ca. 7.000 m. Das gesamte Messsystem, inklusive Bewässerungseinheit und Computersystem ist innerhalb des Fahrzeuges angebracht. Die Messgeschwindigkeit liegt zwischen 25 und 165 km/h. Die Standardmessgeschwindigkeit liegt bei 95 km/h bzw. 65 km/h. Der Saab 9-5 besitzt einen Vorderradantrieb und bietet im Bereich der Hinterachse genügend Platz für unbehinderten Zugriff zum Messsystem. Reparaturen oder ein Messreifenwechsel können einfach über den Kofferraum durchgeführt werden [SARSYS, 2007].

5.3.1.10 SARSYS Trailer Friction Tester (STFT)

Der SARSYS Trailer Friction Tester (STFT) (siehe Abbildung 5-39) wurde ebenfalls von der schwedischen Firma SARSYS AB entwickelt und wird primär für Messungen auf Flugbetriebsflächen eingesetzt, kann aber auch für Messungen auf Straßen eingesetzt werden. Der Dreiradmessanhänger wurde mit derselben Messeinrichtung (SARSYS Single Transmission System) wie der SFT (siehe 5.3.1.9) im Saab 9-5 gebaut, um Kosten für Ersatzteile und das Service zu sparen [SARSYS, 2007].

Die Getriebeübersetzung des Messrades erzeugt während der Messfahrt und bei Verwendung neuer Reifen einen konstanten Schlupf von 15 %. Der Messanhänger hat eine eigene elektrische Versorgung mit zwei Batterien und einem Ladegerät. Weiters hält ein Heizgerät die einzelnen Komponenten trocken und auf der richtigen Temperatur, um eine lange und wartungsfreie Lebensdauer zu gewährleisten. Der

STFT kann mit oder ohne Bewässerungseinheit geliefert werden. Der Wassertank besteht aus rostfreiem, säurebeständigem Stahl und besitzt ein Volumen von 560 Liter. Bei voller Tankfüllung kann bei einem Wasserfilm von 1 mm eine Messstreckenlänge von ca. 7.000 m gemessen werden. Das Gewicht des Messanhängers beträgt ohne Wasser 560 kg, mit Wasser 1.120 kg. Die Messgeschwindigkeit liegt zwischen 45 und 130 km/h. Die Standardmessgeschwindigkeit liegt bei 96 km/h [SARSYS, 2007].



Abbildung 5-39: SARSYS Trailer Friction Tester (STFT) [SARSYS, 2007].

5.3.1.11 ADHERA 2

Der Messanhänger ADHERA 2 (siehe Abbildung 5-40) misst den Reibungsbeiwert bei blockiertem Messreifen auf einer vorgewässerten Fahrbahn. Dieses Griffigkeitsmessgerät wird vor allem in Frankreich eingesetzt. Das Messsystem besteht aus den Komponenten Zugfahrzeug (inklusive Wassertank), einer Bewässerungseinheit für eine variable Wasserfilmdicke, der Messeinheit und der Datenerfassungseinheit. Der ca. 300 kg schwere Messanhänger wird von einem Zugfahrzeug, bei einer Messgeschwindigkeit von 40 bis 120 km/h, gezogen. Die Messeinheit besteht aus einem Messreifen (vom Typ ein konventioneller PKW-Reifen), einer Radaufhängung und einer Servobremse die auf einem Tragbalken so montiert sind, dass die Komponenten im Betrieb ähnlich jener eines PKW sind. Der Messreifen, auf den eine fest-

gelegte Kraft wirkt, wird für eine Distanz von 20 Meter blockiert [VECTRA, 2007], [LCPC, 2007].



Abbildung 5-40: Messanhänger ADHERA 2 [VECTRA, 2007].

5.3.1.12 T2GO Portable Friction Tester

Der T2GO Portable Friction Tester (siehe Abbildung 5-41) wurde von der schwedischen Firma ASFT (Airport Surface Friction Tester) Industries AB entwickelt und konstruiert. Mit diesem Messgerät kann man auf trockener oder nasser Oberfläche Griffigkeitsmessungen im Schubbetrieb durchführen. Durch das geringe Gewicht und den einfachen Transport eignet sich das Messgerät T2GO für den Einsatz auf Verkehrsflächen wie z.B. Bodenmarkierungen, Fußgängerzonen, Radwege, Bushaltestellen, Parkplätzen, Helidecks und Flugbetriebsflächen.

Das Messgerät T2GO misst die Griffigkeit bei einem konstanten Schlupf von 20 %. Die Batterie zum Betrieb dieses Gerätes reicht bis zu zwölf Stunden. Die Messung wird durch Drücken der Starttaste auf der Lenkstange begonnen und beendet. Der On-Board-Computer arbeitet automatisch, wenn das Gerät in Betrieb ist. Am Display kann man die kontinuierlichen Griffigkeitsmesswerte und die gemessene Distanz ablesen. Mittels Bluetooth-Technologie kann der On-Board-Computer einfach mit einem PDA (Personal Digital Assistant, das ist ein tragbarer Computer) verbunden werden und so die ASFT View Compatible Software nutzen. Diese Option bietet dem Bediener zusätzliche Daten wie GPS-Position, Straßennamen, Temperatur, Datum und Zeit, etc. an. Alle diese Informationen können in verschiedenen Datenbanken und Management Informationssystemen auf einem PC oder Laptop gespeichert werden [ASFT, 2007].

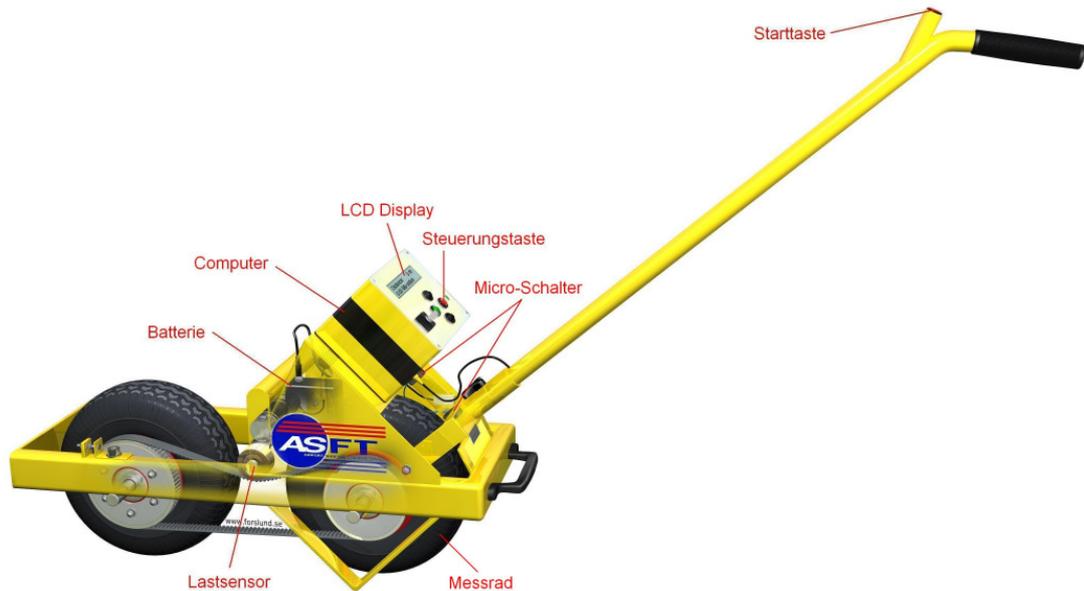


Abbildung 5-41: T2GO Portable Friction Tester [ASFT, 2007].

5.3.1.13 VTI Portable Friction Tester

Der VTI Portable Friction Tester (siehe Abbildung 5-42) wurde vom schwedischen nationalen Straßen- und Transportforschungsinstitut (VTI – Statens väg-och transportforskningsinstitut) entwickelt. Die Griffigkeitsmessung erfolgt ohne zusätzliche Wasseraufbringung vor dem Messreifen im Schubbetrieb bei einer Messgeschwindigkeit von $0,5 \pm 0,1$ m/s ($\sim 1,8$ km/h). Dieses 35 kg schwere Messgerät wurde primär für Messungen auf Bodenmarkierungen konzipiert, eignet sich aber auch für Fußgängerzonen, Radwege, Bushaltestellen, Parkplätzen, Helidecks und Flugbetriebsflächen. Der Reibungsbeiwert wird bei einem konstanten Schlupf von 25 % und einer Last von 125 N auf den Messreifen ermittelt. Am Display kann man den minimalen, mittleren und maximalen Reibungsbeiwert, die Standardabweichung, die Abschnittsdistanz, die Abschnittsnummer, die Durchschnittsgeschwindigkeit und die restliche Messdistanz ablesen (siehe Abbildung 5-42). Die minimale Messdistanz beträgt 0,1 m und die maximale Messdistanz beträgt 175 m. Die Messdaten werden gespeichert und stehen für weitere Analysen im ASCII-Format zur Verfügung [VTI, 2007].

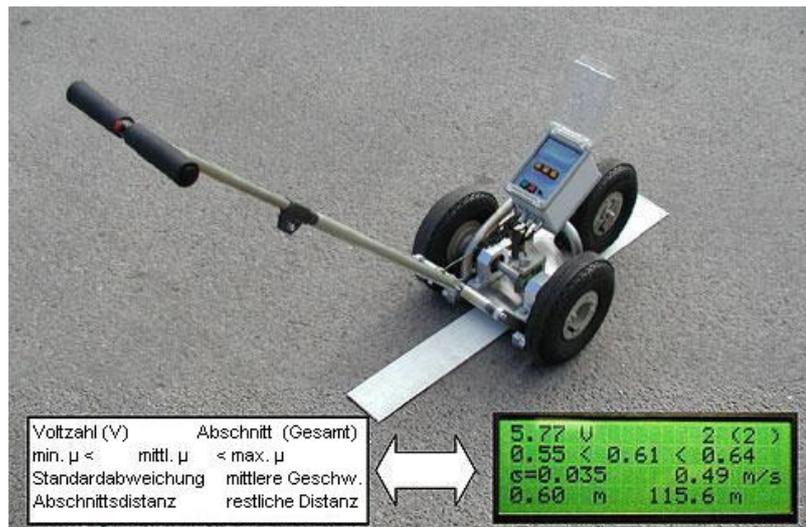


Abbildung 5-42: VTI Portable Friction Tester [VTI, 2007].

5.3.2 Dynamische Texturmessgeräte

Moderne Texturmessverfahren arbeiten mit berührungslosen Triangulationslasern (siehe Abbildung 5-43) [HUSCHEK et al., 1996a].

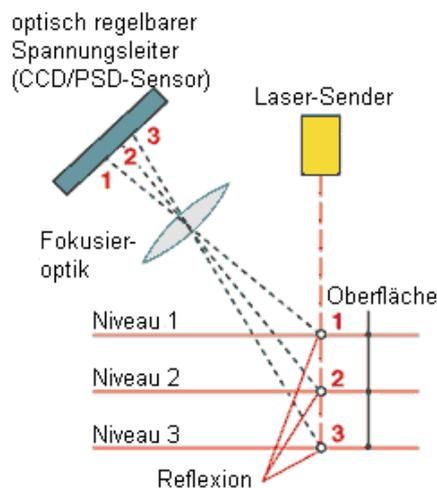


Abbildung 5-43: Prinzip eines Triangulationslasers [LCPC, 2007].

Bei Triangulationslasern wird ein Laserlichtpunkt auf das Messobjekt projiziert und mit einer Kamera beobachtet. Ändert sich die Entfernung des Messobjektes vom Laserprojektor, so ändert sich auch der Winkel unter dem der Lichtpunkt beobachtet wird sowie die Position seines Abbildes in der Kamera (siehe Abbildung 5-43). Da es sich um rein trigonometrische Berechnungen handelt kann die Messung sehr schnell

durchgeführt werden und eignet sich damit zur Abstandsmessung an bewegten Objekten [WIKIPEDIA, 2007c].

In Österreich wird derzeit die Textur von Straßenoberflächen kontinuierlich mit dem System RoadSTAR nach RVS 11.06.66 [FSV, 2004] erfasst. In Europa werden noch weitere Lastertexturmessgeräte an schnell fahrenden Messfahrzeugen (siehe Kapitel 5.3.2.2 bis 5.3.2.4), sowie Lasertexturmessgeräte im Schubbetrieb (siehe 5.3.2.5) verwendet.

Die Tabelle 5-3 zeigt zusammenfassend einen Überblick über die in diesem Kapitel beschriebenen dynamischen Texturmessgeräte:

Gerät	Messgeschwindigkeit [km/h]		Messprinzip	Geräteart, -typ	Anwendung	
	schnell fahrend	Schubbetrieb			Straßen	Flugbe- triebsflächen
RoadSTAR	40-120 (Standard: 60)		L	LKW ¹⁾	x	
SCRIMTEX	25-85 (Standard: 40, 60, 80)		L	LKW ¹⁾	x	
RUGO	40-90		L	PKW	x	
Road Surface Tester (RST)	bei normalem Fließverkehr		L	PKW	x	
Texture Meter 2 (TM2)		ca. 5	L	Schubgerät	x	

L Lasertexturmesseinrichtung

¹⁾ mit dem Trägergerät werden Griffigkeit und Textur bei einer Messfahrt gemeinsam ermittelt

Tabelle 5-3: Zusammenfassender Überblick der dynamischen Texturmessgeräte:

5.3.2.1 RoadSTAR Lasertexturmessungen

Die Lasertexturmesseinrichtung ist an der rechten Seite des Messfahrzeuges RoadSTAR I, in der rechten Rollspur hinter dem rechten Zwillingreifen, knapp vor der Bewässerungseinheit der Griffigkeitsmesseinrichtung angebracht (siehe Abbildung 5-44 und Abbildung 5-45). Sie besteht aus einem Hochleistungs-Präzisionslasermessgerät der Laserklasse 3a [MAURER et al., 2002].



Abbildung 5-44: Messfahrzeug RoadSTAR I (1 – Lasertexturmesseinrichtung, 2 – digitale Messwerterfassung) [MAURER et al., 2002].

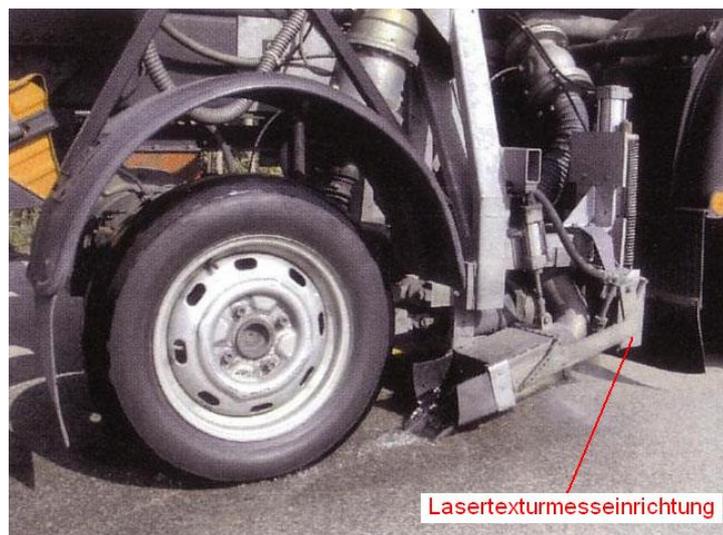


Abbildung 5-45: Lasertexturmesseinrichtung am RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].

Messprinzip:

Die Texturmessung erfolgt in der rechten Radspur. Die Messung liefert Einzelprofile der Makrotextur von jeweils 127 mm Länge in einem Längsabstand von einem Meter. Jedes Einzelprofil besteht aus 128 Höhenmessungen, die in einem Abstand von 1 mm mit einer Genauigkeit von $\pm 0,06$ mm durchgeführt werden. Aus diesem erfassten Höhenprofil wird die mittlere Profiltiefe (MPD – Mean Profile Depth) gemäß EN 13473 Teil 1 berechnet [MAURER et al., 2002], [FSV, 2004].

Nach EN ISO 13473-1 [ONI, 2004] wird die mittlere Profiltiefe (MPD-Wert) über eine 100 mm lange Grundlinie bestimmt (siehe Abbildung 5-46). Demnach wird die mittlere Profiltiefe MPD als Differenz zwischen dem arithmetischen Mittelwert der Spitzenwerte der beiden Grundlinienhälften und dem mittleren Niveau der gesamten Grundlinie berechnet (siehe Abbildung 5-46).

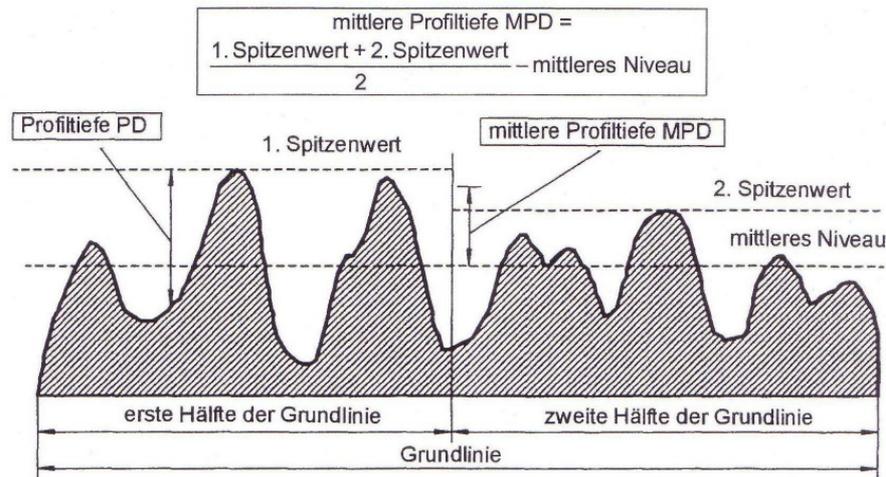


Abbildung 5-46: Definition der mittleren Profiltiefe MPD [ONI, 2004].

Aus zehn MPD-Werten wird nach Elimination von zwei Extremwerten vorerst ein 10 m-MPD-Texturwert ermittelt. Dadurch werden einzelne Löcher, Betonfugen, Ausbrüche etc. des maßgebenden Texturwertes herausgefiltert. Fünf 10 m-Texturwerte werden durch arithmetische Mittelwertbildung zu einem maßgebenden 50 m-MPD-Wert zusammengefasst.

Die Messung und Auswertung erfolgt computerunterstützt. Der Bediener in der Fahrerkabine wird laufend durch eine Bildschirmanzeige über die aktuellen Messdaten und Betriebszustände informiert [MAURER et al., 2002], [FSV, 2004].

Da dieses Lasertexturmessverfahren am Messfahrzeug RoadSTAR ein zweidimensionales Messverfahren ist (Messung entlang einer Linie) und die Texturangaben aus dem Sandfleckverfahren (siehe Kapitel 5.2.2.2) aus einem dreidimensionalen Messverfahren stammen, ist in der EN ISO 13473-1 [ONI, 2004] eine Korrelation angegeben, um aus dem MPD-Wert den so genannten ETD-Wert (Estimated Texture

Depth) rückzurechnen [MAURER et al., 2002]. Die Umrechnung nach EN ISO 13473-1 [ONI, 2004] erfolgt nach Gleichung (5.10):

$$ETD = 0,8 \cdot MPD + 0,2 \quad (5.10)$$

ETD..... geschätzte Oberflächentexturtiefe (dreidimensional) [mm]

MPD..... mittlere Profiltiefe (zweidimensional) [mm]

Messbedingungen:

Um Umwelteinflüsse möglichst gering zu halten und damit die Vergleichbarkeit von Messungen zu gewährleisten, darf gemäß RVS 11.06.66 die Fahrbahn weder verschmutzt noch nass sein [MAURER et al., 2002], [FSV, 2004]. Bezüglich der Luft- und der Fahrbahnoberflächentemperatur gibt es für die Lasertexturmessung mit dem System RoadSTAR keine Angaben.

5.3.2.2 SCRIMTEX – Lasertexturmessung mit dem SCRIM-Trägerfahrzeug

Dieses Lasertexturmessgerät wurde von der englischen Firma WDM Limited entwickelt und ergänzt die SCRIM-Griffigkeitsmessung (siehe Kapitel 5.3.1.6). Die Messeinheit SCRIMTEX dient zur Ermittlung der Makrotextur von Straßenoberflächen und ist vor dem Messreifen des Griffigkeitsmesssystems am SCRIM-Trägerfahrzeug angebracht [WDM, 2006].

5.3.2.3 RUGO – Lasertexturmessgerät

Das Lasertexturmessgerät RUGO ist in einem abnehmbaren Schutzgehäuse in der rechten Rollspur an der Rückseite des Fahrzeuges montiert (siehe Abbildung 5-47). Dieses Messsystem misst und speichert die Makrotextur (MPD-Wert nach EN ISO 13473-1 [ONI, 2004]) kontinuierlich bei einer Frequenz von 16.000 Hz. Die Messung kann bei Tageslicht auf trockener Fahrbahn und bei einer Geschwindigkeit von 40 bis 90 km/h durchgeführt werden [LCPC, 2007].



Abbildung 5-47: RUGO - Lasertexturmessgerät [VECTRA, 2007].

5.3.2.4 Road Surface Tester (RST)

Das RST (Road Surface Tester) Forschungsfahrzeug, entwickelt vom schwedischen nationalen Straßen- und Transportforschungsinstitut (VTI – Statens väg-och transportforskningsinstitut), ist ein multifunktionales Messgerät. Neben der Textur kann das Querprofil, das Längsprofil, die Querneigung, die Längsneigung, die gefahrene Straßenkrümmung und das Straßenumfeld (mittels Video) aufgezeichnet werden. Die Makro- und Megatextur wird gleichzeitig in der rechten Radspur und in der Mitte des Fahrwerks von Lasertexturmessgeräten gemessen. Jede Messgröße kann gleichzeitig oder unabhängig bei normalem Fließverkehr gemessen werden. Normalerweise werden die Mittelwerte der Messdaten alle 20 Meter gespeichert und angezeigt, obwohl die Mittelwerte der Messgrößen alle fünf Meter und aufwärts gebildet werden können. Die Messdaten werden in Echtzeit berechnet und angezeigt [VTI, 2007].



Abbildung 5-48: RST (Road Surface Tester) Forschungsfahrzeug [VTI, 2007].

5.3.2.5 Texture Meter 2 (TM2)

Das Texture Meter 2 (siehe Abbildung 5-49) ist ein tragbares und leichtes Messgerät zur Ermittlung der Oberflächentextur im Schubbetrieb. Entwickelt und gebaut wurde dieses Texturmessgerät von der englischen Firma WDM Limited. Das optische Lasermesssystem ist in einer steifen Box auf einem stabilen Fahrgestell mit drei Rädern montiert und misst die Texturtiefe bis 0,01 mm. Durch die grafische Benutzeroberfläche am Schubbügel ist die Messung einfach zu steuern. Mit dem wieder aufladbaren Akku ist der Betrieb von bis zu acht Stunden möglich. Der Datentransfer vom TM2 zu einem Computer oder Laptop ist einfach und ohne Probleme durchzuführen [WDM, 2006].

TM2 misst und speichert folgende Parameter für eine Messstrecke von bis zu 330 Kilometer [WDM, 2006]:

- Messdistanz in Metern;
- Messgeschwindigkeit in km/h;
- Mittlere Profiltiefe (MPD – Mean Profile Depth) und den quadratischen Mittelwert der Profiltiefe (RMSPD – Root Mean Square Profile Depth) in Millimetern;
- 50 m-Mittelwerte von MPD und RMSPD in Millimetern;
- Ausfallsignal vom Laser in Prozent.



Abbildung 5-49: Texture Meter 2 (TM2) [WDM, 2006].

5.4 Vergleich der Griffigkeits- und Texturmessmethoden – International Friction Index (IFI)

Die international angewendeten Verfahren und Geräte zur Griffigkeits- und Texturmessung weichen zum Teil sehr stark voneinander ab. Aus diesem Grund entschloss sich der Technische Ausschuss der Permanent International Association of Road Congresses (PIARC), einen internationalen Versuch durchzuführen, um die Methoden der Griffigkeits- und Texturmessungen zu vergleichen und aufeinander abzustimmen.

Ziel des Versuches war es, die verschiedenen international angewendeten Messmethoden zu vergleichen und in der Folge die Resultate der verschiedenen Messsysteme zu konvertieren und auf einer gemeinsamen Skala, dem International Friction Index (IFI) darzustellen, um eine internationale Harmonisierung der Messmethoden zu schaffen. Dadurch ist es möglich, dass jedes Land weiterhin die traditionellen Messmethoden anwendet und sich gleichzeitig am internationalen Griffigkeitsindex orientieren kann [FUCHS, 1996].

Der International Friction Index (IFI) wird nach Gleichung (5.11) wie folgt berechnet [FUCHS, 1996]:

$$IFI = A + B \cdot FR_S \cdot e^{\frac{(S-60)}{a+b \cdot Tx}} + C \cdot Tx \quad (5.11)$$

A, B..... Kalibrierkonstanten eines beliebigen Griffigkeitsmessgerätes

FR_S Reibungsbeiwert eines Messsystems bei der Schlupfgeschwindigkeit S

S..... Schlupfgeschwindigkeit eines Messgerätes in Abhängigkeit vom Messprinzip und der Fahrgeschwindigkeit v [km/h]:

$S = v \cdot \% \text{ Schlupf}$ bei konstantem Schlupf

$S = v$ bei blockiertem Messrad

$S = v \cdot \sin \alpha$ bei einem unter Winkel α schräg laufendem Messrad

a, b..... Kalibrierkonstanten eines beliebigen Texturmessgerätes

T_x Texturmaß aus der Texturmessung

C..... Kalibrierkonstante zur Berücksichtigung von profilierten Reifen

Aus der Gleichung (5.11) sieht man, dass der IFI die Textur der Fahrbahn, die Kalibrierkonstanten für die verwendeten Griffigkeits- und Texturmessgeräte, die Schlupfgeschwindigkeit und die Art des Messreifens (glatt oder profiliert) berücksichtigt.

In Tabelle 5-4 werden die Kalibrierkonstanten nach PIARC von den im Rahmen dieser Diplomarbeit angewendeten Griffigkeits- und Texturmessmethoden (siehe Kapitel 7) angeführt. Als Kalibrierkonstanten für das Lasertexturmessgerät des RoadSTAR werden jene vom VTI Mobile Laser Profilometer verwendet, da der RoadSTAR erst nach dem PIARC-Ringversuch mit der Texturmesseinheit erweitert wurde. Die Kalibrierkonstanten für das Griffigkeitsmessgerät RoadSTAR stammen vom Stuttgarter Reibungsmesser (STURM), der heute als RoadSTAR bezeichnet wird. Die weiteren Kalibrierkonstanten stammen vom GripTester aus England, sowie dem SRT-Pendel aus der Schweiz, welche am PIARC-Ringversuch teilnahmen.

Kalibrierkonstanten	Griffigkeitsmessgerät			Texturmessgerät
	GripTester	STURM	SRT-Pendel	VTI Mobile Laser Profilometer [MPD]
A	0,08209	0,01962	0,0436	
B	0,9104	0,8673	0,00953	
C	0	-0,00588	0	
a			-44,4114	14,235
b			2,99675	89,719746

Tabelle 5-4: Kalibrierkonstanten nach PIARC [FUCHS, 1996].

6 Anforderungen an die Griffigkeit und Textur in Österreich

6.1 Allgemeines

1991 wurde erstmals mit systematischen Messungen auf Netzebene begonnen, um die Griffigkeit des österreichischen Straßennetzes zu erfassen und zu bewerten. Im ersten Messdurchgang in den Jahren 1991 bis 1996 wurden mit dem RoadSTAR insgesamt 12.200 Messkilometer erfasst, wobei 100 % des Autobahn- und Schnellstraßennetzes und ca. 80 % des B-Straßennetzes gemessen wurden. Auf den Autobahnen und Schnellstraßen wurde je Richtungsfahrbahn der rechte Fahrstreifen und auf den B-Straßen nur in einer Fahrtrichtung gemessen.

Zur Definition des Österreichischen Bewertungshintergrundes (siehe Abbildung 6-1) wurde die Messwertverteilung des gesamten Messprogramms statistisch analysiert und die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungsbeiwerte bestimmt. Dazu wurden im gesamten Bundesgebiet fünf Fahrbahndecken mit unterschiedlichen Griffigkeitsniveaus ausgewählt und mit den Messgeschwindigkeiten 40, 60, 80, und 120 km/h unter Standardbedingungen gemessen. Die gemessenen Reibungsbeiwerte wurden dann über die Häufigkeitsverteilung in fünf Griffigkeitsklassen eingeteilt. In Anlehnung an Deutschland wurde die schlechteste Klasse mit 5 %-Fraktile festgelegt [TIEFENBACHER, 2002].

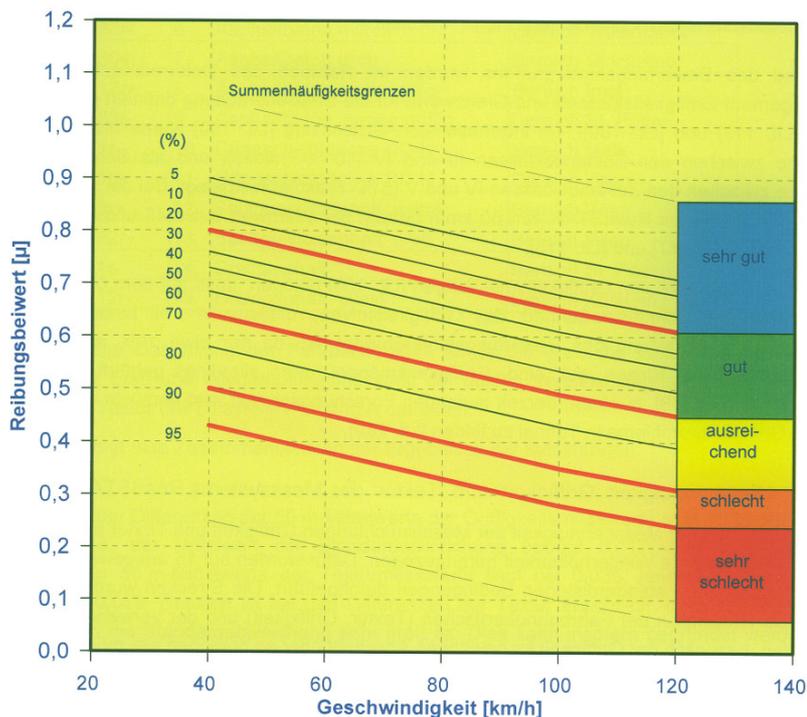


Abbildung 6-1: Österreichischer Bewertungshintergrund 1996 für die Griffigkeit [FUCHS, 2002].

Auf Basis des Bewertungshintergrundes wurden im Rahmen des Österreichischen Pavement Management Griffigkeitsklassen und Grenzwerte für die bauliche Straßen-erhaltung festgelegt (siehe Tabelle 6-1). Im internationalen Gleichklang wurde als Warnwert der Griffigkeit die Grenze zwischen den Zustandsklassen III und IV (10 %-Fraktile) und als Schwellenwert der Griffigkeit die Grenze zwischen den Zustandsklassen IV und V (5 %-Fraktile) definiert. Für die Griffigkeitsmessung mit dem System RoadSTAR, bei einer Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h, ist der Warnwert mit $\mu_{RS} = 0,45$ und der Schwellenwert mit $\mu_{RS} = 0,38$ festgelegt [TIEFENBACHER, 2002].

Griffigkeitsklassen	Bezeichnung	Summenhäufigkeit [%]	Reibungsbeiwert $\mu_{RS}^{*)}$
I	sehr gut	< 30	> 0,75
II	gut	30 - 70	0,59 - 0,75
III	ausreichend	70 - 90	0,45 - 0,59
Warnwert		90	0,45
IV	schlecht	90 - 95	0,38 - 0,45
Schwellenwert		95	0,38
V	sehr schlecht	> 95	< 0,38

*) Standardmessgeschwindigkeit 60 km/h, 18 % Schlupf

Tabelle 6-1: Griffigkeitsklassen gemäß dem Österreichischen Bewertungshintergrund [TIEFENBACHER, 1999].

Die Griffigkeitsklassen und -grenzwerte für die bauliche Straßenerhaltung wurden in die aktuell gültige RVS 13.01.15 [FSV, 2006] aufgenommen (siehe Kapitel 6.2.2).

6.2 Griffigkeitsanforderungen

6.2.1 Übernahme und Gewährleistung

Seit dem 01.01.2005 sind die ergänzenden Vertragsbestimmungen „Griffigkeitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton“ [BMVIT, 2004] vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gültig und anzuwenden. Viele der darin enthaltenen Bestimmungen wurden in den, im Jahr 2007 neu erschienenen, einschlägigen Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS) voll inhaltlich oder teilweise leicht abgeändert aufgenommen. Nachfolgend werden die Griffigkeitsanforderungen der RVS, sowie darin fehlende Inhalte der ergänzenden Vertragsbestimmungen des Bundesministeriums erläutert.

Während bei allen fertig gestellten Betonfahrbahndecken die Griffigkeit bei der Übernahme und vor Ablauf der Gewährleistungsfrist zu ermitteln ist, gelten diese Anforderungen bei fertig gestellten Asphaltfahrbahndecken nur für Autobahnen und Schnellstraßen.

6.2.1.1 Messgerät und Messanordnung

Die Griffigkeit der fertigen Deckschicht ist mit dem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser, System RoadSTAR gemäß RVS 11.06.65 [FSV, 2002] zu ermitteln. Die Messungen sind auf dem gesamten Baulos durchgehend in Längsrichtung in der rechten Radspur des jeweiligen Fahrstreifens mit einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h durchzuführen. Bei Fahrbahnen, die mit mehreren Fertigerbahnen hergestellt wurden, genügt eine Messung pro Fertigerbahn [FSV, 2007a], [FSV, 2007b], [FSV, 2007d].

6.2.1.2 Zeitpunkt der Messungen

Für die Übernahme sind die Griffigkeitsmessungen bis zwölf Wochen nach der Verkehrsfreigabe durchzuführen [FSV, 2007b], [FSV, 2007d]. Zu diesem Zweck hat der

Auftraggeber zu veranlassen, dass der prüfenden Stelle die Fertigstellung der Deckenherstellung rechtzeitig vor der Verkehrsfreigabe zu melden ist. Die Meldung hat elektronisch mittels Formblatt zu erfolgen [BMVIT, 2004].

Für die Feststellung allfälliger Gewährleistungsansprüche sind die Griffigkeitsmessungen in einem Zeitraum von 16 Wochen bis vier Wochen vor dem Ende der Gewährleistungsfrist durchzuführen. Die Gewährleistungsfrist für Betondecken beträgt fünf Jahre, sofern nicht eine Verlängerung bei den Abnahmeprüfungen von Festigkeit, Luftgehalt und Griffigkeit vorgeschrieben wird. Bei Asphaltdecken beträgt die Gewährleistungsfrist drei Jahre, falls im Vertrag oder in den einschlägigen Fachnormen keine andere Gewährleistungsfrist festgelegt ist [FSV, 2007a], [FSV, 2007b], [FSV, 2007d].

Griffigkeitsverbessernde Maßnahmen im Rahmen der Gewährleistung oder Haftung sind innerhalb von acht Wochen nach deren Durchführung auf Kosten des Auftragnehmers durch eine neuerliche Messung mit dem System RoadSTAR zu überprüfen.

Wenn die standardisierten Messbedingungen laut RVS 11.06.65 [FSV, 2002] (siehe auch Kapitel 5.3.1.2) jahreszeitlich bedingt nicht eingehalten werden können, ist die Griffigkeitsmessung bis zum 31. Mai des Folgejahres unter Wahrung der Haftungsansprüche durchzuführen [BMVIT, 2004].

6.2.1.3 Grenzwerte

Der Grenzwert für den Einzelwert eines 50 m-Abschnittes ist für Asphaltdecken nach RVS 08.16.01 [FSV, 2007a] und für Betondecken nach RVS 08.17.02 [FSV, 2007b] wie folgt festgelegt:

- für die Übernahme:

Sollwert: $\mu_{RS} \geq 0,59 - 0,03$ Toleranz

Qualitätsabzug bei: $0,45 < \mu_{RS} < 0,56$

Keine Übernahme bei: $\mu_{RS} \leq 0,45$

- für die Gewährleistung:

Sollwert: $\mu_{RS} \geq 0,52 - 0,03$ Toleranz

Gewährleistungsmaßnahmen bei: $\mu_{RS} \leq 0,49$

Unterschreiten bei der Übernahme einzelne 50 m-Werte den jeweiligen Grenzwert um mehr als $\mu_{RS} = 0,03$, wird unmittelbar nach der Erstmessung eine zweite Messung auf den negativen Abschnitten durchgeführt. Liegen die Messergebnisse innerhalb der Wiederholbarkeit, ist das endgültige Ergebnis der Mittelwert dieser beiden Messungen. Wenn die Messergebnisse außerhalb der Wiederholbarkeit liegen, ist eine weitere Messung durchzuführen. Das endgültige Ergebnis ist der Mittelwert der beiden Messungen, die innerhalb der Wiederholbarkeit liegen.

Unterschreiten dann einzelne 50 m-Werte den jeweiligen Grenzwert noch immer um mehr als $\mu_{RS} = 0,03$, so liegt ein Mangel vor [FSV, 2007b].

Bis zum Vorliegen der Ergebnisse der RoadSTAR Messungen bleibt das Bauvorhaben hinsichtlich der Oberflächeneigenschaft Griffigkeit in der Verantwortung des Auftragnehmers, d.h. eine vor dieser Zeit durchgeführte Übernahme erfolgt nur bedingt [BMVIT, 2004].

6.2.1.4 Mangel bei Übernahme

Ist das Messergebnis bei der Übernahme im Bereich $0,45 < \mu_{RS} < 0,56$ so ist im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer eine die Griffigkeit verbessernde Maßnahme vorzunehmen oder ein Qualitätsabzug zur Anwendung zu bringen [FSV, 2007b].

Der Qualitätsabzug für Betondecken ist nach RVS 08.17.02 [FSV, 2007b] wie folgt zu berechnen:

$$A(G) = \frac{\sum (p^2 \cdot F)}{100} \cdot EP \cdot fd \quad (6.1)$$

mit

$$p = \frac{\text{Grenzwert} - (\text{Messergebnis} + 0,03)}{\text{Grenzwert}} \cdot 100 \quad (6.2)$$

A(G)Qualitätsabzug für mangelnde Griffigkeit [€]

Messergebnis.....50 m-Werte unter dem jeweiligen Grenzwert

Fbetroffene Fläche [m²]

EPEinheitspreis [€/m²]

fd.....Gewichtungsfaktor

fd = 0,025 für Betondecken

Der Qualitätsabzug für Asphaltdecken ist nach RVS 11.03.21 [FSV, 2007d] wie folgt zu berechnen:

$$A(G) = \sum_{i=1}^n (p_i^2 \cdot EP \cdot F_i \cdot fd) \quad (6.3)$$

mit

$$p_i = \frac{\text{Sollwert} - \text{Messwert} + 0,03}{\text{Sollwert}} \quad (6.4)$$

A(G) Qualitätsabzug für mangelnde Griffigkeit [€]

p_iüber die Toleranz bzw. Grenzwert hinausgehende Abweichung vom Sollwert

F_i betroffene Fläche [m²]

EP Einheitspreis [€/m²]

fd..... Gewichtungsfaktor

fd = 10 für Asphaltdecken

Im Falle einer griffigkeitsverbessernden Maßnahme hat der Auftragnehmer die Ursache des Mangels festzustellen, die Sanierung vorzuschlagen und im Sinne der

Prognoselebensdauer der Fahrbahndecke dauerhaft wirksame Maßnahmen im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer durchzuführen [BMVIT, 2004].

Für den Fall von Sanierungen, welche Verkehrsbeeinträchtigungen in Form von Geschwindigkeitsreduktionen nach sich ziehen, ist ein Pönale in Abzug zu bringen. Das Pönale ist nach RVS 08.17.02 [FSV, 2007b], wie folgt zu ermitteln:

$$A(V) = F \cdot EP \cdot fd \cdot \text{Tage} \quad (6.5)$$

A(V)..... Abzug für die Verkehrsbeeinträchtigung [€]

F die von der Verkehrsbeeinträchtigung betroffene Fläche [m²]

EP..... Einheitspreis gemäß den einschlägigen Richtlinien [€/m²]

Tage.....Anzahl der Tage der Verkehrsbeeinträchtigung, ist nach oben mit maximal zehn Tagen limitiert

fd..... Gewichtungsfaktor

fd = 0,0050 für Betondecken

fd = 0,0200 für bituminöse Decken

Beträgt bei der Übernahme das Messergebnis $\mu_{RS} \leq 0,45$, so erfolgt keine Übernahme und der Auftragnehmer hat auf seine Kosten Maßnahmen zur Herstellung einer ausreichenden Griffigkeit durchzuführen. Die dabei anfallenden Kosten sind im Sinne des Bauvertrages vom Auftragnehmer zu tragen. Die Übernahme erfolgt erst wenn ein Reibungsbeiwert $\mu_{RS} > 0,45$ gegeben ist.

Ist bei der Übernahme das Messergebnis $\mu_{RS} \leq 0,38$, so sind zusätzlich unverzüglich verkehrsbeschränkende Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit zu setzen [FSV, 2007b].

Die rechtlichen Folgen wie z.B. Haftungsangelegenheiten bei Schadensfällen oder Unfällen gehen erst bei der Übernahme der Deckschicht vom Auftragnehmer auf den Auftraggeber über.

Der Auftraggeber behält sich zusätzlich die Einforderung von Mautentgängen vor, falls für die Sanierung eine Totsperrung notwendig sein sollte [BMVIT, 2004].

6.2.1.5 Mangel bei Ende der Gewährleistungsfrist

Ist das Messergebnis am Ende der Gewährleistungsfrist $\mu_{RS} \leq 0,49$, so ist die Gewährleistung hinsichtlich der Griffigkeit um zwei Jahre zu verlängern [FSV, 2007b]. Im Falle einer Gewährleistungsverlängerung ist auf Kosten des Auftragnehmers durch Griffigkeitsmessungen der vertragsgemäße Zustand in einer neuerlichen Schlussfeststellung nachzuweisen [BMVIT, 2004].

Beträgt das Messergebnis $\mu_{RS} \leq 0,45$, hat der Auftragnehmer im Einvernehmen mit dem Auftraggeber Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen. Sind hierzu verkehrseinschränkende Maßnahmen notwendig, so kommt ein Pönale gemäß Gleichung (6.5) zur Anwendung [FSV, 2007b].

6.2.1.6 Messung bei Kleinmaßnahmen

Bei Kleinmaßnahmen (Bauloslängen unter 500 m) kann der Auftraggeber auf Messungen mit dem System RoadSTAR verzichten. Als Entscheidungshilfe wird eine kombinierte Messung SRT-Pendel/Ausflussmessung empfohlen. Dabei sind folgende Richtwerte zu berücksichtigen [FSV, 2007b]:

- SRT-Wert (nach ÖNORM EN 13036-4 [ONI, 2003b] auch PTV genannt) ≥ 60 und
- Ausflusszeit ≤ 30 Sekunden (nach ÖNORM EN 13036-3 [ONI, 2003a]).

Wird einer dieser beiden Werte nicht eingehalten, so ist die Griffigkeit dieses Bauloses jedenfalls mit dem System RoadSTAR nachzuweisen.

6.2.2 Bauliche Straßenerhaltung

Für die bauliche Straßenerhaltung sind nach RVS 13.01.15 [FSV, 2006] Beurteilungskriterien für die messtechnische Zustandserfassung der Griffigkeit mit dem

System RoadSTAR festgelegt. Diese Richtlinie ist für das Autobahn- und Schnellstraßennetz zur Beurteilung der erhaltenen Messergebnisse anzuwenden. Die Griffigkeitsmessergebnisse (50 m-Werte) werden über eine Normierung in Zustandsklassen gemäß Tabelle 6-2 umgewandelt. Die Zustandsklassen reichen von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) [FSV, 2006].

Griffigkeit μ [-]				
	Zielwert		Warnwert	Schwellenwert
	0,75		0,45	0,38
Klasse 1		Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
$\mu > 0,75$		$0,75 \geq \mu > 0,59$	$0,59 \geq \mu > 0,45$	$0,45 \geq \mu > 0,38$
				Klasse 5
				$\mu \leq 0,38$

Tabelle 6-2: Zustandsklasseneinteilung der Griffigkeitsmessergebnisse (50 m-Werte) mit dem System RoadSTAR für Autobahnen und Schnellstraßen [FSV, 2006]

Die Sollwerte für die Übernahme ($\mu_{RS} \geq 0,59 - 0,03$ Toleranz) und für die Gewährleistung ($\mu_{RS} \geq 0,52 - 0,03$ Toleranz) entsprechen somit der Zusatzklasse 3 der baulichen Straßenerhaltung für das Autobahn- und Schnellstraßennetz.

6.2.3 Anforderungen an Bodenmarkierungen

Die Griffigkeit von Bodenmarkierungen wird mit dem Pendeltest gemessen. Der dabei gemessene SRT-Wert (nach ÖNORM EN 13036-4 [ONI, 2003b] auch PTV genannt) ist jedoch nicht immer für profilierte Straßenmarkierungen verwendbar. Je nach Griffigkeitsanforderung (Griffigkeitsklasse S0 - S5) wird der Mindest-SRT-Wert gemäß Tabelle 6-3 angegeben [ONI, 2003c].

Klasse	Mindest-SRT-Wert (PTV)
S0	keine Eigenschaft festgelegt
S1	SRT \geq 45
S2	SRT \geq 50
S3	SRT \geq 55
S4	SRT \geq 60
S5	SRT \geq 65

Tabelle 6-3: Mindest-SRT-Wert für Bodenmarkierungen [ONI, 2003c].

Nach RVS 05.03.12 [FSV, 2007e] ist für die Griffigkeitsanforderung an Bodenmarkierungen im Regelfall die Klasse S1 für die Verkehrsfreigabe vorzuschreiben.

6.2.4 Anforderungen an Zuschläge

Die Polierresistenz der verwendeten Gesteinsmaterialien hat neben anderen Faktoren einen wesentlichen Einfluss auf das Niveau und die zeitabhängige Entwicklung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen.

6.2.4.1 Polierresistenz des Gesteinsmaterials für Asphaltdeckschichten

In der RVS 08.97.05 [FSV, 2007c] sind die Anforderungen an das Gesteinsmaterial für Asphaltdeckschichten festgelegt. Bezüglich der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen ist vor allem der Polierwiderstand (polished stone value – PSV gemäß ÖNORM EN 1097-8 [ONI, 2000]) maßgebend. In dieser Richtlinie werden in Abhängigkeit der Korngruppe und der Gesteinsklasse die Mindestanforderungen an den PSV festgelegt (siehe Tabelle 6-4). Hinsichtlich des Korngrößenbereichs erfolgt eine Trennung in feine (0/2 mm) und grobe Gesteinskörnungen (2/4 mm bis 16/22 mm). Für den Korngrößenbereich 0/2 mm wird lediglich die Angabe des PSV verlangt. Die Auswahl der Gesteinsklasse hängt von der Beanspruchung ab. Für Straßen mit hoher Beanspruchung, normalerweise entsprechend den Lastklassen S, I und II gemäß RVS 03.08.63 [FSV, 2005], wird die Gesteinsklasse G1 empfohlen. Darüber hinaus wird bei hoher Beanspruchung in der Lastklasse III (z.B. Bremszonen, Kreisverkehr, Busbuchten, extremer Spurverkehr usw.), sowie in allen Lastklassen wo eine hohe Griffigkeit gefordert wird, die Gesteinsklasse G1 empfohlen. Für Straßen mittlerer Beanspruchung, normalerweise entsprechend den Lastklassen III und IV gemäß RVS 03.08.63 [FSV, 2005], wird die Gesteinsklasse G2 empfohlen. Für Straßen schwacher Beanspruchung, normalerweise entsprechend der Lastklasse V und VI gemäß RVS 03.08.63 [FSV, 2005], wird die Gesteinsklasse G3 empfohlen. Für die Gesteinsklasse G3 ist der PSV-Wert lediglich anzugeben (siehe Tabelle 6-4).

Gesteins- klasse	Mischguttyp AC deck, SMA, BTM, PA, MA					
	Korngruppe					
	0/2	2/4	4/8	8/11	11/16	16/22
G1	PSV-Wert*) angeben	PSV-Wert > 50				
G2		PSV-Wert > 44				
G3		PSV-Wert angeben				

*) Die Körnung 0/2 ist aus einem Gestein herzustellen, bei dem die groben Gesteinskörnungen diese Anforderungen erfüllen

AC deck..... Asphaltbeton für Deckschichten
 SMA..... Splittmastixasphalt
 BTM..... lärmindernde Dünnschichtdecken
 PA..... offenporiger Asphalt
 MA..... Gussasphalt

Tabelle 6-4: Anforderungen an den Polierwiderstand (PSV-Wert) des Gesteinsmaterials für Asphaltdeckschichten gemäß RVS 08.97.05 [FSV, 2007c].

6.2.4.2 Polierresistenz des Gesteinsmaterials für Betondeckschichten

Für Betondecken sind in der RVS 08.17.02 [FSV, 2007b] der Polierwiderstand (PSV-Wert) für Gesteinskörnungen > 4 mm und der Polierwert von Sand (PWS-Wert) für Gesteinskörnungen < 4 mm festgelegt (siehe Tabelle 6-5).

Widerstand gegen Polieren > 4 mm	PSV ≥ 50 (bestimmt gemäß ÖNORM EN 10978 [ONI, 2000] an 8/11)
Widerstand gegen Polieren ≤ 4 mm	PWS ≥ 0,55 gemäß RVS 11.06.23 oder CO ₂ < 15 % (ÖNORM EN 196-2 [ONI, 2005])

Tabelle 6-5: Anforderungen an den Polierwiderstand für Gesteinskörnungen von Oberbeton gemäß RVS 08.17.02 [FSV, 2007b].

6.3 Texturanforderungen

6.3.1 Übernahme und Gewährleistung

6.3.1.1 Asphaltdeckschichten

Bei der Übernahme ist nur in begründeten Fällen eine Prüfung der Oberflächentextur (Rautiefe [mm]) mit dem Sandfleckverfahren gemäß ÖNORM EN 13036-1 [ONI, 2001] notwendig [FSV, 2007d]. Für die Oberflächentextur von Asphaltdeckschichten (alle Mischgutsorten) gelten nach RVS 08.16.01 [FSV, 2007a] folgende Anforderungen:

Kennwerte	Prüfnorm	Sollwerte	Qualitätsabzug	keine Übernahme
Oberflächentextur Rautiefe [mm]	ÖNORM EN 13036-1	≥ 0,4	–	< 0,4

Tabelle 6-6: Anforderungen an die Oberflächentextur von Asphaltdeckschichten (alle Mischgutsorten) bei der Übernahme [FSV, 2007a].

Am Ende der Gewährleistungsfrist werden keine Anforderungen an die Oberflächentextur von Asphaltdecken gestellt.

6.3.1.2 Betondeckschichten

Für die Oberflächentextur von Betondecken gelten nach RVS 08.17.02 [FSV, 2007b] folgende Anforderungen:

Kennwert	Prüfnorm	konventionelle Betondecke	Waschbeton	
			GK 8 mm	GK 11 mm
Oberflächentextur, Rautiefe*)	ÖNORM EN 13036-1	≥ 0,4 mm	0,8 bis 1,0 mm	1,0 bis 1,3 mm
Profilspitzen- anzahl*)	–	–	Richtwert 60/25 cm ²	Richtwert 45/25 cm ²

*) für die Erst- und Kontrollprüfungen

Tabelle 6-7: Anforderungen an die Oberflächentextur von Betondecken [FSV, 2007b].

Die Durchführung der Erstprüfungen hat der Auftragnehmer zu veranlassen, die Ergebnisse (Prüfberichte) sind dem Auftraggeber vor der Baudurchführung vorzulegen. Die Ergebnisse der Erstprüfung gelten als Vertragsbestandteile. Bei Beton mit Waschbetonstruktur ist eine Musterplatte von mindestens 1.000 cm² herzustellen und entsprechend dem für die Bauausführung vorgesehenen Verfahren zu behandeln. Danach sind die Oberflächentexturtiefe gemäß ÖNORM EN 13036-1 [ONI, 2001] und die Anzahl der Profilspitzen (zu zählen sind nur Spitzen, die von Körnern ≥ 4 mm stammen) je Flächeneinheit (Profilspitzenzahl als Mittel aus 3 Teilflächen von je 25 cm²) zu bestimmen.

Die Kontrollprüfungen (Konformitätsprüfung) hat der Auftragnehmer bzw. in seinem Auftrage eine akkreditierte Prüfstelle durchzuführen, die Ergebnisse sind dem Auftraggeber auf Verlangen vorzulegen. Bei Betondecken mit Waschbetonstruktur ist die Oberflächentexturtiefe und die Profilspitzenzahl unmittelbar nach der ersten Her-

stellung zu überprüfen und mit den Ergebnissen der Erstprüfung zu vergleichen [FSV, 2007b].

Für die Übernahme und am Ende der Gewährleistungsfrist werden keine Anforderungen an die Oberflächentextur von Betondecken gestellt.

6.3.2 Bauliche Straßenerhaltung

Für die bauliche Straßenerhaltung sind nach RVS 13.01.15 [FSV, 2006] Beurteilungskriterien für die messtechnische Zustandserfassung der Textur mit dem System RoadSTAR festgelegt. Diese Richtlinie ist für das Autobahn- und Schnellstraßennetz zur Beurteilung der erhaltenen Messergebnisse anzuwenden. Die Texturmessergebnisse (50 m-Werte) werden über eine Normierung in Zustandsklassen gemäß Tabelle 6-8 umgewandelt. Die Zustandsklassen reichen von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht) [FSV, 2006].

Textur MPD [mm]				
Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
MPD > 0,8	0,8 ≥ MPD > 0,7	0,7 ≥ MPD > 0,6	0,6 ≥ MPD > 0,3	MPD ≤ 0,3

Tabelle 6-8: Zustandsklasseneinteilung der Texturmessergebnisse (50 m-Werte) mit dem System RoadSTAR für Autobahnen und Schnellstraßen [FSV, 2006].

7 Durchgeführtes Messprogramm

7.1 Beschreibung des Messprogramms

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden umfangreiche Griffigkeitsmessungen mit den Messsystemen GripTester (siehe Kapitel 5.3.1.1) und SRT-Pendel (siehe Kapitel 5.2.1), sowie Makrotexturmessungen mit dem Sandfleckverfahren (siehe Kapitel 5.2.2.2) auf verschiedenen Messstrecken des oberösterreichischen Landesstraßennetzes durchgeführt. Weiters wurden auf diesen Messstrecken von arsenal research RoadSTAR-Messungen (siehe Kapitel 5.3.1.2 und 5.3.2.1) ausgeführt. Eine Übersicht der durchgeführten Messmethoden auf den Messstrecken ist in der Tabelle 7-1 dargestellt. Die Messstrecken sind im Kapitel 7.3 angeführt.

In der ersten Messphase wurden in den Monaten Juli und August 2005 Messungen mit dem GripTester auf 18 Messstrecken absolviert (siehe Tabelle 7-1). Aus praktischen Gründen erfolgte diese Messabwicklung mit einem weiteren Diplomanden. Die gesammelten Messdaten der GripTester-Messungen werden in beiden Diplomarbeiten verwendet, die Auswertung und Bearbeitung erfolgte jedoch getrennt. Die Griffigkeits- bzw. Texturmessdaten des RoadSTAR, die im Juli 2005 ermittelt wurden, werden ebenfalls in dieser Diplomarbeit verwendet. Diese dynamischen Messungen erfolgten in der rechten Radspur bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h (RoadSTAR und GripTester) bzw. teilweise bei 40 km/h (GripTester), dadurch wurde der Verkehr auf dem niederrangigen Straßennetz kaum beeinträchtigt.

In der zweiten Messphase wurden in den Monaten Juli und Oktober 2006 auf elf der 18 Messstrecken des oberösterreichischen Landesstraßennetzes Sandfleckversuche und Pendeltests durchgeführt. Pro Messstrecke wurden an mindestens vier Messstellen die Prüfmethode abgewickelt. In Summe wurden bei 54 ausgewählten Messstellen (siehe Tabelle 7-1) die Messwerte MPD und PTV ermittelt. Diese stationären Messmethoden wurden gleichzeitig ca. einen Meter nebeneinander und ebenfalls in der rechten Radspur (siehe Abbildung 7-1) mit der Unterstützung eines weiteren Studenten abgewickelt. Vor Beginn der Messungen wurde der Zustand der jeweiligen Messstrecke visuell überprüft, ob im Messbereich einer Messstrecke ein Belagswechsel, Oberflächenschäden (Ausbrüche, Ablösungen, Abplatzungen, Ausmagerungen, Kornausbrüche, Schlaglöcher, Risse im Belag), Spurrinnen, Quer- und

Längsunebenheiten, Bindemittelaustritt, Flickstellen, etc. vorhanden waren. Die visuelle Zustandserfassung der Straßenoberfläche erfolgte entweder vom fahrenden PKW aus oder auch durch Abgehen der Messstrecke. Anhand der visuellen Zustandserfassung und markanter Stellen, die sich aus der Auswertung der bereits vorhandenen Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR ergaben, wurden die Messstellen für die stationären Messmethoden festgelegt. Zur Aufrechterhaltung der Sicherheit an den Messstellen wurden vorschriftsmäßig ausreichende Sicherheitsmaßnahmen vorgenommen. Dazu wurden in beiden Fahrtrichtungen ca. 200 Meter vor der Messstelle Warndreiecke aufgestellt. Im ausgewählten Messbereich wurde ein Fahrstreifen mit Leitkegeln abgesperrt, um so die ausreichende Sicherheit während der Messungen zu erhalten (siehe Abbildung 7-2).

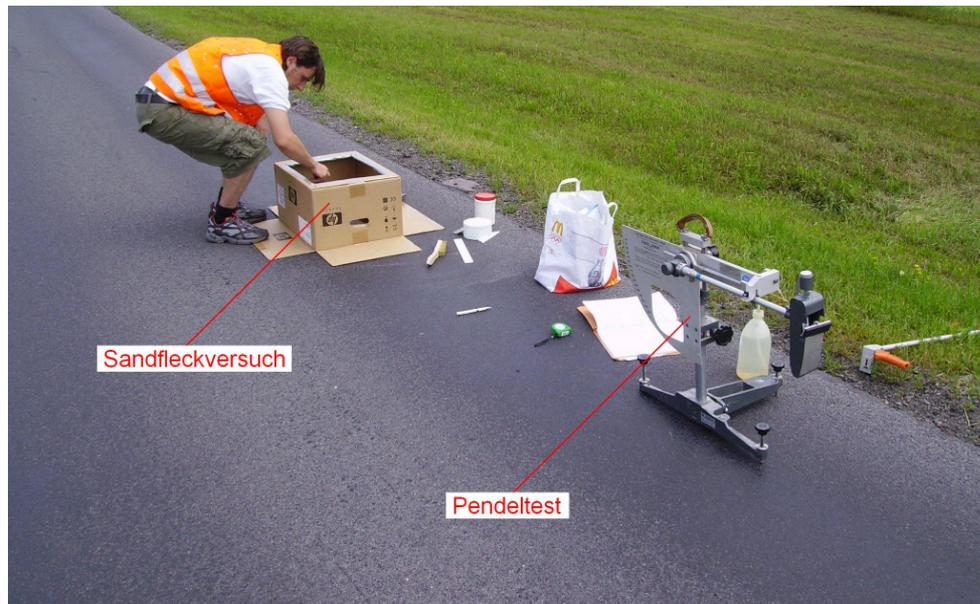


Abbildung 7-1: Durchführung der Makrotexturmessung mittels Sandleckverfahren und der Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendel (Foto: Achleitner).

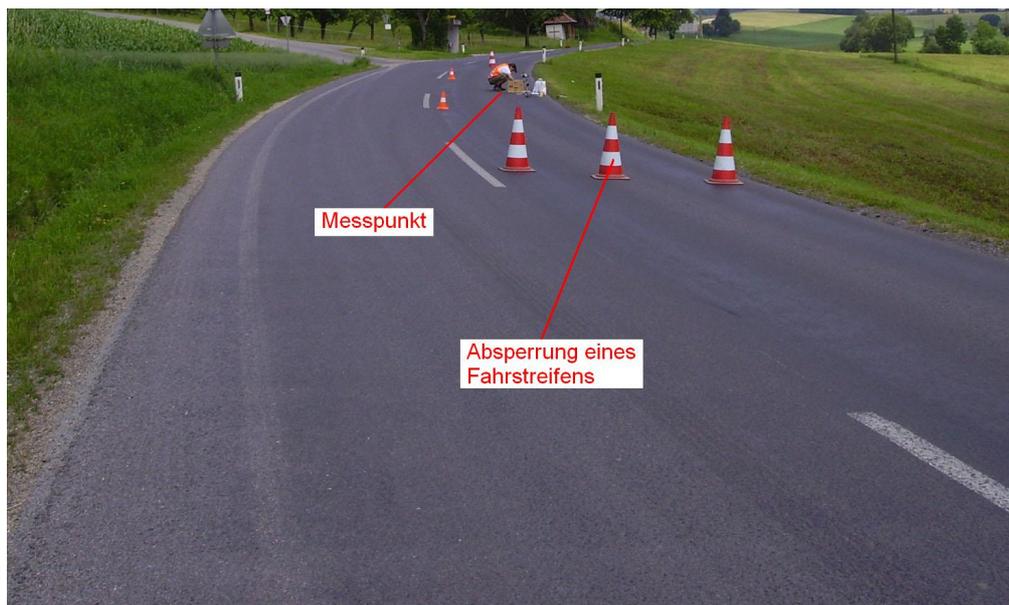


Abbildung 7-2: Absperrung eines Fahrstreifens mit Leitkegeln (Foto: Achleitner).

7.2 Übersicht der durchgeführten Messmethoden

Messstrecken	Kilometrierung [km]		Messdatum			Messpunkte der Pendel- und Sandfleckversuche bei Kilometrierung [km]							Messdatum Pendel- und Sandfleckversuche	
	Start	Ende	GripTester 60 km/h	GripTester 40 km/h	RoadSTAR 60 km/h	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.		
L1476	0,6	2,6	26.07.2005	–	12.07.2005	0,980	1,630	2,250	2,425					07.07.2006
L579	6,0	4,0	27.07.2005	29.07.2005	–									–
L1471	14,0	16,0	27.07.2005	29.07.2005	14.07.2005	14,670	14,720	14,758	14,764	15,500	15,525			08.07.2006
L1477	3,2	1,2	27.07.2005	–	14.07.2005	2,700	2,520	1,580	1,350					08.07.2006
L1479	1,0	3,0	27.07.2005	–	14.07.2005	1,100	1,500	1,880	2,070	2,300				14.07.2006
L1498	21,0	19,0	28.07.2005	–	14.07.2005	20,825	20,760	20,620	19,920	19,910	19,400	19,200		14.07.2006
L1483	5,2	3,2	28.07.2005	–	13.07.2005	5,155	5,135	3,800	3,700	3,630	3,375			13.07.2006
L1484	0,4	2,4	28.07.2005	–	13.07.2005	0,680	0,940	1,300	1,930	2,050				13.07.2006
L1480	6,6	4,6	28.07.2005	–	13.07.2005	6,460	5,700	5,420	5,330					13.07.2006
L1423	14,2	12,2	04.08.2005	04.08.2005	21.07.2005									–
L1422	4,0	2,0	05.08.2005	05.08.2005	21.07.2005									–
L570	10,2	12,2	05.08.2005	05.08.2005	21.07.2005									–
L564	10,0	8,0	09.08.2005	09.08.2005	28.07.2005	9,500	9,450	8,480	8,450	8,025				01.10.2006
L1374	3,0	1,0	09.08.2005	09.08.2005	29.07.2005									–
L1349	11,0	13,0	09.08.2005	09.08.2005	27.07.2005	11,200	11,300	12,100	12,200					01.10.2006
L1404a	3,6	5,6	10.08.2005	10.08.2005	27.07.2005									–
L1404b	8,0	10,0	10.08.2005	10.08.2005	27.07.2005									–
L1403	5,6	3,6	10.08.2005	10.08.2005	27.07.2005	5,180	5,100	4,200	4,100					01.10.2006

Messstrecken im Bezirk Freistadt (siehe Abbildung 7-3)
 Messstrecken im Bezirk Perg (siehe Abbildung 7-4)
 Messstrecken im Bezirk Linz Land (siehe Abbildung 7-5)

Tabelle 7-1: Übersicht der durchgeführten Messmethoden.

Mit dem GripTester wurden sowohl bei 60 km/h als auch bei 40 km/h immer zwei Messfahrten pro Messstrecke mit einer Wasserfilmdicke von 0,5 mm durchgeführt. Vor diesen Messfahrten wurde der Messreifen bei der so genannten „Nullmessung“ auf jeder Messstrecke eingefahren. Bei allen Messstrecken wurde der ASTM Reifen (siehe Kapitel 5.3.1.1) mit der Nummer A37-05519 verwendet. Die RoadSTAR-

Messdaten (Griffigkeit und Textur) wurden bei einer Messfahrt mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h ermittelt, wobei die Griffigkeitsmessungen mit einer Wasserfilmdicke von 0,5 mm absolviert wurden.

7.3 Messstrecken

Die ausgewählten Messstrecken des oberösterreichischen Landesstraßennetzes liegen in den Bezirken Freistadt, Perg und Linz Land. Es wurden im Bezirk Freistadt an neun Messstrecken (siehe Abbildung 7-3), im Bezirk Perg an drei Messstrecken (siehe Abbildung 7-4) und im Bezirk Linz Land (siehe Abbildung 7-5) an sechs Messstrecken Messungen (siehe Tabelle 7-1) durchgeführt. Die Messstreckenlänge betrug jeweils 2.000 m.

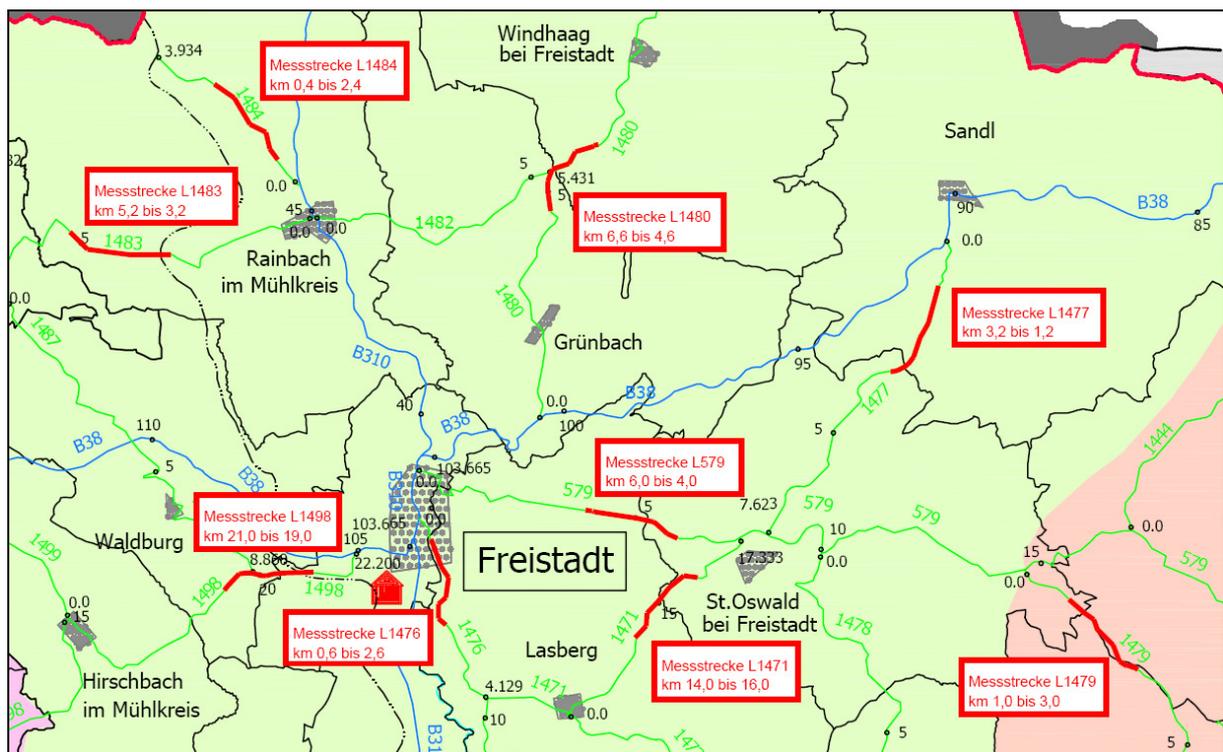


Abbildung 7-3: Messstrecken im Bezirk Freistadt.

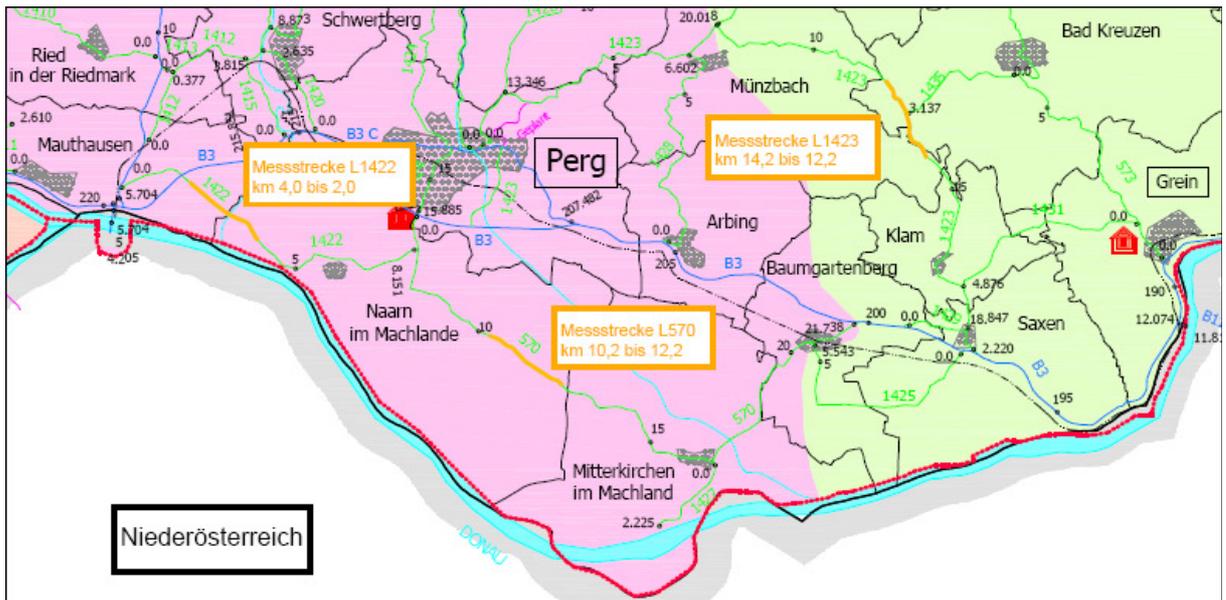


Abbildung 7-4: Messstrecken im Bezirk Perg.

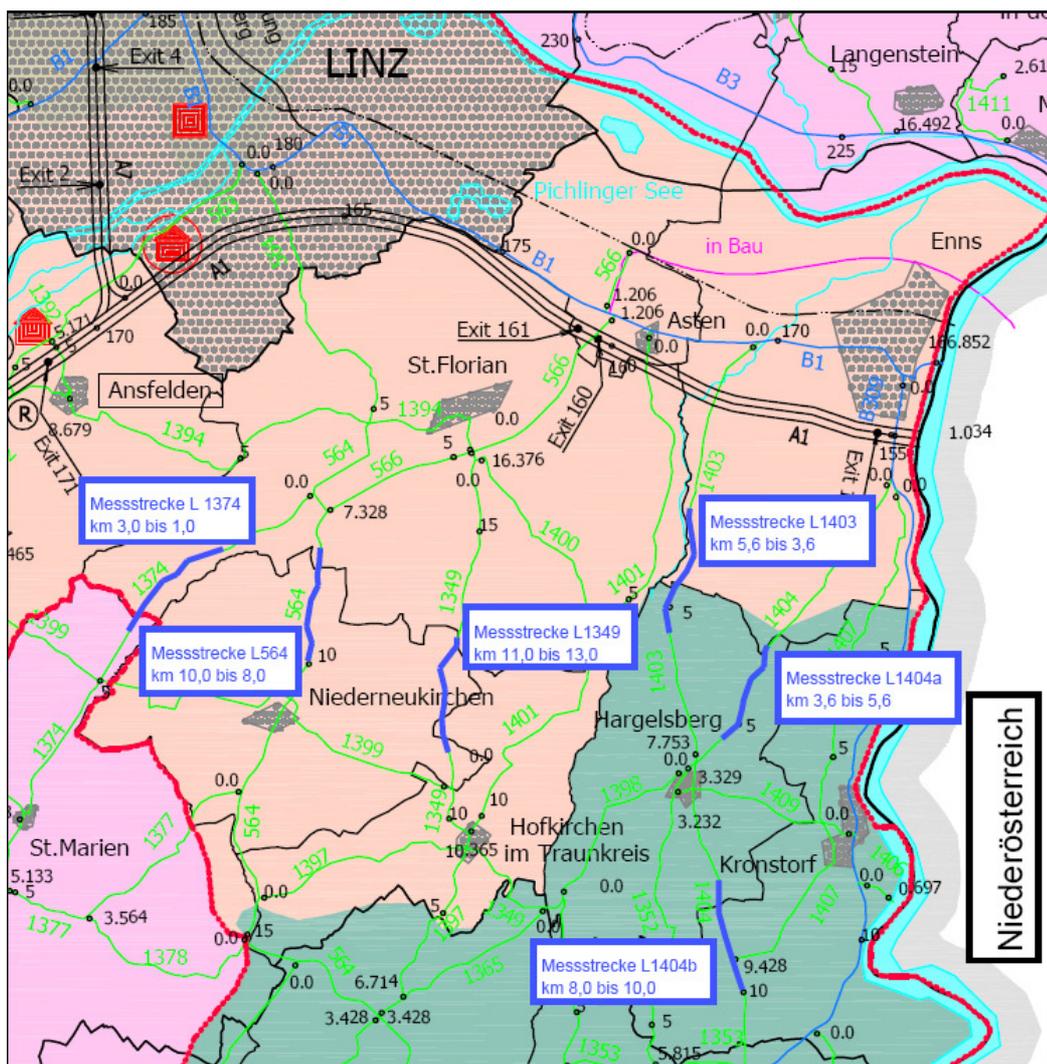


Abbildung 7-5: Messstrecken im Bezirk Linz Land.

8 Auswertung der Messdaten

8.1 Statistische Grundlagen

Für die nachfolgend beschriebene Auswertung der Messdaten werden die statistischen Kenngrößen Mittelwert, Standardabweichung und Bestimmtheitsmaß verwendet.

8.1.1 Mittelwert

Der Mittelwert einer Stichprobe x_1, \dots, x_n ist definiert als das arithmetische Mittel der Stichprobenwerte und wird mit \bar{x} bezeichnet [KREYSZIG, 1985].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (8.1)$$

8.1.2 Standardabweichung

Die Stichproben $x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 4, x_4 = 5$ und $x_1 = 2,7, x_2 = 3, x_3 = 3,1, x_4 = 3,2$ haben beide den Mittelwert $\bar{x} = 3$, unterscheiden sich aber trotzdem recht wesentlich voneinander, denn die Werte der ersten Stichprobe liegen viel weiter auseinander (und viel weiter vom Mittelwert weg) als die Werte der zweiten. Um diesen Unterschied zu erfassen, braucht man noch eine weitere Maßzahl. Geeignet ist hierzu eine Zahl, die die Abweichung der Stichprobenwerte x_1, \dots, x_n vom Mittelwert \bar{x} misst. Dabei wird gefordert, dass, ähnlich wie beim Mittelwert, jeder Stichprobenwert in gewisser Weise mitberücksichtigt wird. Die Maßzahl die man auf diesem Wege erhält heißt Standardabweichung s der Stichprobe x_1, \dots, x_n und wird gemäß Gleichung (8.2) definiert [KREYSZIG, 1985].

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8.2)$$

Das Quadrat der Standardabweichung wird als Varianz s^2 bezeichnet. Die Varianz ist in der Statistik ebenfalls ein Streuungsmaß und wird in der Praxis ebenso wie die Standardabweichung verwendet. Die Standardabweichung hat den Vorteil, dass sie dieselbe Dimension wie die Stichprobe x_i besitzt [KREYSZIG, 1985].

8.1.3 Regressionsanalyse

Die Ableitung von deterministischen Verhaltensfunktionen, die auf der Grundlage empirischer Untersuchungen basieren, erfolgt in der Regel mittels einer Regressionsanalyse. Dabei wird untersucht, ob irgendeine Beziehung zwischen den Variablen X und Y besteht und welcher Art diese ist.

Liegt eine Stichprobe von Beobachtungen $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ aus einer zweidimensionalen (X, Y)-Grundgesamtheit vor, so kann man eine „Ausgleichskurve“ oder Regressionskurve von Y bezüglich X ermitteln, die sich dem Verlauf der Punkte möglichst gut anpasst. Aus dieser Kurve kann man ablesen, welcher Y-Wert zu einem vorgegebenen X-Wert etwa zu erwarten ist. Die einfachste Form der Regression ist die lineare Regression, wobei der Zusammenhang der zweidimensionalen Grundgesamtheit über eine lineare Funktion ermittelt wird. Neben der Anpassung durch eine lineare Funktion, können auch andere Funktionen wie Exponentialfunktion, Potenzfunktion, polynomische Funktion, logarithmische Funktion oder hyperbolische Funktion untersucht werden. Eine objektive Methode zur Ermittlung dieser „Ausgleichskurve“ ist das Gauß'sche Prinzip der kleinsten Quadrate. Die Gerade (bzw. Kurve) ist so zu legen, dass die Summe der Quadrate aller Abstände der Punkte von der Ausgleichskurve möglichst klein wird.

Bei der linearen Regression wird aus rechentechnischen Gründen der vertikale Abstand zur Regressionsgeraden verwendet. Demnach ist die Regressionsgerade nach Gleichung (8.3) definiert [KREYSZIG, 1985].

$$Y = \alpha \cdot X + \beta \tag{8.3}$$

Y abhängige Variable

X erklärende Variable

α Anstieg der Geraden (Parameter)

β Konstante (Parameter)

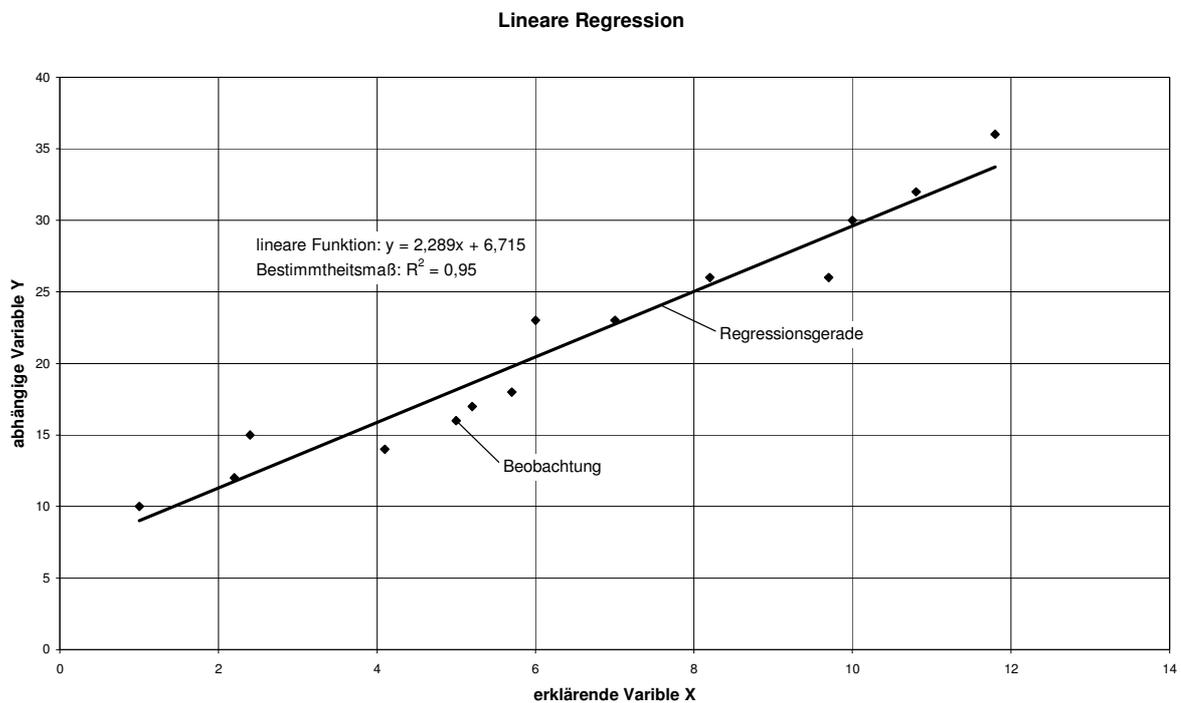


Abbildung 8-1: Schematische Darstellung der linearen Regression [KREYSZIG, 1985].

Die Regression bezieht sich also auf die Art der Abhängigkeit, während das Bestimmtheitsmaß R^2 das Ausmaß des Zusammenhangs, also die Güte der Anpassung der benutzten Ausgleichskurve an die Stichprobenpunkte, kennzeichnet [KREYSZIG, 1985]. Das Bestimmtheitsmaß liegt zwischen null (kein linearer Zusammenhang: das Regressionsmodell besteht nur aus einer Konstanten) und eins (exakter linearer Zusammenhang: alle Fehlerterme sind null). Es gibt an, in welchem Maße die Varianz der Variable Y durch die Varianz der anderen Variable X bestimmt wird. Beträgt das Bestimmtheitsmaß für die Variablen X und Y z.B. $R^2 = 0,5$, dann heißt dies, dass die Hälfte (50 %) der Streuung von Y durch die lineare Abhängigkeit von X erklärt werden kann [WIKIPEDIA, 2007].

8.2 Griffigkeitsmesswerte

In diesem Kapitel werden die Griffigkeitsmesswerte von GripTester (μ_{GT}), RoadSTAR (μ_{RS}) und SRT-Pendel (PTV_{corr}) gegenübergestellt. Die Reibungsbeiwerte μ_{GT} sind 50 m-Mittelwerte aus zwei Messfahrten und die Reibungsbeiwerte μ_{RS} sind 50 m-Mittelwerte aus einer Messfahrt auf der durchgehend gemessenen Streckenlänge von 2.000 m. Der PTV_{corr} stellt einen Messwert der ausgewählten Messstelle des Pendeltests dar.

Der Verlauf der Griffigkeitsmesswerte der einzelnen Messstrecken ist im Anhang A dargestellt.

8.2.1 Vergleich GripTester (60 km/h) – RoadSTAR

Die Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR wurden auf 17 Messstrecken (siehe Tabelle 7-1) verglichen. Zunächst wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen der beiden Messmethoden in der Tabelle 8-1 dargestellt. Im Allgemeinen ist auf den einzelnen Messstrecken der Reibungsbeiwert des RoadSTAR auf einem höheren Niveau als jener des GripTester bei 60 km/h, einzige Ausnahme ist die Messstrecke L1479. Der Reibungsbeiwert des RoadSTAR über die gesamten Messstrecken ist um $\Delta\mu = 0,159 \pm 0,099$ höher als der des GripTester bei 60 km/h.

Messstrecke	Mittelwert μ_{RS} [-]	Mittelwert $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ [-]	Mittelwert der Differenzen $\Delta\mu (\mu_{RS} - \mu_{GT(60\text{ km/h})})$ [-]	Standardabweichung der Differenzen $s (\mu_{RS} - \mu_{GT(60\text{ km/h})})$ [-]
L1476	0,92	0,70	0,221	0,086
L1471	0,84	0,68	0,162	0,067
L1477	0,88	0,76	0,117	0,048
L1479	0,90	0,91	-0,007	0,072
L1498	0,82	0,62	0,193	0,079
L1483	0,89	0,83	0,059	0,089
L1484	0,88	0,77	0,105	0,048
L1480	0,81	0,68	0,130	0,068
L1423	0,83	0,61	0,221	0,047
L1422	0,77	0,62	0,142	0,080
L570	0,79	0,61	0,173	0,051
L564	0,74	0,56	0,188	0,072
L1374	0,74	0,57	0,175	0,054
L1349	0,84	0,52	0,316	0,064
L1404a	0,80	0,68	0,123	0,036
L1404b	0,77	0,52	0,254	0,064
L1403	0,72	0,59	0,129	0,085
über die gesamten Messstrecken			0,159	0,099

Tabelle 8-1: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR.

Nachfolgend wird mittels linearer Regression versucht, eine Korrelation der Reibungsbeiwerte der beiden Messmethoden zu erarbeiten.

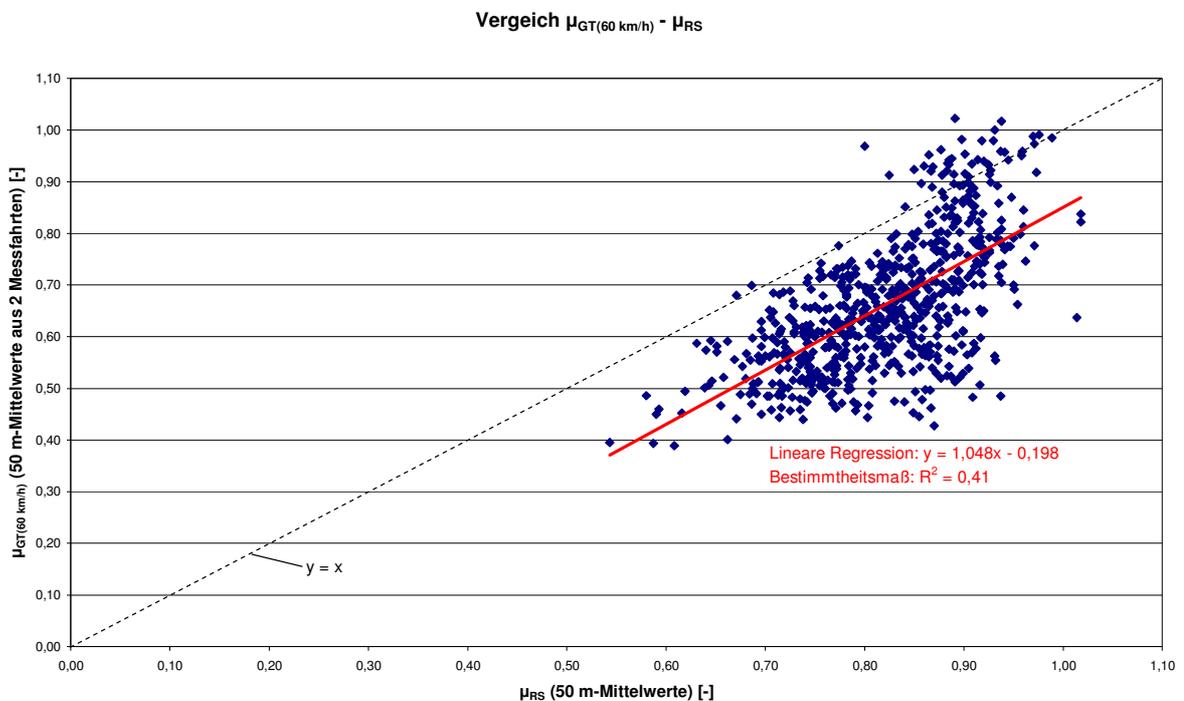


Abbildung 8-2: Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR auf 17 Messstrecken.

Die Abbildung 8-2 zeigt die lineare Regression der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,41$. Durch das niedrige Bestimmtheitsmaß ist kein Rückschluss auf eine mögliche Korrelation zwischen den beiden Messmethoden ableitbar. Bei einer genauen Analyse der Reibungsbeiwerte konnte festgestellt werden, dass auf den Messstrecken L1479 und L1483 einige 50 m-Mittelwerte des GripTester ein höheres Niveau als die 50 m-Mittelwerte des RoadSTAR erreichen. Lässt man die Messwerte der Messstrecken L1479 und L1483 bei der Korrelationsuntersuchung unberücksichtigt, ergibt sich noch ein geringeres Bestimmtheitsmaß (siehe Abbildung 8-3).

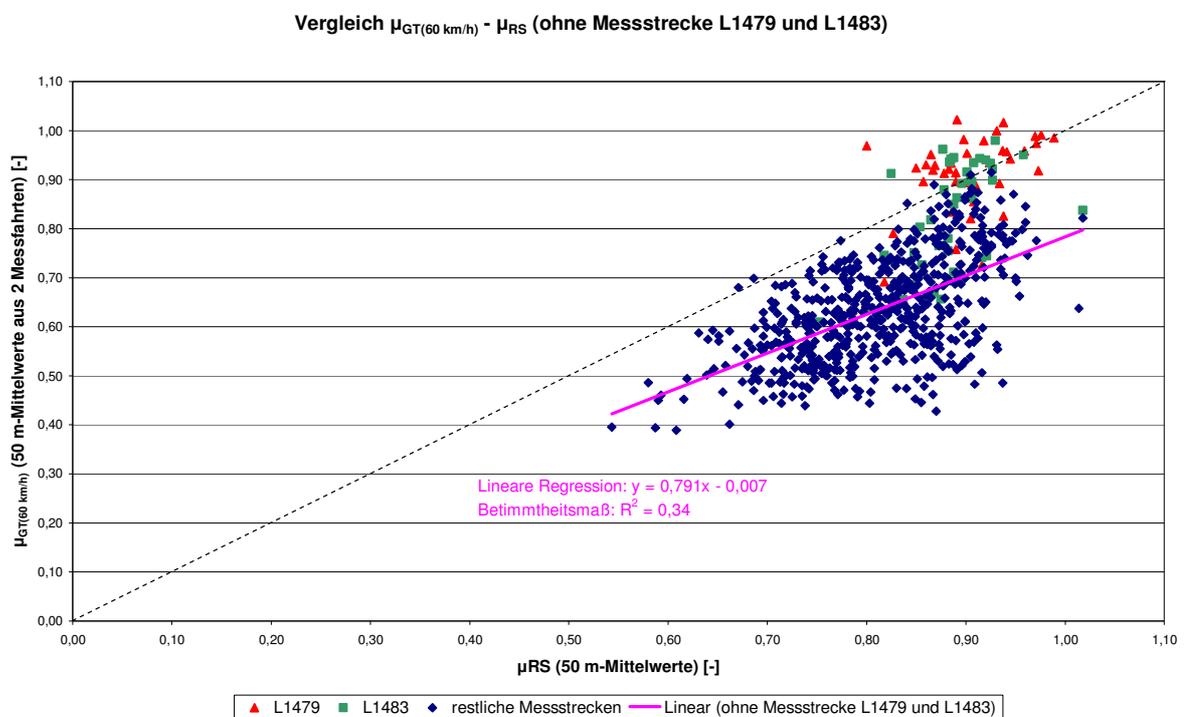


Abbildung 8-3: Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR auf 15 Messstrecken (ohne L1479 und L1483).

8.2.2 Vergleich GripTester (40 km/h) – RoadSTAR

Die Reibungsbeiwerte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR werden auf zehn Messstrecken (siehe Tabelle 7-1) verglichen. Zunächst wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen der beiden Messmethoden in der Tabelle 8-2 dargestellt. Im Allgemeinen ist auf den einzelnen Messstrecken der Reibungsbeiwert

des RoadSTAR auf einem höheren Niveau als jener des GripTester bei 40 km/h. Der Mittelwert der Differenz über die gesamten Messstrecken ist mit $\Delta\mu = 0,116 \pm 0,071$ erwartungsgemäß niedriger als der Mittelwert der Differenzen von RoadSTAR und GripTester bei 60 km/h (Vergleich Tabelle 8-1).

Messstrecke	Mittelwert μ_{RS} [-]	Mittelwert $\mu_{GT(40 \text{ km/h})}$ [-]	Mittelwert der Differenzen $\Delta\mu (\mu_{RS} - \mu_{GT(40 \text{ km/h})})$ [-]	Standardabweichung der Differenzen $s (\mu_{RS} - \mu_{GT(40 \text{ km/h})})$ [-]
L1471	0,84	0,73	0,108	0,064
L1423	0,83	0,70	0,132	0,038
L1422	0,77	0,70	0,063	0,046
L570	0,79	0,69	0,101	0,045
L564	0,74	0,63	0,109	0,052
L1374	0,74	0,65	0,098	0,048
L1349	0,84	0,61	0,223	0,059
L1404a	0,80	0,73	0,065	0,036
L1404b	0,77	0,61	0,162	0,046
L1403	0,72	0,62	0,098	0,091
über die gesamten Messstrecken			0,116	0,071

Tabelle 8-2: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der Reibungsbeiwerte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR.

Die lineare Regression der Reibungsbeiwerte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR über zehn Messstrecken ergibt ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,27$ (siehe Abbildung 8-4). Dieser Wert lässt keinen Rückschluss auf eine mögliche Korrelation zu.

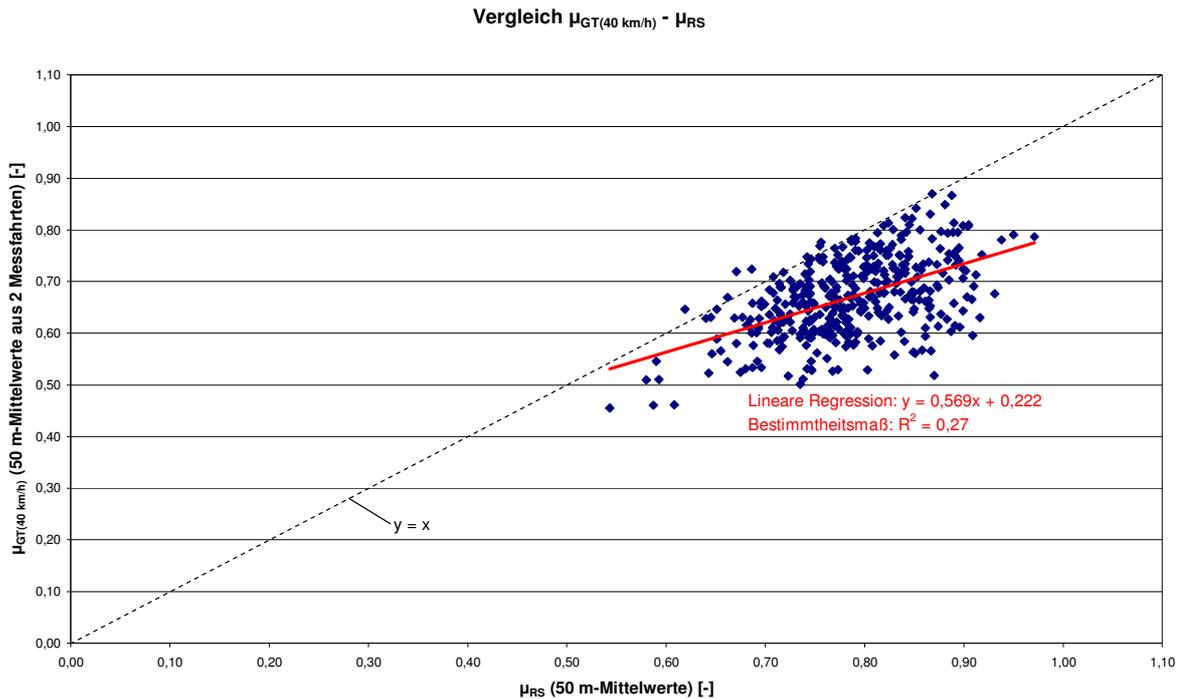


Abbildung 8-4: Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR auf zehn Messstrecken.

8.2.3 Vergleich GripTester (60 km/h) – GripTester (40 km/h)

Die Reibungsbeiwerte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h werden auf elf Messstrecken (siehe Tabelle 7-1) verglichen. Zunächst wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen der Reibungswerte bei den unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten in der Tabelle 8-3 dargestellt.

Messstrecke	Mittelwert $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ [-]	Mittelwert $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ [-]	Mittelwert der Differenzen $\Delta\mu$ ($\mu_{GT(40\text{ km/h})} - \mu_{GT(60\text{ km/h})}$) [-]	Standardabweichung der Differenzen s ($\mu_{GT(40\text{ km/h})} - \mu_{GT(60\text{ km/h})}$) [-]
L1471	0,73	0,68	0,054	0,062
L579	0,80	0,71	0,088	0,041
L1423	0,70	0,61	0,088	0,032
L1422	0,70	0,62	0,080	0,043
L570	0,69	0,61	0,073	0,037
L564	0,63	0,56	0,079	0,050
L1374	0,65	0,57	0,078	0,018
L1349	0,61	0,52	0,093	0,025
L1404a	0,73	0,68	0,058	0,020
L1404b	0,61	0,52	0,091	0,030
L1403	0,62	0,59	0,030	0,017
über die gesamten Messstrecken			0,074	0,041

Tabelle 8-3: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der Reibungswerte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h.

Im Allgemeinen ist auf den einzelnen Messstrecken der Reibungsbeiwert des GripTester bei der Messgeschwindigkeit von 40 km/h auf einem höheren Niveau als bei der Messgeschwindigkeit von 60 km/h. Der Mittelwert des Reibungsbeiwertes über die gesamten Messstrecken ist bei 60 km/h um $\Delta\mu = 0,074 \pm 0,041$ niedriger als bei 40 km/h (siehe Tabelle 8-3).

Nachfolgend wird mittels linearer Regression versucht, eine Korrelation der Reibungsbeiwerte bei den verschiedenen Messgeschwindigkeiten zu erarbeiten.

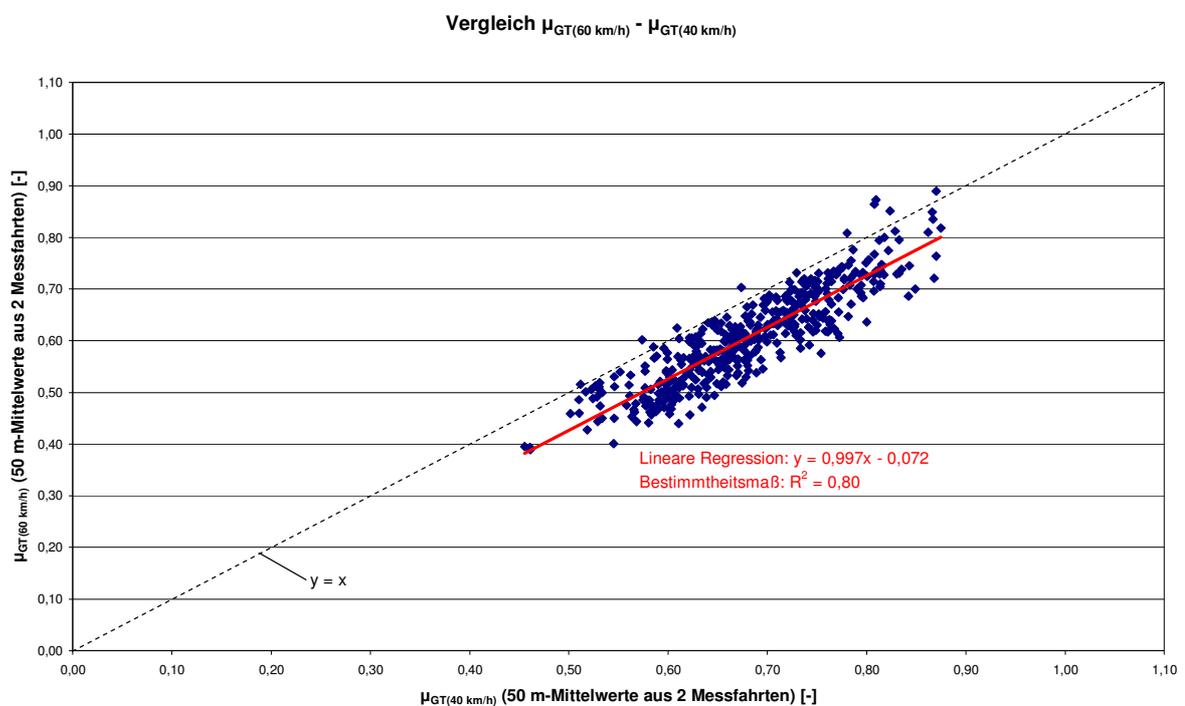


Abbildung 8-5: Vergleich der Reibungsbeiwerte des GripTester bei 60 km/h und 40 km/h auf elf Messstrecken.

Die Abbildung 8-5 zeigt die lineare Regression der Reibungsbeiwerte des GripTester bei 60 km/h und 40 km/h mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,80$. Aus diesem guten Wert ist ein linearer Zusammenhang zwischen den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h erkennbar.

Die lineare Funktion $\mu_{GT(60 \text{ km/h})} = 0,997 \cdot \mu_{GT(40 \text{ km/h})} - 0,072$ zeigt, dass das Niveau des Reibungsbeiwertes bei der Messgeschwindigkeit von 60 km/h um $\Delta\mu \approx 0,07$ nied-

riger ist als bei 40 km/h. Daraus ließe sich u.U. eine Geschwindigkeitskorrektur ableiten.

8.2.4 Vergleich GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) – SRT-Pendel

Die punktuellen Messergebnisse der Pendelversuche werden je Messstelle mit den zugehörigen Reibungsbeiwerten (50 m-Mittelwerte) des GripTester verglichen. Der Reibungsbeiwert des GripTester bei 60 km/h wird auf elf Messstrecken an 54 Messstellen, und der Reibungsbeiwert des GripTester bei 40 km/h wird auf vier Messstrecken an 19 Messstellen dem PTV_{corr} gegenübergestellt (siehe Tabelle 7-1).

Die in der Abbildung 8-6 dargestellte Regressionsanalyse zeigt den schwachen Zusammenhang zwischen den Messergebnissen des GripTester und des Pendeltests.

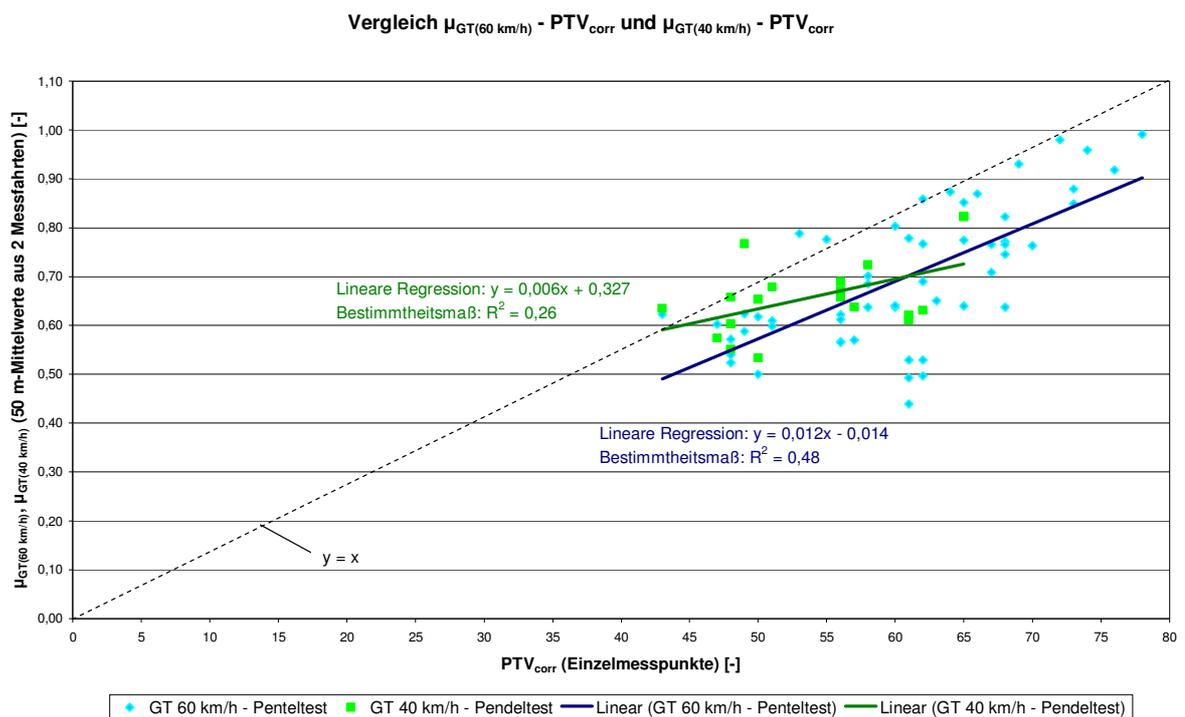


Abbildung 8-6: Vergleich der Griffigkeitsmesswerte von GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) und SRT-Pendel.

8.2.5 Vergleich RoadSTAR – SRT-Pendel

In der Folge werden die auf elf Messstrecken an 54 ausgewählten Messstellen durchgeführten Pendeltests mit den Reibungsbeiwerten (50 m-Mittelwerte) des RoadSTAR verglichen. Die lineare Regression der Griffigkeitsmesswerte der beiden Messgeräte über alle Messstellen ergibt ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,26$ (siehe Abbildung 8-7). Dieser Wert zeigt, wie auch beim GripTester, eine schlechte Korrelation zwischen einem dynamischen Griffigkeitsmessgerät und dem stationären Pendeltest.

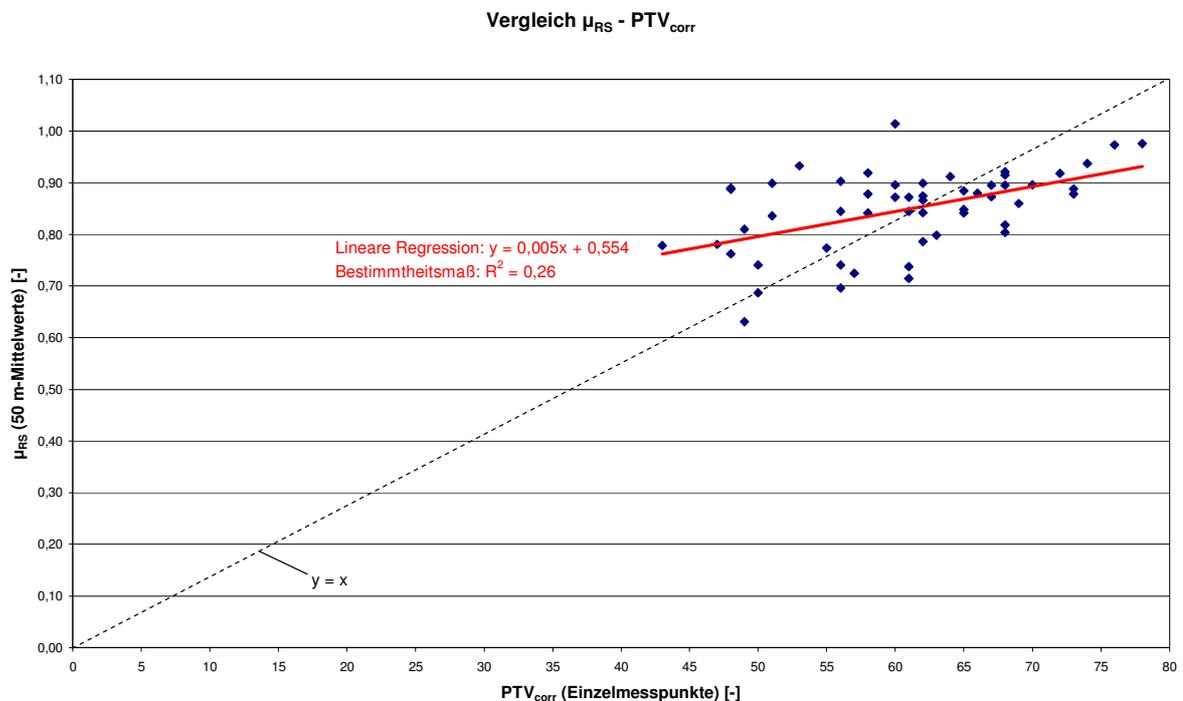


Abbildung 8-7: Vergleich der Griffigkeitsmesswerte von RoadSTAR und SRT-Pendel auf elf Messstrecken an 54 Messstellen.

8.3 Texturmesswerte

In diesem Kapitel wird die mittlere Texturtiefe aus dem Sandfleckverfahren (MTD) mit der vom Messfahrzeug RoadSTAR gemessenen mittleren Profiltiefe (MPD) verglichen. Die Texturangaben des Sandfleckverfahrens (dreidimensionales Messverfahren) stellen Messwerte der ausgewählten Messpunkte dar. Das Lasertexturmessverfahren am RoadSTAR ist ein zweidimensionales Messverfahren welches konstant

entlang einer Linie misst (siehe Kapitel 5.3.2.1). Die Messdaten der mittleren Profiltiefe MPD sind 50 m-Mittelwerte auf der durchgehend gemessenen Streckenlänge von 2.000 m.

Zur Korrelation des zweidimensionalen Texturmessverfahrens des RoadSTAR mit dem dreidimensionalen Sandfleckverfahren kann die mittlere Profiltiefe (MPD) in die geschätzte Oberflächentexturtiefe (ETD – Estimated Texture Depth) umgerechnet werden. Die Umrechnung der MPD-Werte in die ETD-Werte erfolgt gemäß Gleichung (5.10) für 50 m-Mittelwerte.

Der Verlauf der Texturwerte der einzelnen Messstrecken ist im Anhang B dargestellt.

In der Abbildung 8-8 werden jedoch nur 53 der 54 Messstellen des Sandfleckverfahrens mit den Texturwerten (50 m-Mittelwerte) des RoadSTAR verglichen, da auf der Messstrecke L1476 im Bereich einer Messstelle keine Messdaten vom Lasertexturmessgerät des RoadSTAR vorliegen (siehe Abbildung B-1 im Anhang B).

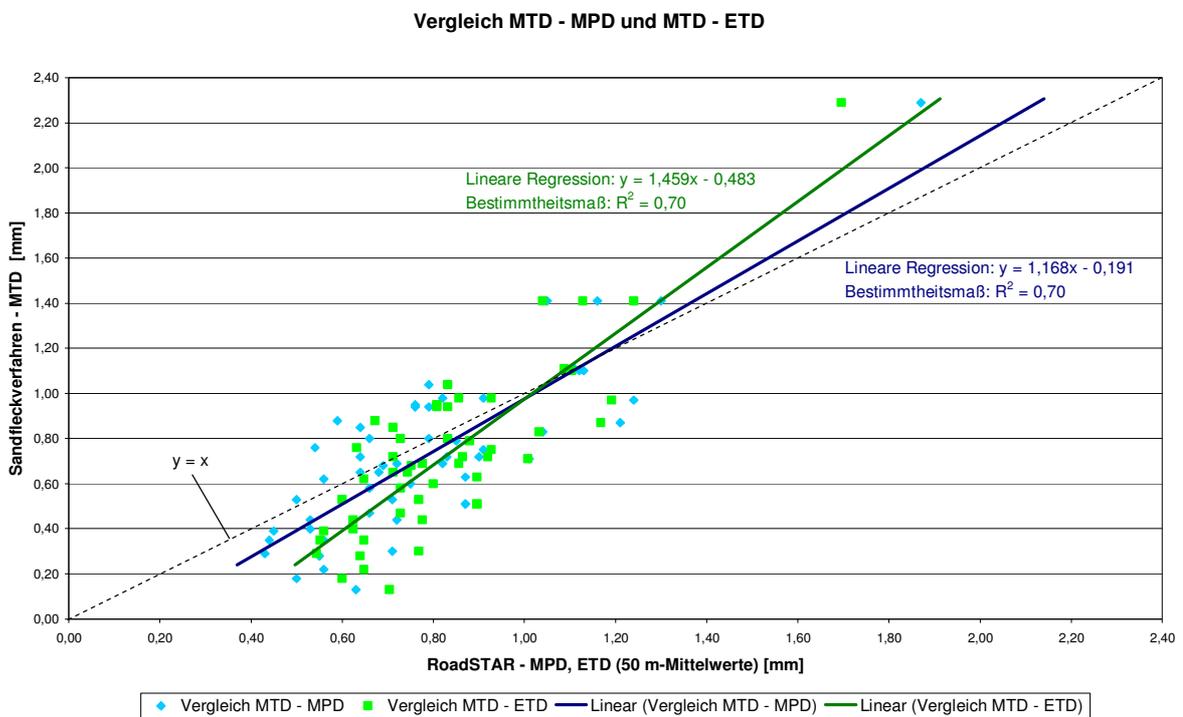


Abbildung 8-8: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR (MTD und ETD) mit dem Sandfleckverfahren auf elf Messstrecken an 53 Messstellen.

Die mittlere Texturtiefe aus dem Sandfleckverfahren (MTD) wird sowohl der mittleren Profiltiefe des RoadSTAR (MPD) als auch der daraus errechneten geschätzten Texturtiefe (ETD) gegenübergestellt. In beiden Fällen wird ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,70$ erreicht. Das gleiche Bestimmtheitsmaß ergibt sich aus dem linearen Zusammenhang zwischen MPD und ETD gemäß Gleichung (5.10). Trotzdem kann man aus der Abbildung 8-8 ablesen, dass die lineare Regressionsgerade beim Vergleich von MTD mit MPD näher an der Gerade der Funktion $y = x$ liegt, als die lineare Regressionsgerade beim Vergleich von MTD mit ETD.

In der Tabelle 8-4 wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen von MPD und MTD und der Differenzen von ETD und MTD ermittelt, um die bessere Übereinstimmung von MPD mit MTD nachzuweisen.

Messstrecke	Mittelwert der Differenzen $\Delta_{\text{MPD/MTD}}$ [mm]	Standardabweichung der Differenzen $S_{\text{MPD/MTD}}$ [mm]	Mittelwert der Differenzen $\Delta_{\text{ETD/MTD}}$ [mm]	Standardabweichung der Differenzen $S_{\text{ETD/MTD}}$ [mm]
L 1476	0,148	0,066	0,199	0,052
L 1471	0,221	0,182	0,277	0,191
L 1477	-0,011	0,187	0,038	0,193
L 1479	-0,026	0,078	0,035	0,078
L 1498	-0,002	0,208	0,075	0,211
L 1483	-0,039	0,186	-0,003	0,282
L 1484	0,023	0,246	-0,007	0,247
L 1480	0,181	0,123	0,193	0,096
L 564	0,073	0,194	0,124	0,249
L 1349	0,173	0,129	0,195	0,147
L 1403	-0,076	0,149	-0,021	0,155
Gesamt	0,055	0,200	0,097	0,219

Tabelle 8-4: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen von MPD und MTD und der Differenz von ETD und MTD.

Der Mittelwert der Differenzen von MPD und MTD über alle elf Messstrecken ist mit $\Delta_{\text{MPD/MTD}} = 0,055 \pm 0,2$ geringer als der Mittelwert der Differenzen von ETD und MTD mit $\Delta_{\text{ETD/MTD}} = 0,097 \pm 0,219$. Die Texturmessungen dieser Arbeit zeigen daher, dass die Texturmesswerte des RoadSTAR ohne Umrechnung gemäß Gleichung (5.10) besser mit den Texturmesswerten aus dem Sandfleckverfahren übereinstimmen.

8.4 Zusammenhang zwischen Griffigkeits- und Texturmesswerten

Die Textur von Oberflächen beeinflusst neben anderen Faktoren (siehe Kapitel 4) die Griffigkeit. In der Folge wird daher versucht, einen Zusammenhang zwischen den Griffigkeits- und Texturmesswerten herzustellen.

8.4.1 Vergleich Texturwerte RoadSTAR – Reibungsbeiwerte RoadSTAR

In der Abbildung 8-9 werden die Texturmesswerte (MPD) und die Reibungsbeiwerte (μ_{RS}) des RoadSTAR auf 17 Messstrecken miteinander verglichen. Die dargestellte Regressionsanalyse zeigt den schwachen Zusammenhang zwischen Griffigkeits- und Texturmesswerten und lässt daher keine Korrelation zu.

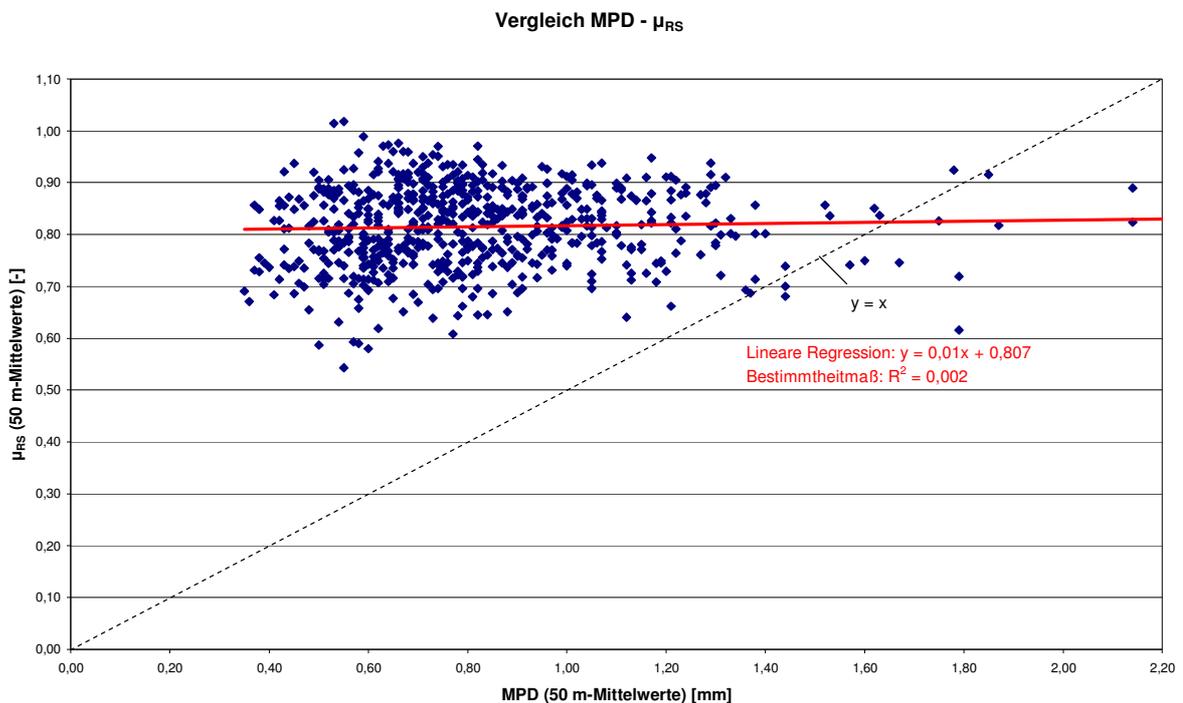


Abbildung 8-9: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR mit den Reibungsbeiwerten des RoadSTAR auf 17 Messstrecken.

8.4.2 Vergleich Texturwerte RoadSTAR – Reibungsbeiwerte GripTester (60 km/h)

Die in der Abbildung 8-10 dargestellte Regressionsanalyse zeigt den schwachen Zusammenhang der Texturwerte des RoadSTAR (MPD) mit den Reibungsbeiwerten des GripTester bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h.

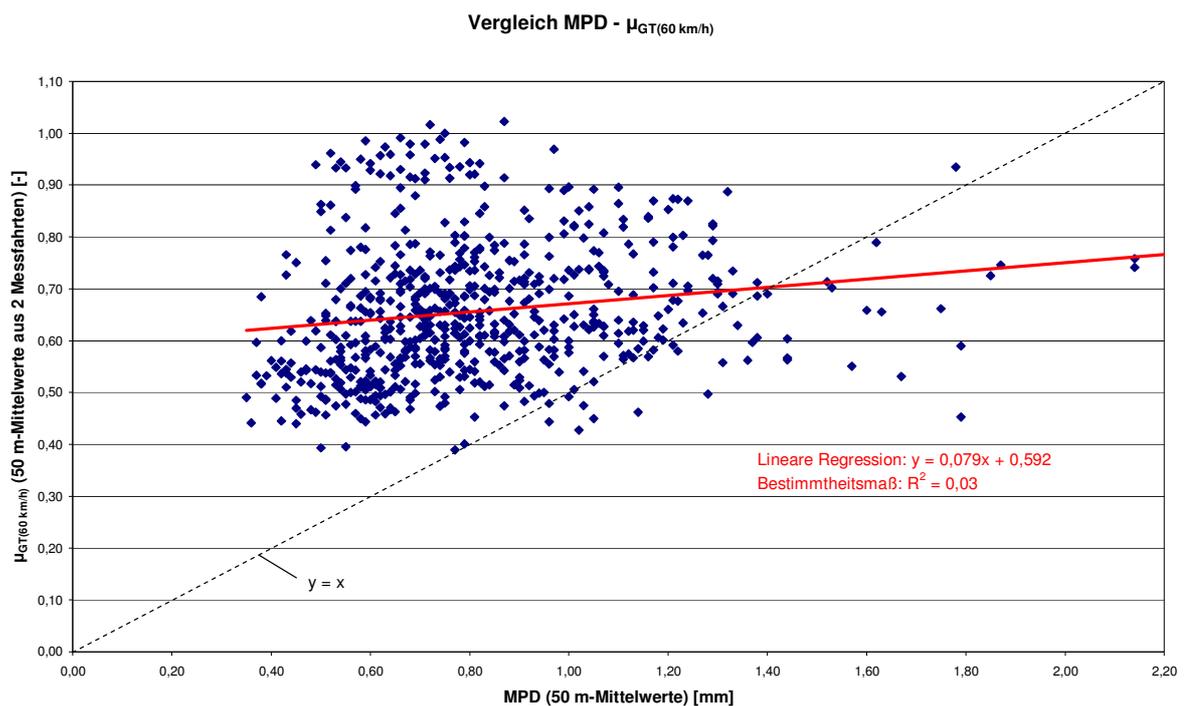


Abbildung 8-10: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR mit den Reibungsbeiwerten des GripTester (60 km/h) auf 17 Messstrecken.

8.4.3 Vergleich Texturwerte RoadSTAR – Reibungsbeiwerte GripTester (40 km/h)

Ebenfalls kein Zusammenhang lässt sich aus dem Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR (MPD) mit den Reibungsbeiwerten des GripTester bei einer Messgeschwindigkeit von 40 km/h ableiten (Abbildung 8-11).

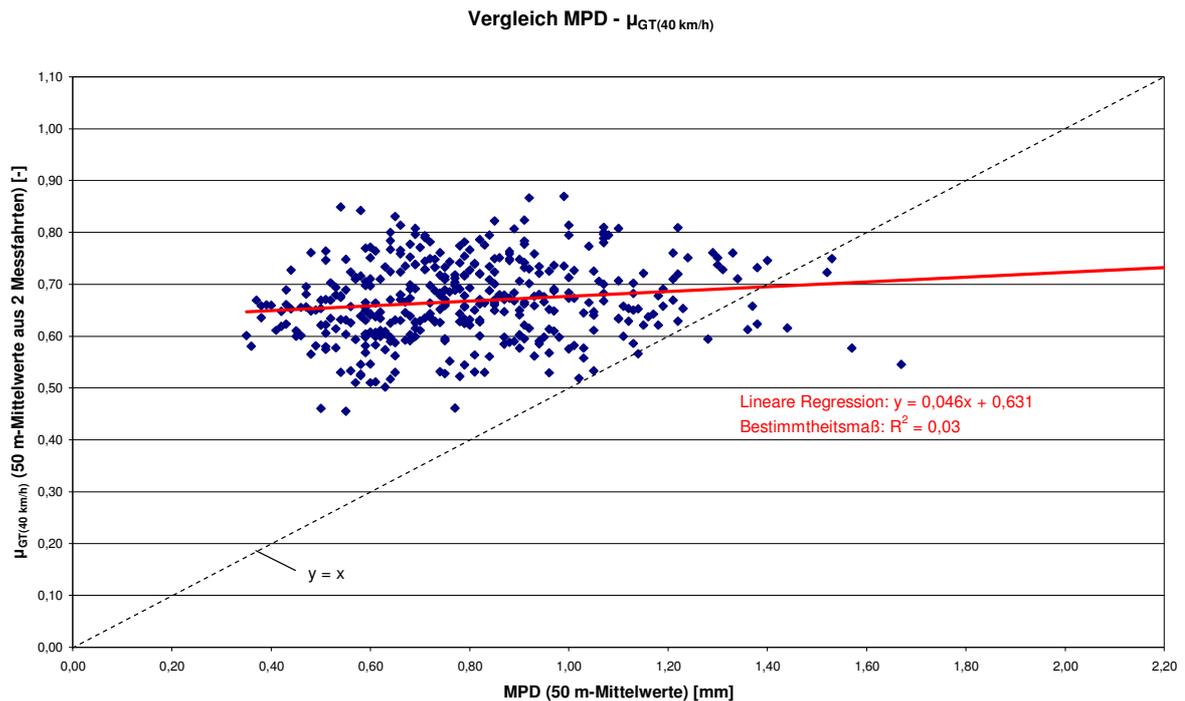


Abbildung 8-11: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR mit den Reibungsbeiwerten des GripTester (40 km/h) auf 10 Messstrecken.

8.4.4 Vergleich Sandfleckverfahren – SRT-Pendel

In der Abbildung 8-12 werden die Messwerte aus dem Sandfleckverfahren (MTD) mit den Messwerten des Pendeltests (PTV_{corr}) an 54 Messstellen gegenübergestellt. Die dargestellte Regressionsanalyse lässt jedoch keinen Zusammenhang der beiden stationären Messmethoden erkennen. Dieser schwache Zusammenhang lässt sich dadurch erklären, dass mit dem SRT-Pendel die Griffigkeit ausschließlich durch die Mikrotextur beeinflusst wird, während das Sandfleckverfahren die Makrotextur beurteilt.

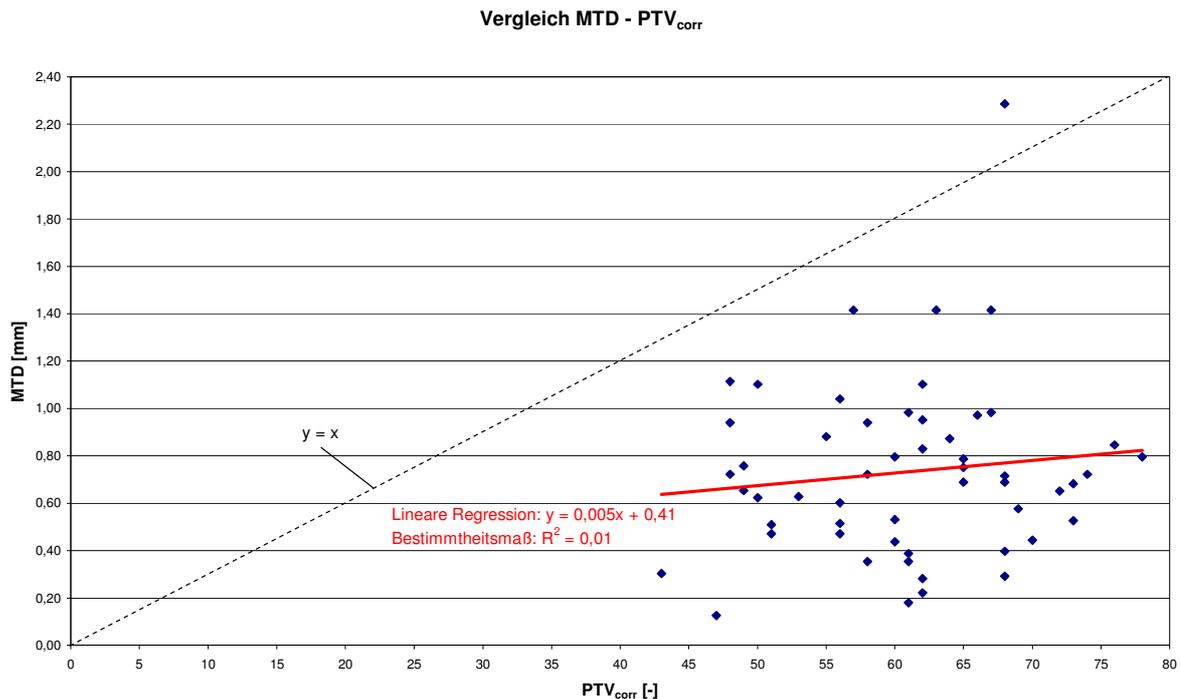


Abbildung 8-12: Vergleich der Texturwerte des Sandfleckverfahrens mit den Griffigkeitsmesswerten des SRT-Pendel auf 11 Messstrecken an 54 Messstellen.

Abschließend kann daher gesagt werden, dass die alleinige Kenntnis der Textur keinen Aufschluss über das Griffigkeitsniveau einer Fahrbahnoberfläche gibt.

8.5 International Friction Index (IFI)

Untersuchungen im Rahmen des PIARC-Ringversuchs ergaben, dass durch die Berücksichtigung der Textur der Fahrbahn, der Kalibrierkonstanten für die Griffigkeits- und Texturmessgeräte und der Art des Messreifens (glatt oder profiliert) die Vergleichbarkeit der Griffigkeitsmessmethoden verbessert wird [FUCHS, 1996].

In diesem Kapitel wird der IFI der Messmethoden GripTester, RoadSTAR und SRT-Pendel verglichen. Die Berechnung des IFI, welcher auf dem PIARC-Modell basiert, erfolgt nach Gleichung (5.11). Die errechneten IFI-Werte von GripTester und RoadSTAR sind 50 m-Mittelwerte und die errechneten IFI-Werte der Pendelversuche stellen Einzelwerte der jeweiligen Messstelle dar. Für die nachfolgenden Gegenüberstellungen werden die IFI-Werte des GripTester aus den Texturmesswerten des RoadSTAR (MPD) und den gemessenen Reibungsbeiwerten des GripTester (μ_{GT})

berechnet. Die IFI-Werte des RoadSTAR werden aus den Griffigkeits- und Texturmesswerten (μ_{RS} , MPD) dieses Messgerätes ermittelt. Die IFI-Werte für das SRT-Pendelgerät werden nur aus den Werten PTV_{corr} des Pendelversuchs berechnet.

8.5.1 Vergleich IFI GripTester (60 km/h) – RoadSTAR

In der Abbildung 8-13 ist die lineare Regression des IFI aus den Reibungsbeiwerten des GripTester (60 km/h) und des RoadSTAR dargestellt.

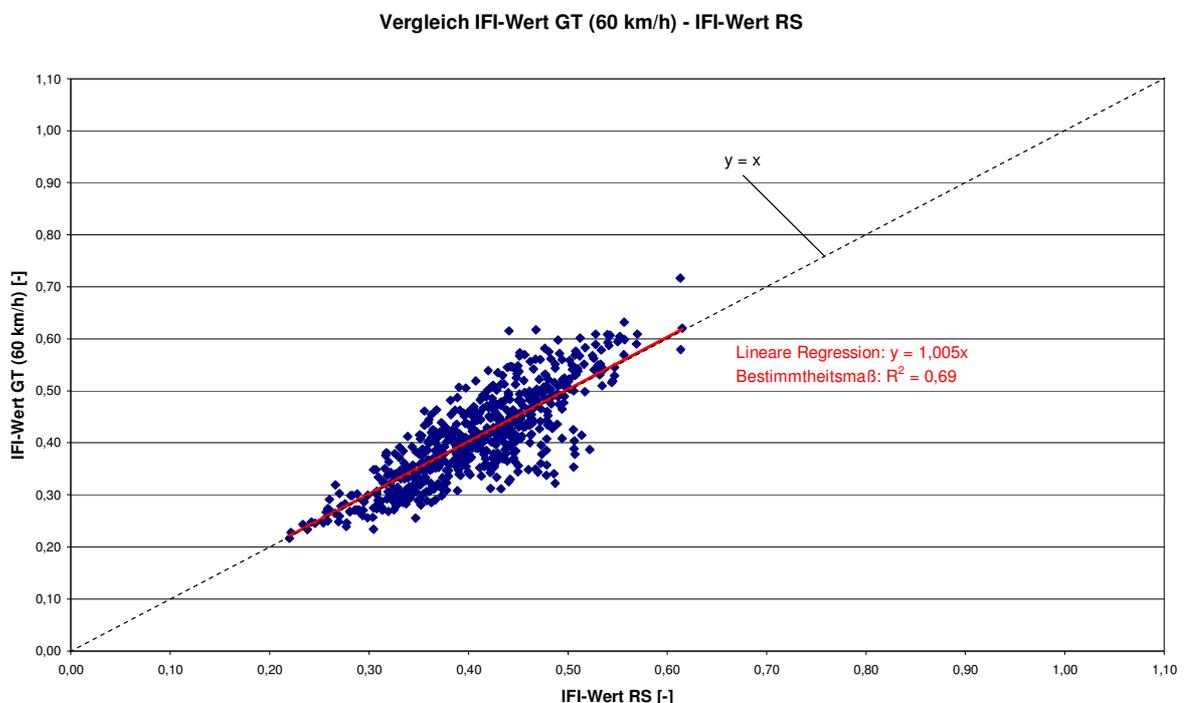


Abbildung 8-13: Vergleich des International Friction Index von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR auf 17 Messstrecken.

Im Gegensatz zum Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,41$ mittels Reibungsbeiwerte (siehe Abbildung 8-2), zeigt das Bestimmtheitsmaß mittels IFI-Werte $R^2 = 0,69$ eine deutliche Verbesserung der Korrelation zwischen den beiden Griffigkeitsmessgeräten.

In der Tabelle 8-5 wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR über die gesamten Mess-

strecken dargestellt. Daraus sieht man, dass der Mittelwert der Differenzen der IFI-Werte $\Delta IFI (IFI_{RS} - IFI_{GT(60km/h)}) = -0,002 \pm 0,049$ im Vergleich mit dem Mittelwert der Differenzen der Reibungsbeiwerte $\Delta \mu (\mu_{RS} - \mu_{GT(60km/h)}) = 0,159 \pm 0,099$ (siehe Tabelle 8-1) deutlich geringer ist, sowie eine geringere Streuung aufweist.

Messstrecke	Mittelwert IFI_{RS} [-]	Mittelwert $IFI_{GT(60 km/h)}$ [-]	Mittelwert der Differenzen $\Delta IFI (IFI_{RS} - IFI_{GT(60 km/h)})$ [-]	Standardabweichung der Differenzen $s (IFI_{RS} - IFI_{GT(60 km/h)})$ [-]
L1476	0,41	0,38	0,034	0,032
L1471	0,40	0,41	-0,002	0,033
L1477	0,43	0,45	-0,022	0,023
L1479	0,47	0,55	-0,082	0,038
L1498	0,38	0,37	0,010	0,032
L1483	0,40	0,45	-0,049	0,040
L1484	0,51	0,54	-0,023	0,026
L1480	0,42	0,44	-0,015	0,032
L1423	0,42	0,39	0,032	0,022
L1422	0,32	0,34	-0,018	0,028
L570	0,37	0,36	0,005	0,044
L564	0,38	0,37	0,011	0,026
L1374	0,38	0,37	0,012	0,029
L1349	0,44	0,35	0,086	0,039
L1404a	0,47	0,48	-0,014	0,023
L1404b	0,36	0,32	0,039	0,029
L1403	0,36	0,38	-0,014	0,041
über die gesamten Messstrecken			-0,002	0,049

Tabelle 8-5: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR.

8.5.2 Vergleich IFI GripTester (40 km/h) – RoadSTAR

Beim Vergleich des IFI aus den Reibungsbeiwerten des GripTester bei 40 km/h und des RoadSTAR bei 60 km/h wurde mittels linearer Regression ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,68$ erreicht (Abbildung 8-14).

Im Gegensatz zum Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,27$ mittels Reibungsbeiwerte (siehe Abbildung 8-4) wurde ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Korrelation zwischen den beiden Griffigkeitsmessgeräten erreicht.

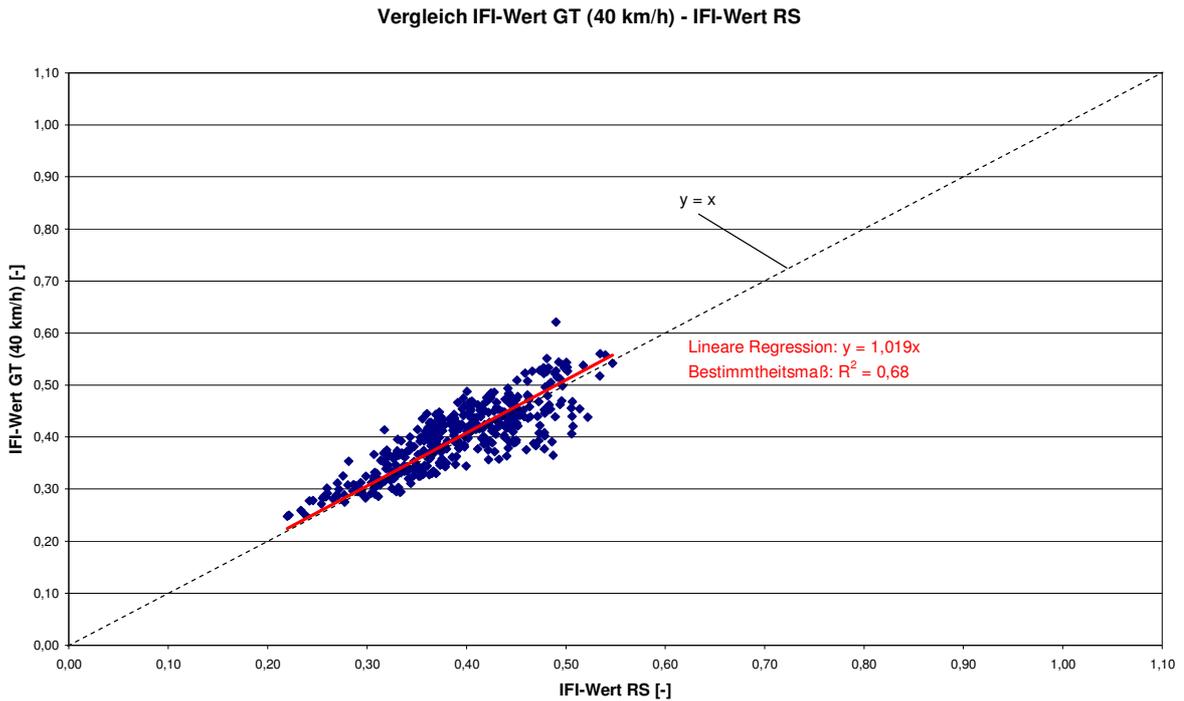


Abbildung 8-14: Vergleich des International Friction Index von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR auf zehn Messstrecken.

In der Tabelle 8-6 werden der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR über die gesamten Messstrecken dargestellt. Daraus sieht man, dass der Mittelwert der Differenzen der IFI-Werte $\Delta IFI (IFI_{RS} - IFI_{GT(40km/h)}) = -0,009 \pm 0,037$ im Vergleich mit dem Mittelwert der Differenzen der Reibungsbeiwerte $\Delta \mu (\mu_{RS} - \mu_{GT(60km/h)}) = 0,116 \pm 0,071$ (siehe Tabelle 8-2) deutlich geringer ist, sowie die Streuung verbessert wird.

Messstrecke	Mittelwert IFI_{RS} [-]	Mittelwert $IFI_{GT(40 km/h)}$ [-]	Mittelwert der Differenzen $\Delta IFI (IFI_{RS} - IFI_{GT(40 km/h)})$ [-]	Standardabweichung der Differenzen $s (IFI_{RS} - IFI_{GT(40 km/h)})$ [-]
L1471	0,40	0,42	-0,013	0,030
L1423	0,42	0,42	0,000	0,019
L1422	0,32	0,36	-0,036	0,017
L570	0,37	0,38	-0,014	0,041
L564	0,38	0,39	-0,014	0,025
L1374	0,38	0,40	-0,016	0,024
L1349	0,44	0,39	0,048	0,034
L1404a	0,47	0,51	-0,039	0,022
L1404b	0,36	0,35	0,009	0,021
L1403	0,36	0,38	-0,019	0,043
über die gesamten Messstrecken			-0,009	0,037

Tabelle 8-6: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR.

8.5.3 Vergleich IFI GripTester (60 km/h) – GripTester (40 km/h)

In der Abbildung 8-15 wird die lineare Regression der IFI-Werte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h gezeigt. Im Vergleich zum Bestimmtheitsmaß mittels Reibungsbeiwerte $R^2 = 0,80$ (siehe Abbildung 8-5) zeigt das Bestimmtheitsmaß mittels IFI-Werte $R^2 = 0,94$ eine deutliche Verbesserung der Korrelation.

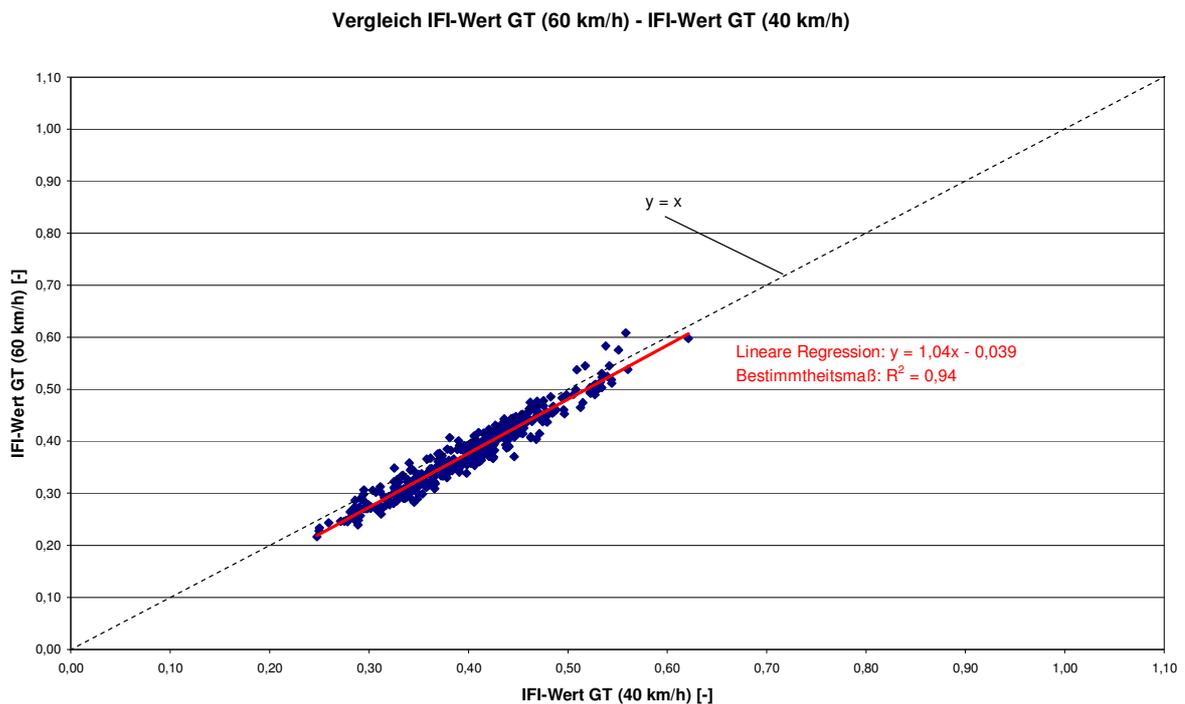


Abbildung 8-15: Vergleich des International Friction Index des GripTester bei 60 km/h und 40 km/h auf zehn Messstrecken.

In der Tabelle 8-7 wird der Mittelwert und die Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte des GripTester bei den verschiedenen Messgeschwindigkeiten über die gesamten Messstrecken dargestellt.

Daraus sieht man, dass der Mittelwert der Differenzen der IFI-Werte $\Delta IFI (IFI_{GT(40km/h)} - IFI_{GT(60km/h)}) = 0,023 \pm 0,018$ im Vergleich mit dem Mittelwert der Differenzen der Reibungsbeiwerte $\Delta \mu (\mu_{GT(40km/h)} - \mu_{GT(60km/h)}) = 0,074 \pm 0,041$ (siehe Tabelle 8-3) deutlich geringer ist, sowie eine geringere Streuung aufweist.

Messstrecke	Mittelwert IFI _{GT(40 km/h)} [-]	Mittelwert IFI _{GT(60 km/h)} [-]	Mittelwert der Differenzen ΔIFI (IFI _{GT(40 km/h)} - IFI _{GT(60 km/h)}) [-]	Standardabweichung der Differenzen s (IFI _{GT(40 km/h)} - IFI _{GT(60 km/h)}) [-]
L1471	0,42	0,41	0,011	0,028
L1423	0,42	0,39	0,031	0,015
L1422	0,36	0,34	0,017	0,014
L570	0,38	0,36	0,019	0,014
L564	0,39	0,37	0,025	0,017
L1374	0,40	0,37	0,028	0,010
L1349	0,39	0,35	0,038	0,012
L1404a	0,51	0,48	0,024	0,010
L1404b	0,35	0,32	0,029	0,013
L1403	0,38	0,38	0,004	0,008
über die gesamten Messstrecken			0,023	0,018

Tabelle 8-7: Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h.

8.5.4 Vergleich IFI GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) – SRT-Pendel

Der IFI des GripTester bei 60 km/h wird auf elf Messstrecken an 53 Messtellen, und der IFI des GripTester bei 40 km/h wird auf vier Messstrecken an 19 Messtellen mit dem IFI des SRT-Pendels gegenübergestellt.

Vergleich IFI-Werte GT (60 km/h bzw. 40 km/h) - IFI Pendeltest

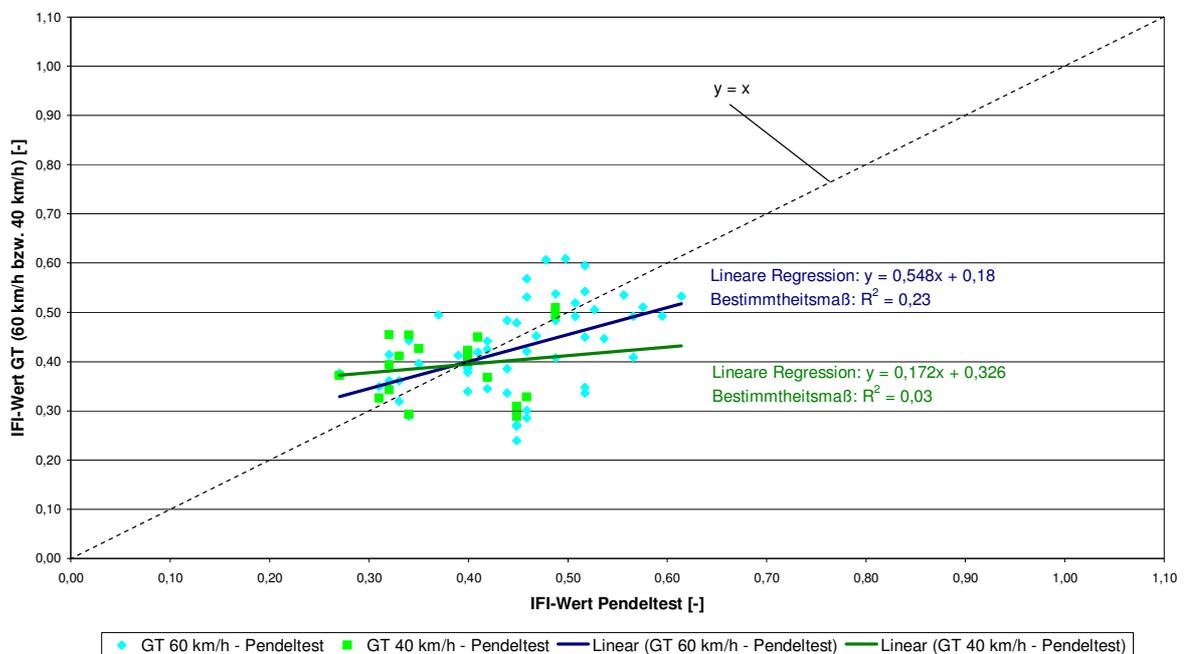


Abbildung 8-16: Vergleich des International Friction Index von GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) und SRT-Pendel.

Die in der Abbildung 8-16 dargestellte Regressionsanalyse zeigt die schlechte Korrelation der IFI-Werte von GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) und SRT-Pendel.

8.5.5 Vergleich IFI RoadSTAR – SRT-Pendel

Ebenfalls keine aussagekräftige Korrelationsbeziehung der IFI-Werte von RoadSTAR und SRT-Pendel ergibt sich nach Abbildung 8-17.

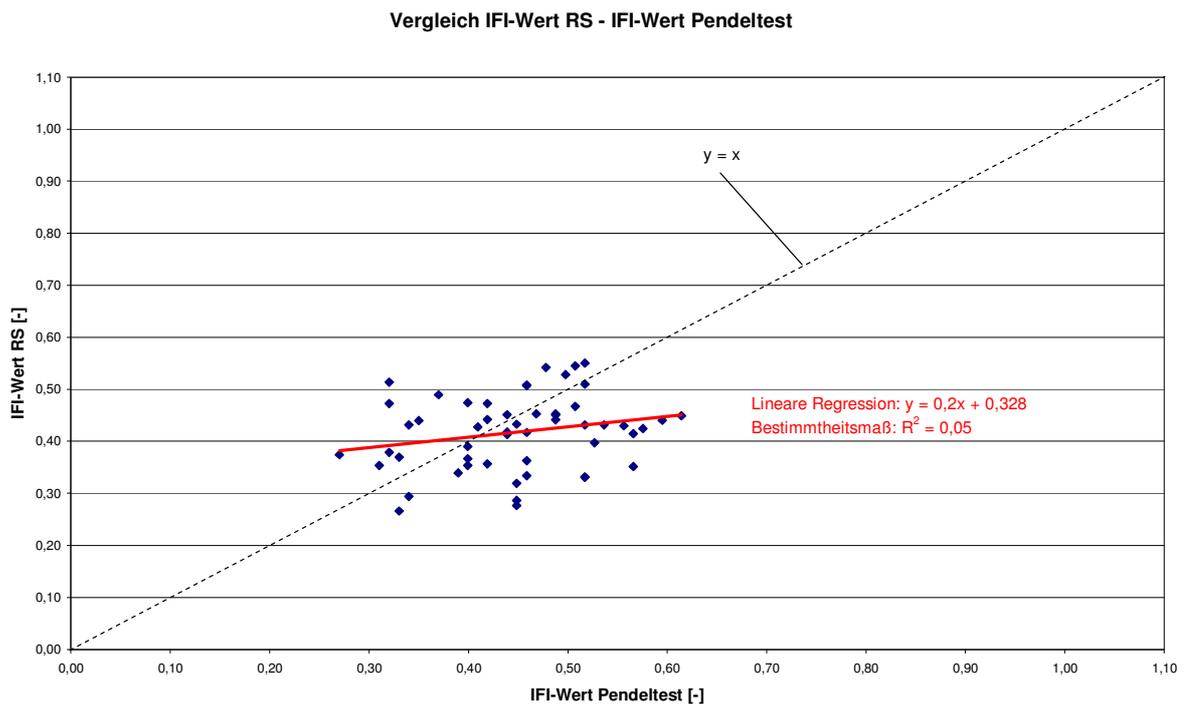


Abbildung 8-17: Vergleich des International Friction Index von RoadSTAR und SRT-Pendel auf elf Messstrecken an 53 Messstellen.

8.6 Bewertung der Untersuchungen

Aus den Untersuchungen, die im Rahmen der gegenständlichen Arbeit durchgeführt wurden, konnten zusammenfassend folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Anhand der Griffigkeitsmesswerte von GripTester, RoadSTAR und SRT-Pendel war keine gute Korrelation zwischen diesen drei Messmethoden möglich.

- Bei der Gegenüberstellung der Reibungsbeiwerte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 40 km/h und 60 km/h war ein guter linearer Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,80$ erkennbar. Das Niveau des Reibungsbeiwertes über elf Messstrecken war bei der Messgeschwindigkeit von 60 km/h um $\Delta\mu \approx 0,07$ niedriger als bei 40 km/h.
- Die Auswertung der Texturmessdaten zeigte, dass die Texturwerte des RoadSTAR ohne Umrechnung nach EN ISO 13473-1 [ONI, 2004] besser mit den Texturwerten aus dem Sandfleckverfahren übereinstimmten. Die Umrechnung der MPD-Werte in die ETD-Werte zur Korrelation des zweidimensionalen Texturmessverfahrens des RoadSTAR mit dem dreidimensionalen Sandfleckverfahren ist daher in Frage zu stellen.
- Die alleinige Kenntnis der Textur gab keinen Aufschluss über das Griffigniveau einer Fahrbahnoberfläche.
- Die Korrelation der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR konnte mit der Berechnung des IFI deutlich verbessert werden.
- Der IFI des stationären SRT-Pendels ließ sich nur schlecht mit dem IFI der dynamischen Messgeräte GripTester und RoadSTAR korrelieren.
- Leider ist der IFI für den GripTester in der praktischen Anwendung nicht ermittelbar, da die Textur mit dem GripTester nicht gemessen wird. Der RoadSTAR hat gegenüber dem GripTester den Vorteil, dass sowohl Griffigniveau und Textur neben anderen Messgrößen (siehe Kapitel 5.3.1.2) ermittelt werden.

Die Ergebnisse der hier behandelten Messungen auf dem oberösterreichischen Landesstraßennetz sind Teil einer österreichweiten Messkampagne. Damit liegt für weitere Auswertungen eine wesentlich größere Datenmenge vor, wodurch die vorhergehenden Aussagen über Zusammenhänge zwischen den einzelnen Messgrößen möglicherweise auch noch relativiert werden müssen.

9 Zusammenfassung

Einleitend wurden die Grundlagen der Griffigkeit und Textur von Fahrbahnoberflächen beschrieben, sowie der Reibungsmechanismus zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche ausführlich dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die Griffigkeit ein sehr komplexes Phänomen ist und von vielen Einflüssen abhängt. Die Einflussfaktoren wurden in die vier Gruppen Reifen, Fahrbahn, Fahrzeug und Zwischenmedium eingeteilt und detailliert diskutiert.

Anschließend wurden die in Europa zur Griffigkeits- und Texturmessung verwendeten Messmethoden beschrieben. Getrennt nach stationären und dynamischen Messmethoden wurden die unterschiedlichen Messprinzipien erklärt, wobei die in den österreichischen Normen verankerten Messmethoden und der GripTester besonders ausführlich behandelt wurden.

Die international angewendeten Messmethoden sind von Land zu Land unterschiedlich und weichen sehr stark voneinander ab, daher wurden auf einer gemeinsamen Skala, dem International Friction Index (IFI), die Griffigkeits- und Texturmethode im Rahmen des PIARC-Ringversuchs verglichen und aufeinander abgestimmt. Mit dem IFI werden die Textur der Fahrbahn, die Kalibrierkonstanten für die verwendeten Textur- und Griffigkeitsmessmethoden, die Schlupfgeschwindigkeit und die Art des Messreifens (glatt oder profiliert) bei der Bestimmung der Griffigkeit berücksichtigt.

In weiterer Folge wurden die Anforderungen an die Griffigkeit und Textur in Österreich gemäß den derzeit gültigen Regelwerken zusammengefasst. Dabei wurden die Regelungen und Grenzwerte bei der Übernahme, am Ende der Gewährleistungsfrist und für die bauliche Straßenerhaltung beschrieben. Zu beachten ist dabei, dass bei Asphalt- und Betondeckschichten teilweise unterschiedliche Regelungen gelten. Ebenfalls angeführt wurden die Griffigkeitsanforderungen an das verwendete Gestein und an Bodenmarkierungen.

Im Zuge dieser Arbeit wurde in Kooperation mit arsenal research auch ein umfangreiches Messprogramm auf 18 Messstrecken des oberösterreichischen Landes-

straßennetzes durchgeführt. Dabei wurden Griffigkeitsmesswerte mit den Messgeräten GripTester, RoadSTAR und SRT-Pendel, sowie Texturmesswerte mit dem RoadSTAR und dem Sandfleckverfahren ermittelt.

Bei der Auswertung der Griffigkeitsmessdaten wurde einerseits mit den gemessenen Griffigkeitswerten und andererseits mit den errechneten IFI-Werten versucht, eine Korrelation der Messmethoden zu erarbeiten.

Dabei konnte festgestellt werden, dass über die Griffigkeitsmesswerte von GripTester, RoadSTAR und SRT-Pendel alleine keine gute Korrelation zwischen diesen drei Messmethoden möglich war. Bei der Gegenüberstellung der Reibungsbeiwerte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 40 km/h und 60 km/h war ein guter linearer Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,80$ erkennbar (siehe Tabelle 9-1). Das Niveau des Reibungsbeiwertes im Mittel war bei der Messgeschwindigkeit von 60 km/h um $\Delta\mu \approx 0,07$ niedriger als bei 40 km/h.

Die Korrelation der Reibungsbeiwerte von GripTester und RoadSTAR konnte mit der Berechnung des IFI deutlich verbessert werden. Beim Vergleich des stationären SRT-Pendels mit den dynamischen Messgeräten GripTester und RoadSTAR mittels IFI verschlechterte sich aber die Korrelation (siehe Tabelle 9-1). Leider ist der IFI für den GripTester in der praktischen Anwendung nicht ermittelbar, da die Textur mit dem GripTester nicht gemessen wird. Der RoadSTAR hat gegenüber dem GripTester den Vorteil, dass sowohl Griffigkeit und Textur neben anderen Messgrößen (siehe Kapitel 5.3.1.2) ermittelt werden.

Die mittlere Texturtiefe aus dem Sandfleckverfahren (MTD) konnte einerseits mit der mittleren Profiltiefe des RoadSTAR (MPD) und andererseits mit der daraus umgerechneten geschätzten Texturtiefe (ETD) verglichen werden. Die Auswertungen der Texturmessdaten dieser Arbeit zeigten, dass die Texturwerte des RoadSTAR ohne Umrechnung nach EN ISO 13473-1 [ONI, 2004] besser mit den Texturwerten aus dem Sandfleckverfahren übereinstimmten (siehe Tabelle 9-1). Die Umrechnung der MPD-Werte in die ETD-Werte zur Korrelation des zweidimensionalen Texturmessverfahrens des RoadSTAR mit dem dreidimensionalen Sandfleckverfahren ist daher in Frage zu stellen.

Die Textur einer Fahrbahnoberfläche beeinflusst neben anderen beschriebenen Faktoren die Griffigkeit. Daher wurde auch versucht, Zusammenhänge zwischen den Griffigkeits- und Texturmesswerten herzustellen. Die Messergebnisse zeigten aber, dass die alleinige Kenntnis der Textur keinen Aufschluss über das Griffigkeitsniveau einer Fahrbahnoberfläche gibt (siehe Tabelle 9-1).

Korrelation von		Bestimmtheitsmaß R^2	Mittelwert der Differenzen ΔMW	Standardabweichung der Differenzen s
Griffigkeit	$\mu_{RS} - \mu_{GT(60 \text{ km/h})}^{1)}$	0,41	0,159	0,099
	$\mu_{RS} - \mu_{GT(40 \text{ km/h})}^{2)}$	0,27	0,116	0,071
	$\mu_{GT(40 \text{ km/h})} - \mu_{GT(60 \text{ km/h})}^{3)}$	0,80	0,074	0,041
	$\mu_{GT(60 \text{ km/h})} - PTV_{corr}^{4)}$	0,48	–	–
	$\mu_{GT(40 \text{ km/h})} - PTV_{corr}^{5)}$	0,26	–	–
	$\mu_{RS} - PTV_{corr}^{4)}$	0,26	–	–
Textur	$MPD - MTD^{6)}$	0,70	0,055	0,200
	$ETD - MTD^{6)}$	0,70	0,097	0,219
Griffigkeit u. Textur	$\mu_{GT(60 \text{ km/h})} - MPD^{1)}$	0,03	–	–
	$\mu_{GT(40 \text{ km/h})} - MPD^{2)}$	0,03	–	–
	$\mu_{RS} - MPD^{1)}$	0,002	–	–
	$PTV_{corr} - MTD^{4)}$	0,01	–	–
IFI	$\mu_{RS} - \mu_{GT(60 \text{ km/h})}^{1)}$	0,69	0,002	0,049
	$\mu_{RS} - \mu_{GT(40 \text{ km/h})}^{2)}$	0,68	0,009	0,037
	$\mu_{GT(40 \text{ km/h})} - \mu_{GT(60 \text{ km/h})}^{2)}$	0,94	0,023	0,018
	$\mu_{GT(60 \text{ km/h})} - PTV_{corr}^{6)}$	0,23	–	–
	$\mu_{GT(40 \text{ km/h})} - PTV_{corr}^{5)}$	0,03	–	–
	$\mu_{RS} - PTV_{corr}^{6)}$	0,05	–	–

- ¹⁾..... Messdaten von 17 Messstrecken
- ²⁾..... Messdaten von 10 Messstrecken
- ³⁾..... Messdaten von 11 Messstrecken
- ⁴⁾..... Messdaten von 11 Messstrecken an 54 Messstellen
- ⁵⁾..... Messdaten von 4 Messstrecken an 19 Messstellen
- ⁶⁾..... Messdaten von 11 Messstrecken an 53 Messstellen

Tabelle 9-1: Zusammenfassende Ergebnisse der Korrelationsuntersuchungen.

Die Ergebnisse der durchgeführten Messmethoden sind Teil einer österreichweiten Messkampagne und aufgrund größerer Datenmengen müssen die vorhergehenden Aussagen möglicherweise noch relativiert werden.

Literaturverzeichnis

ALLBERT B.J.: Reifen und Hydroplaning, Internationales Colloquium über Straßen-griffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn; Berlin/München/Düsseldorf 1970.

ASFT INDUSTRIES AB: Homepage: www.asft.se, 13.02.2007.

ASTM - American Society for Testing and Materials: ASTM D 1155-89: Standard test method for roundness of glass spheres, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 06.02; USA 1991.

BACHMANN Th.: Wechselwirkung im Reibungsprozess zwischen Reifen und Fahr-bahn, Reifen – Fahrwerk – Fahrbahn, VDI Berichte 1494, VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik; Düsseldorf 1999.

BERNDT W.: Können die Anforderungen an die Griffigkeit von Asphaltstraßen bei Neubau und Instandsetzung gewährleistet werden?, Straße und Autobahn, Heft 3; Bonn 1995.

BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie: Griffig-keitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton, Fassung Dezember 2004; Wien 2004.

BREYER G.: Der Polierversuch, Teil 1: Untersuchung des Laborversuches, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 223/Teil 1, Bundesministerium für Bauten und Technik; Wien 1983.

BREYER G.: Untersuchungen des Laborversuches zur Bestimmung der Polierbarkeit von Straßenbaugesteinen, Dissertation am Institut für Straßenbau und Verkehrs-wesen der TU Wien; Wien 1980.

BÜHLMANN F.: Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen – Ein Beitrag zur Verkehrssicherheit auf überdachten Strecken, Dissertation an der ETH Zürich; Zürich 1984.

CLAGUE S., E. BARAN: Skid Resistance – District Implications and Applications, Road System and Engineering Technology Forum; Australien 2005.

DAMES J., P. SULTEN: Einfluss der Oberflächenausführung von Betondecken auf die Griffigkeit, Straße und Autobahn, Heft 1; Bonn 1981.

DAMES J.: Wasserfilmdicke und Reibungsbeiwerte, Straßenbautagung Berlin 1970, Kirschbaum Verlag; Bonn - Bad Godesberg 1971.

DOUGLAS EQUIPMENT Ltd.: Homepage: www.douglas-tugmaster.co.uk, 13.02.2007.

FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln:

Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem SRM, Ausgabe 2004; 2004a.

Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe; 2003.

Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten, Ausgabe 2004; 2004b.

Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SCRIM, Ausgabe 2001; 2001.

Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SRT, Ausgabe 2004; 2004c.

FLEISCHER W.: Können die Anforderungen an die Griffigkeit bei Neubau und Instandsetzung von Fahrbahndecken aus Beton gewährleistet werden?, Autobahn und Straße, Heft 3; Bonn 1995.

FLUGHAFEN WIEN AG: Homepage: www.viennaairport.com, 10.12.2006.

FSV – Österreichische Forschungsgesellschaft Straßen - Schiene - Verkehr: Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen, Wien:

RVS 03.08.63 (Ausgabe Mai 2005): Oberbaubemessung; 2005.

RVS 05.03.12 (Ausgabe 1.März 2007): Auswahl von Bodenmarkierungen; 2007e.

RVS 08.16.01 (Ausgabe 1. Jänner 2007): Anforderungen an Asphalt-schichten; 2007a.

RVS 08.17.02 (Ausgabe 1. März 2007): Betondecken - Deckenherstellung; 2007b.

RVS 08.97.05 (Ausgabe 1. Jänner 2007): Anforderungen an das Asphaltmischgut; 2007c.

RVS 11.03.21 (Ausgabe 1. Feber 2004): Asphalt-schichten, Prüfung und Abrechnung, Abrechnungsbeispiele; 2007d.

- RVS 11.06.65 (Ausgabe November 2002): Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (System RoadSTAR); 2002.
- RVS 11.06.66 (Ausgabe November 2004): Lasertexturmessungen mit dem System RoadSTAR; 2004.
- RVS 13.01.15 (Ausgabe März 2006): Beurteilungskriterien für die messtechnische Zustanderfassung mit dem System RoadSTAR; 2006.
- FUCHS M.:** Griffigkeitsmessung in Österreich, Tagungsband zum Kolloquium Fahr-
bahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU
Wien, Heft 13; Wien 2002.
- FUCHS M.:** Internationaler PIARC-Ringversuch Straßengriffigkeit, Bundesministe-
rium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 456;
Wien 1996.
- GEYER W.:** Der Einfluss geometrischer Reibflächen-Rauhigkeitsformen auf das
trockene und nasse Reibverhalten von Gummi, Teil 1: Theoretische Betrachtungen
und Versuchsaufbau, Automobil-Industrie, Heft 2; Würzburg 1972.
- GGM – Gütegemeinschaft Griffigkeitsmessungen e.V.:** Homepage:
www.ggm-ev.de, 18.12.2006.
- HUSCHEK S. und D. P. MERZOUG:** Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffig-
keit, Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 735; Bonn 1996a.
- HUSCHEK S.:** Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Straße und Autobahn,
Heft 3; Bonn 1995.
- HUSCHEK S.:** Kennzeichnung der Oberflächenrauheit und deren Einfluss auf die
Griffigkeit und die Reifengeräusche, Straße und Autobahn, Heft 6; Bonn 1996b.
- ISO – International Organisation for Standardization:** ISO 565 (1990/07/15): Test
sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet – Nominal
sizes of openings; Genf 1990.
- JANISCH G.:** Untersuchungen zur Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Mess-
ergebnisse des GripTesters, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßener-
haltung der TU Wien; Wien 2002.
- KALENDER U.:** Wechselwirkung Reifen/Fahrbahnoberfläche auf den Kraftschluss
bei Nässe und hohen Fahrgeschwindigkeiten bei Verwendung neuester Reifentypen,
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 498; Bonn 1987.

KREYSZIG E.: Statistische Methoden und ihre Anwendungen, Zweiter unveränderter Nachdruck der 7. Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht Verlag; Göttingen 1985.

KUMMER H. W. und W. E. MEYER: Verbesserter Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn – Ergebnisse einer neuen Reibungstheorie, Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) 69/8; Stuttgart 1967.

KUMMER H. W. und W. E. MEYER: Versuch der Festlegung von Anforderungen an die Griffigkeit von Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Ortschaften, Internationales Colloquium über die Straßengriffigkeit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn; Berlin/München/Düsseldorf 1970.

KUMMER H. W.: Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn – Theorie und Praxis, Internationales Colloquium über die Straßengriffigkeit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn; Berlin/München/Düsseldorf 1970.

LCPC – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées: Homepage: www.lcpc.fr, 22.02.2007.

LISt – Gesellschaft für Verkehrswesen und ingenieurtechnische Dienstleistungen mbH: Homepage: www.list-sachsen.de, 16.12.2006.

LITZKA J. und E. FRIEDL: Untersuchungen über den maßgebenden Reibungsbeiwert, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 376; Wien 1988.

MAURER P., M. MEISSNER, M. FUCHS, J. GRUBER und P. FOISSNER: Straßenzustandserfassung mit dem RoadSTAR – Messsystem und Genauigkeit, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal GmbH (ÖFPZ Arsenal); Wien 2002.

MAYER G., S. VAN DER SLUIS und B. STEINAUER: Griffigkeit von Straßenoberflächen, Teil 2: Signifikante Griffigkeitswerte aus der Verkehrssicherheitssicht, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841; Bonn 2002.

NORSE METER FRICTION AS: Homepage: www.norsemeter.no, 13.12.2006.

ARSENAL RESEARCH – Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.b.H.: Straßenzustandserfassung RoadSTAR; www.arsenal.ac.at, 06.12.2006.

ONI – Österreichisches Normungsinstitut, Wien:

ÖNORM EN 1097-8 (Ausgabe 2000/05/01): Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Verfahren zur Bestimmung des Polierwertes; 2000.

ÖNORM EN 13036-1 (Ausgabe 2001/08/01): Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 1: Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens; 2001.

ÖNORM EN 13036-3 (Ausgabe 2003/04/01): Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 3: Messung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten; 2003a.

ÖNORM EN 13036-4 (Ausgabe 2003/12/01): Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest; 2003b.

ÖNORM EN 1436 (Ausgabe 2003/10/01): Straßenmarkierungsmaterialien, Anforderungen an Markierungen auf Straßen; 2003c.

ÖNORM EN 196-2 (Ausgabe 2005/04/01): Prüfverfahren für Zement – Teil 2: Chemische Analyse von Zement; 2005.

ÖNORM EN ISO 13473-1 (Ausgabe 2004/07/01): Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe (ISO 13473-1:1997); 2004.

PATRIA VAMMAS AEC : Produktbeschreibung Skiddometer BV 11; www.patria.fi, 10.12.2006.

PFEILER A.: Der GripTester – Ein Kleingerät zur dynamischen Griffigkeitsmessung, Tagungsband zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, Heft 13; Wien 2002.

PFEILER A.: Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstraßen, Der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnungen auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten, Dissertation am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien; Wien 2004.

PILLES J.: Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung der Straßengriffigkeit mit dem GripTester, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien; Wien 2002.

POTSCHKA V.: Die Straßengriffigkeit zwischen Verkehrssicherheit und Machbarkeit, Straße und Autobahn, Heft 5; Bonn 2001.

REIMPELL J.: Fahrwerktechnik 1: Kräfte an Gesamtfahrzeug und Reifen, Kinematik und Statik der Radaufhängungen, Konstruktionshinweise, 2. überarbeitete Auflage, Vogel Verlag; Würzburg 1971.

SARSYS AB - Scandinavian Airport and Road Systems AB: Homepage: www.sarsys.se, 19.02.2007.

SCHULZE K. H.: Griffigkeit und Rauheit, Handbuch des Straßenbaues, Band 1: Grundlagen und Entwurf, Springer-Verlag; Berlin-Heidelberg-New York 1979.

SCHULZE K.: Festlegung eines Prüfverfahrens zur Verschleißnachahmung anhand von Verschleißmessungen auf 43 Versuchsfeldern der BAB Salzburg-München, Straße und Autobahn, Heft 3; Bonn 1973.

STEIGENBERGER J.: Neueste Entwicklung im Betonstraßenbau, Aktuelle Trends im Straßenbau, Tagungsband; Spittal a. d. Drau 2003.

TIEFENBACHER H.: Die Griffigkeit des Österreichischen Bundesstraßennetzes und ihre Bewertung, Tagungsband Vorträge zu Straßenbau und Straßenerhaltung; Spittal a. d. Drau 1999.

TIEFENBACHER H.: Griffigkeitsanforderungen aus der Sicht der Österreichischen Bundesstraßenstraßenverwaltung, Tagungsband zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, Heft 13; Wien 2002.

VAN DER SLUIS S., C. PLATEN, B. STEINAUER: Griffigkeit von Straßenoberflächen, Teil 1: Abnahmewert für die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841; Bonn 2002.

VECTRA au Service de la Route: Homepage: www.vectra.fr, 24.02.2007.

VTI – Statens väg-och transportforskningsinstiut: Homepage: www.vti.se, 24.02.2007.

WDM Limited: Homepage: www.wdm.co.uk, 16.12.2006.

WEHNER B.: Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe – Forschungsergebnisse und Folgerungen, Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn; Berlin/München/Düsseldorf 1970.

WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org/wiki/Antiblockiersystem>, 06.04.2007a.

WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org/wiki/Antriebsschlupfregelung>, 06.04.2007b.

WIKIPEDIA: [http://de.wikipedia.org/wiki/Bestimmtheitsmaß](http://de.wikipedia.org/wiki/Bestimmtheitsma%C3%9F), 17.05.2007d.

WIKIPEDIA: [http://de.wikipedia.org/wiki/Griffigkeitsmessgerät](http://de.wikipedia.org/wiki/Griffigkeitsmessger%C3%A4t), 18.12.2006.

WIKIPEDIA: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lasertriangulation>, 28.02.2007c.

WINDHOFF VAMMAS – Airport Equipment GmbH: Homepage:
www.windhoff-vammas.de, 10.12.2006.

ZIEGER M.: Polierversuch, Teil III, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 385, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten; Wien 1990.

ZIPKES E.: Griffigkeit – Bremsspur – Kraftübertragung, ISETH Mitteilungen, Heft 56; Zürich 1984.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Definition des Reibungsbeiwertes μ	- 4 -
Abbildung 2-2: Auswirkungen der Textur (Rauheit) einer Fahrbahnoberfläche [FLEISCHER, 1995].	- 5 -
Abbildung 3-1: Die beiden Hauptkomponenten der Gummireibung: Adhäsion und Hysterese [KUMMER et al., 1970].	- 7 -
Abbildung 3-2: Typische Adhäsionskoeffizienten für den gleitenden Reifengummi auf makroskopisch glatten Oberflächen [KUMMER et al., 1970].	- 10 -
Abbildung 3-3: Der Reibungsmechanismus der Hysterese (Prinzipdarstellung) [SCHULZE, 1979].	- 11 -
Abbildung 3-4: Hysteresekoeffizienten für verschiedene Reifengummiarten (NR = Naturgummi; SBR = Styrol-Butadien-Gummi; BR = Butyl) [KUMMER et al., 1970].	- 13 -
Abbildung 4-1: Einflussfaktoren auf den Reibungsbeiwert μ [PFEILER, 2004]. .	- 16 -
Abbildung 4-2: Wellenspektrum der Fahrbahnoberfläche und Auswirkungen auf die Gebrauchseigenschaften [HUSCHEK, 1996b].	- 18 -
Abbildung 4-3: Reibungsbeiwert-Geschwindigkeits-Kurven in Abhängigkeit der Mikro- und Makrotextur, dargestellt mit Randtypen von Modelloberflächen bei Nässe [SCHULZE, 1979].	- 20 -
Abbildung 4-4: Auswirkungen der Oberflächentextur auf den Reibungsbeiwert bei trockener und nasser Fahrbahn [ZIPKES, 1984].	- 21 -
Abbildung 4-5: Bautechnische Einflüsse auf die Textur (Rauheit) [POTSCHKA, 2001].	- 22 -
Abbildung 4-6: Oberflächennahe Zonen einer Betonfahrbahndecke [DAMES et al., 1981].	- 25 -
Abbildung 4-7: Jahreszeitliche Griffigkeitsschwankungen [HUSCHEK, 1995]. ..	- 27 -
Abbildung 4-8: Zeitliche Entwicklung der Griffigkeit [HUSCHEK, 1995].	- 29 -
Abbildung 4-9: Geschwindigkeit am gebremsten Rad [MAYER et al., 2002].	- 29 -
Abbildung 4-10: Geometrische und kinematische Größen am rollenden Rad [MAYER et al., 2002].	- 30 -
Abbildung 4-11: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf bei unterschiedlichen Zwischenmedien und Oberflächen [REIMPELL, 1971].	- 32 -
Abbildung 4-12: Variationsbreite und Häufigkeitsverteilung der Gleitreibungsbeiwerte auf trockener, nasser und winterglatter Fahrbahn am blockierten Messrad [DAMES, 1971].	- 34 -
Abbildung 4-13: 3-Zonen-Modell in der Reifenaufstandsfläche auf nasser Fahrbahn [KALENDER, 1987].	- 35 -

Abbildung 5-1: SRT-Pendelgerät mit Prüfausrüstung (Foto: Achleitner).....	- 39 -
Abbildung 5-2: Ausflussmessgerät nach Moore [ONI, 2003a].....	- 42 -
Abbildung 5-3: Tragring des Ausflussmessgerätes [ONI, 2003a].....	- 42 -
Abbildung 5-4: Ausgebreiteter Sandfleck (Foto: Achleitner).....	- 44 -
Abbildung 5-5: Prüfgeräte und Hilfsmittel für das Sandfleckverfahren (Foto: Achleitner).....	- 45 -
Abbildung 5-6: Probenbehälter inklusive Verteilerwerkzeug von oben (Foto: Achleitner).....	- 46 -
Abbildung 5-7: Unterseite des Probenbehälters und Verteilerwerkzeugs (Foto: Achleitner).....	- 46 -
Abbildung 5-8: GripTester GT 135 des Institutes für Straßenbau und Straßen- erhaltung (Foto: Achleitner).....	- 51 -
Abbildung 5-9: Komponenten des Messsystems GripTester im Schubbetrieb [JANISCH, 2002].....	- 53 -
Abbildung 5-10: Komponenten des Messsystems GripTester im Schleppbetrieb [JANISCH, 2002].....	- 54 -
Abbildung 5-11: GripTester im Schleppbetrieb (Foto: Achleitner).....	- 54 -
Abbildung 5-12: GripTester – Ansicht von unten (Foto: ISTU-Archiv).....	- 56 -
Abbildung 5-13: Bedienteil des Bewässerungssystems GT-BW-01 [JANISCH, 2002].....	- 58 -
Abbildung 5-14: Ladefläche des Kleintransporters inklusive Wassertank und GripTester beim Transport (Foto: ISTU-Archiv).....	- 59 -
Abbildung 5-15: Transport mittels Spanngurt zum Anheben des Messrades (Foto: ISTU-Archiv).....	- 60 -
Abbildung 5-16: Messfahrzeug RoadSTAR I im Messeinsatz [ARSENAL, 2006].....	- 62 -
Abbildung 5-17: Bestandteile der Griffigkeitsmessung am Messfahrzeug RoadSTAR I [ARSENAL, 2006].....	- 64 -
Abbildung 5-18: Griffigkeitsmess- und Bewässerungseinrichtung am Messfahr- zeug RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].....	- 65 -
Abbildung 5-19: Minimale Kurvenradien in Abhängigkeit von der Messge- schwindigkeit [FSV, 2002].....	- 66 -
Abbildung 5-20: Griffigkeitsmesseinrichtung am Messfahrzeug RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].....	- 67 -
Abbildung 5-21: Systemskizze der Griffigkeitsmesseinrichtung am Messfahr- zeug RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].....	- 67 -
Abbildung 5-22: Ermittlung des Reibungsbeiwertes μ_{RS} mit dem Messfahrzeug RoadSTAR [MAURER et al., 2002].....	- 68 -
Abbildung 5-23: Das SRM-/SCRIM-Messsystem des BAST-Messfahrzeuges [HUSCHEK et al., 1996a].....	- 70 -

Abbildung 5-24: Bestimmung des Längskraftbeiwertes am blockiert gebremsten Rad [FGSV, 2004a].	- 71 -
Abbildung 5-25: Erläuterung von Messabschnitt, Messlänge und Strecke zur Mittelwertbildung [FGSV, 2004a].	- 72 -
Abbildung 5-26: Skiddometer BV 11 mit tragbarem Computer MI 90 [WINDHOFF, 2006].	- 74 -
Abbildung 5-27: Systemskizze der Messeinheit ROAR auf einem Messanhänger bzw. LkW [NORSEMETEER, 2006].	- 76 -
Abbildung 5-28: Messeinheit ROAR auf einem Messanhänger [CLAGUE et al., 2005].	- 76 -
Abbildung 5-29: Messeinheit ROAR montiert auf einer Verstellchiene [CLAGUE et al., 2005].	- 77 -
Abbildung 5-30: Messfahrzeug SCRIM im Messeinsatz [LISt, 2006].	- 79 -
Abbildung 5-31: Die Messeinheit des Messfahrzeuges SCRIM [WIKIPEDIA, 2006].	- 79 -
Abbildung 5-32: Bestimmung des Seitenkraftbeiwertes μ_y [FGSV, 2001].	- 80 -
Abbildung 5-33: Mu-Meter Mk6 mit Bewässerungseinrichtung [DOUGLAS, 2007].	- 82 -
Abbildung 5-34: Mu-Meter Mk6 ohne Bewässerungseinheit [DOUGLAS, 2007].	- 83 -
Abbildung 5-35: ASFT MK IV Rear Axle System [ASFT, 2007].	- 84 -
Abbildung 5-36: ASFT Sharan Road Surface Friction Tester [ASFT, 2007].	- 85 -
Abbildung 5-37: ASFT T-10 Trailer Road Friction Tester [ASFT, 2007].	- 85 -
Abbildung 5-38: SARSYS Friction Tester (SFT) [SARSYS, 2007].	- 86 -
Abbildung 5-39: SARSYS Trailer Friction Tester (STFT) [SARSYS, 2007].	- 88 -
Abbildung 5-40: Messanhänger ADHERA 2 [VECTRA, 2007].	- 89 -
Abbildung 5-41: T2GO Portable Friction Tester [ASFT, 2007].	- 90 -
Abbildung 5-42: VTI Portable Friction Tester [VTI, 2007].	- 91 -
Abbildung 5-43: Prinzip eines Triangulationslasers [LCPC, 2007].	- 91 -
Abbildung 5-44: Messfahrzeug RoadSTAR I (1 – Lasertexturmesseinrichtung, 2 – digitale Messwerterfassung) [MAURER et al., 2002].	- 93 -
Abbildung 5-45: Lasertexturmesseinrichtung am RoadSTAR I [MAURER et al., 2002].	- 93 -
Abbildung 5-46: Definition der mittleren Profiltiefe MPD [ONI, 2004].	- 94 -
Abbildung 5-47: RUGO - Lasertexturmessgerät [VECTRA, 2007].	- 96 -
Abbildung 5-48: RST (Road Surface Tester) Forschungsfahrzeug [VTI, 2007].	- 96 -
Abbildung 5-49: Texture Meter 2 (TM2) [WDM, 2006].	- 97 -
Abbildung 6-1: Österreichischer Bewertungshintergrund 1996 für die Griffigkeit [FUCHS, 2002].	- 101 -

Abbildung 7-1: Durchführung der Makrotexturmessung mittels Sandleckverfahren und der Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendel (Foto: Achleitner).....	- 114 -
Abbildung 7-2: Absperrung eines Fahrstreifen mit Leitkegeln (Foto: Achleitner).....	- 115 -
Abbildung 7-3: Messstrecken im Bezirk Freistadt.....	- 116 -
Abbildung 7-4: Messstrecken im Bezirk Perg.....	- 117 -
Abbildung 7-5: Messstrecken im Bezirk Linz Land.....	- 117 -
Abbildung 8-1: Schematische Darstellung der linearen Regression [KREYSZIG, 1985].....	- 120 -
Abbildung 8-2: Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR auf 17 Messstrecken.....	- 122 -
Abbildung 8-3: Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR auf 15 Messstrecken (ohne L1479 und L1483).....	- 123 -
Abbildung 8-4: Vergleich der Reibungsbeiwerte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR auf zehn Messstrecken.....	- 125 -
Abbildung 8-5: Vergleich der Reibungsbeiwerte des GripTester bei 60 km/h und 40 km/h auf elf Messstrecken.....	- 126 -
Abbildung 8-6: Vergleich der Griffigkeitsmesswerte von GripTester (60 km/h bzw. 40 km/h) und SRT-Pendel.....	- 127 -
Abbildung 8-7: Vergleich der Griffigkeitsmesswerte von RoadSTAR und SRT-Pendel auf elf Messstrecken an 54 Messstellen.....	- 128 -
Abbildung 8-8: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR (MTD und ETD) mit dem Sandfleckverfahren auf elf Messstrecken an 53 Messstellen.....	- 129 -
Abbildung 8-9: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR mit den Reibungsbeiwerten des RoadSTAR auf 17 Messstrecken.....	- 131 -
Abbildung 8-10: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR mit den Reibungsbeiwerten des GripTester (60 km/h) auf 17 Messstrecken.....	- 132 -
Abbildung 8-11: Vergleich der Texturwerte des RoadSTAR mit den Reibungsbeiwerten des GripTester (40 km/h) auf 10 Messstrecken.....	- 133 -
Abbildung 8-12: Vergleich der Texturwerte des Sandfleckverfahrens mit den Griffigkeitsmesswerten des SRT-Pendel auf 11 Messstrecken an 54 Messstellen.....	- 134 -
Abbildung 8-13: Vergleich des International Friction Index von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR auf 17 Messstrecken.....	- 135 -
Abbildung 8-14: Vergleich des International Friction Index von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR auf zehn Messstrecken.....	- 137 -
Abbildung 8-15: Vergleich des International Friction Index des GripTester bei 60 km/h und 40 km/h auf zehn Messstrecken.....	- 138 -

Abbildung 8-16: Vergleich des International Friction Index von GripTester
(60 km/h bzw. 40 km/h) und SRT-Pendel..... - 139 -

Abbildung 8-17: Vergleich des International Friction Index von RoadSTAR und
SRT-Pendel auf elf Messstrecken an 53 Messstellen. - 140 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Korrektur des PTV bei einer von 20 °C abweichenden Temperatur [ONI, 2003b].	- 41 -
Tabelle 5-2:	Zusammenfassender Überblick der dynamischen Griffigkeitsmessgeräte.	- 51 -
Tabelle 5-3:	Zusammenfassender Überblick der dynamischen Texturmessgeräte:	- 92 -
Tabelle 5-4:	Kalibrierkonstanten nach PIARC [FUCHS, 1996].	- 99 -
Tabelle 6-1:	Griffigkeitsklassen gemäß dem Österreichischen Bewertungshintergrund [TIEFENBACHER, 1999].	- 101 -
Tabelle 6-2:	Zustandsklasseneinteilung der Griffigkeitsmessergebnisse (50 m-Werte) mit dem System RoadSTAR für Autobahnen und Schnellstraßen [FSV, 2006]	- 108 -
Tabelle 6-3:	Mindest-SRT-Wert für Bodenmarkierungen [ONI, 2003c].	- 108 -
Tabelle 6-4:	Anforderungen an den Polierwiderstand (PSV-Wert) des Gesteinsmaterials für Asphaltdeckschichten gemäß RVS 08.97.05 [FSV, 2007c].	- 110 -
Tabelle 6-5:	Anforderungen an den Polierwiderstand für Gesteinskörnungen von Oberbeton gemäß RVS 08.17.02 [FSV, 2007b].	- 110 -
Tabelle 6-6:	Anforderungen an die Oberflächentextur von Asphaltdeckschichten (alle Mischgutsorten) bei der Übernahme [FSV, 2007a].	- 111 -
Tabelle 6-7:	Anforderungen an die Oberflächentextur von Betondecken [FSV, 2007b].	- 111 -
Tabelle 6-8:	Zustandsklasseneinteilung der Texturmessergebnisse (50 m-Werte) mit dem System RoadSTAR für Autobahnen und Schnellstraßen [FSV, 2006].	- 112 -
Tabelle 7-1:	Übersicht der durchgeführten Messmethoden.	- 115 -
Tabelle 8-1:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der Reibungsbeiwerte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR.	- 122 -
Tabelle 8-2:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der Reibungsbeiwerte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR.	- 124 -
Tabelle 8-3:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der Reibungswerte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h.	- 125 -
Tabelle 8-4:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen von MPD und MTD und der Differenz von ETD und MTD.	- 130 -
Tabelle 8-5:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte von GripTester (60 km/h) und RoadSTAR.	- 136 -

Tabelle 8-6:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte von GripTester (40 km/h) und RoadSTAR.	- 137 -
Tabelle 8-7:	Mittelwert und Standardabweichung der Differenzen der IFI-Werte des GripTester bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 40 km/h.....	- 139 -
Tabelle 9-1:	Zusammenfassende Ergebnisse der Korrelationsuntersuchungen.....	- 144 -

Anhang

A Griffigkeitsmesswerte der einzelnen Messstrecken

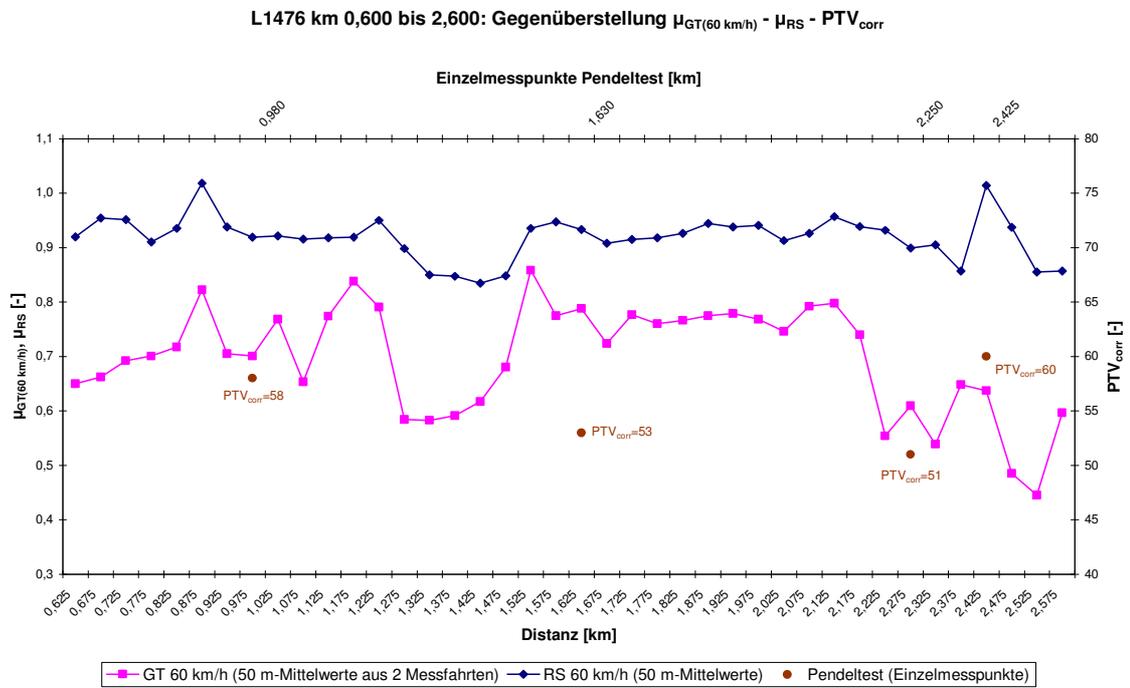


Abbildung A-1: Messstrecke L1476 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

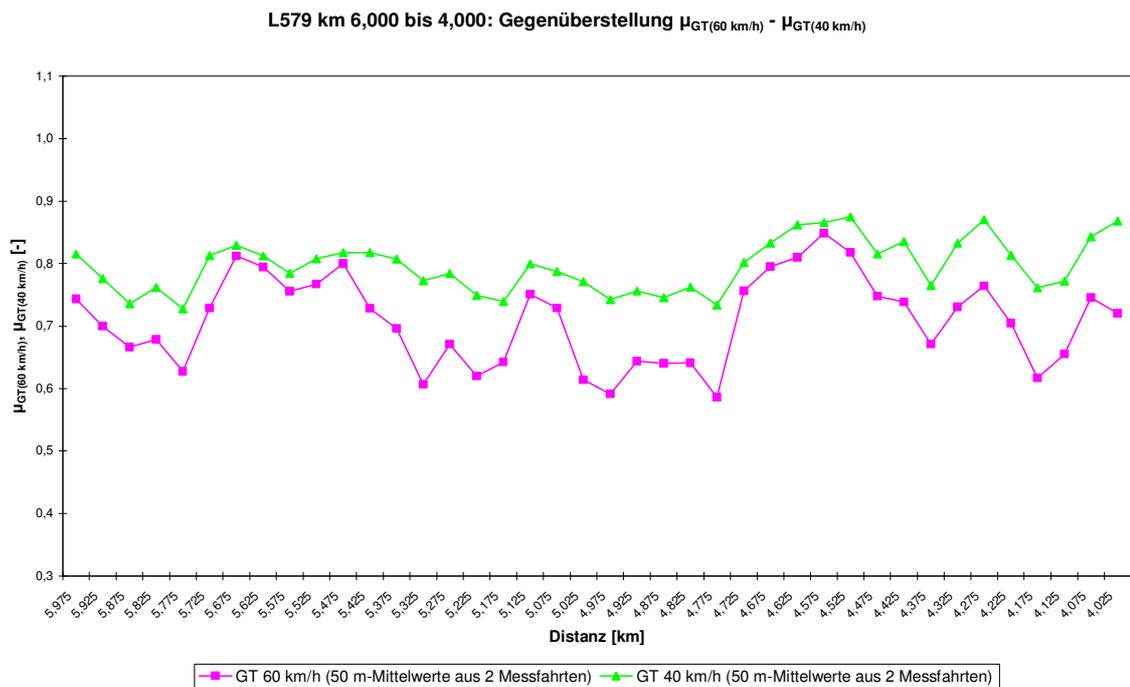


Abbildung A-2: Messstrecke L579 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L1471 km 14,000 bis 16,000: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS} - PTV_{corr}

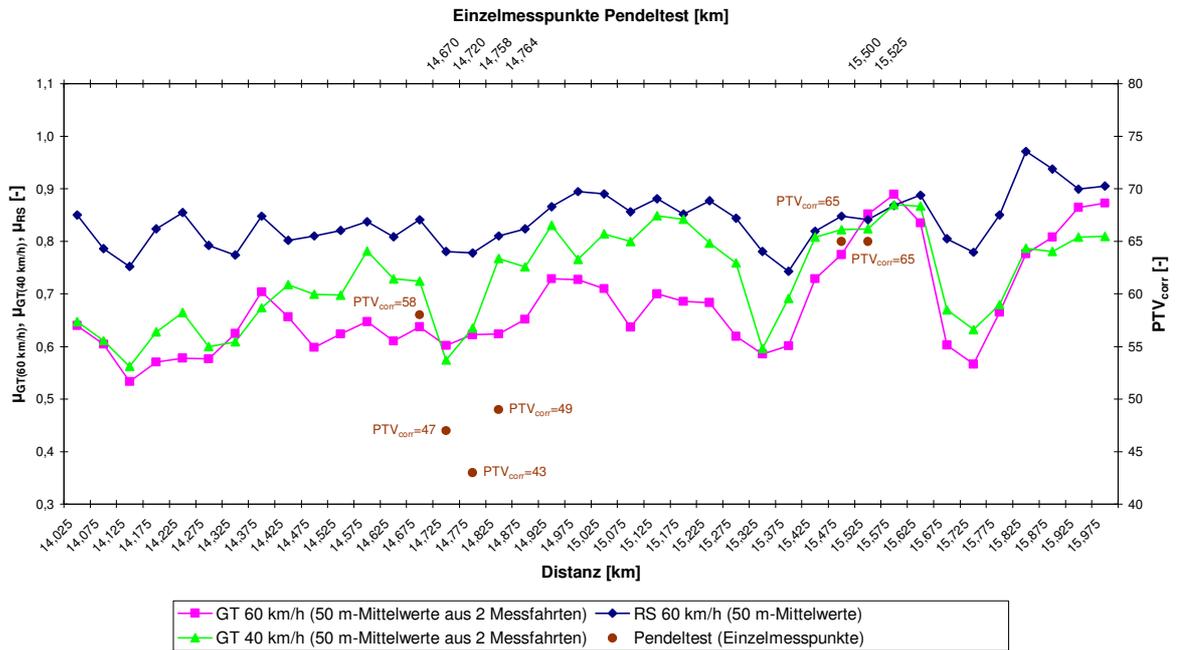


Abbildung A-3: Messstrecke L1471 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L1477 km 3,200 bis 1,200: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - μ_{RS} - PTV_{corr}

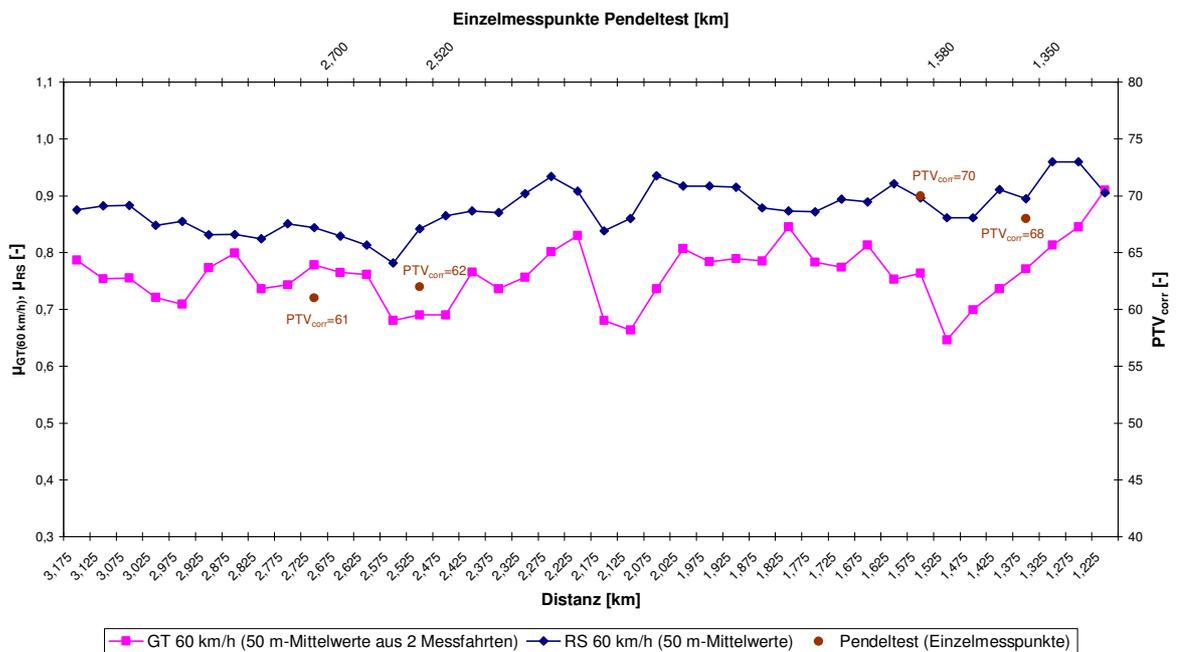


Abbildung A-4: Messstrecke L1477 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

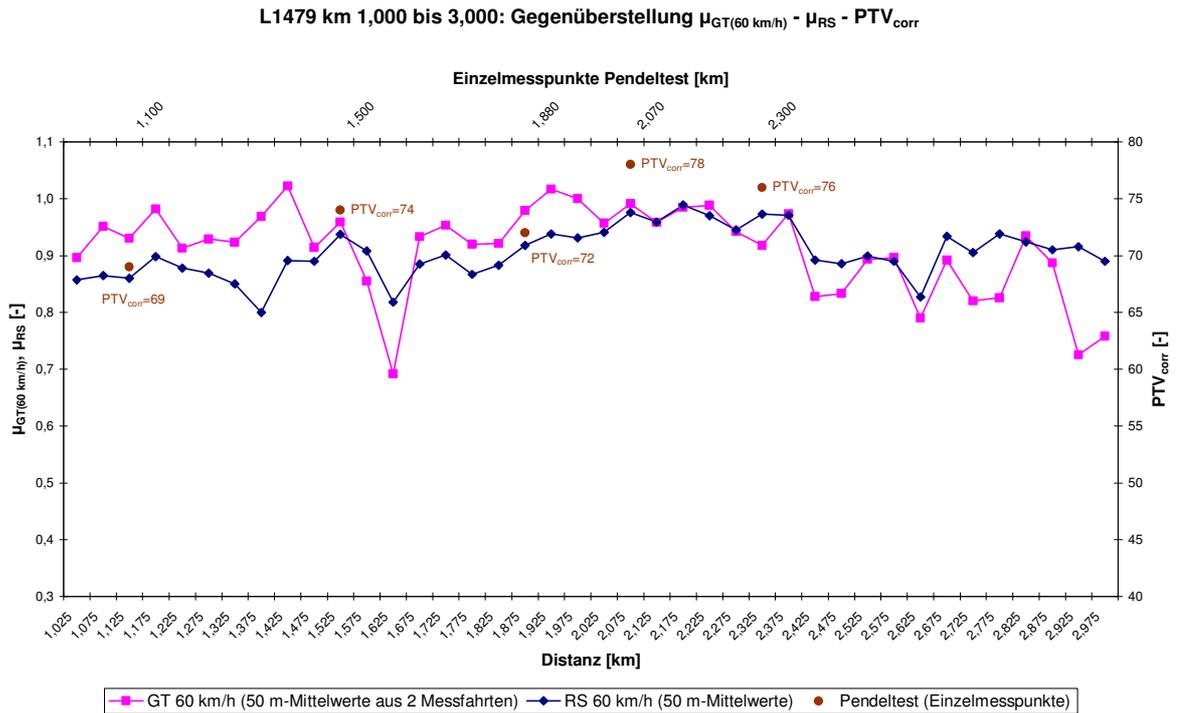


Abbildung A-5: Messstrecke L1479 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

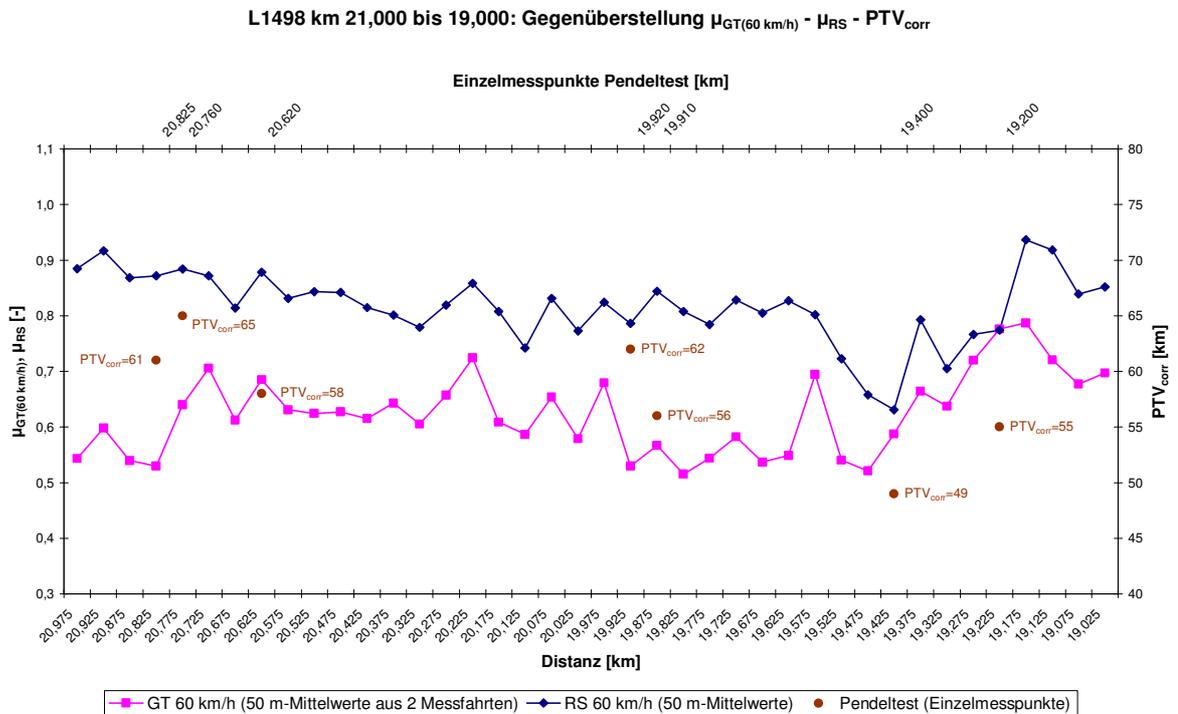


Abbildung A-6: Messstrecke L1498 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

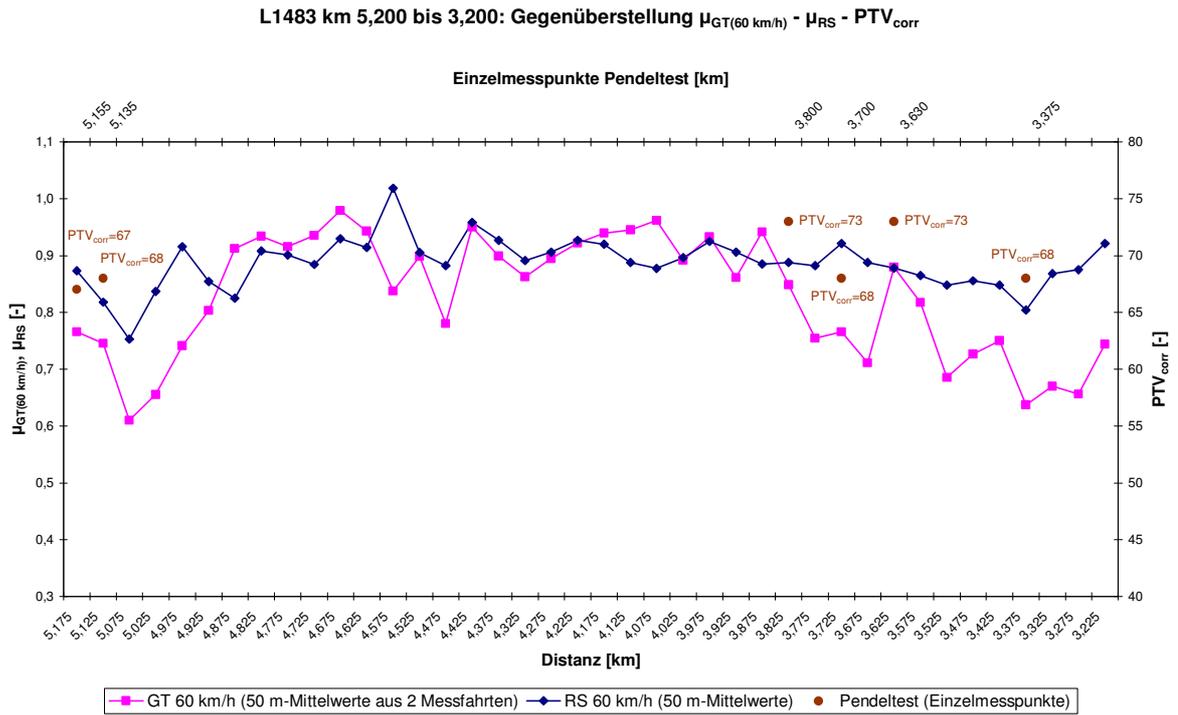


Abbildung A-7: Messstrecke L1483 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

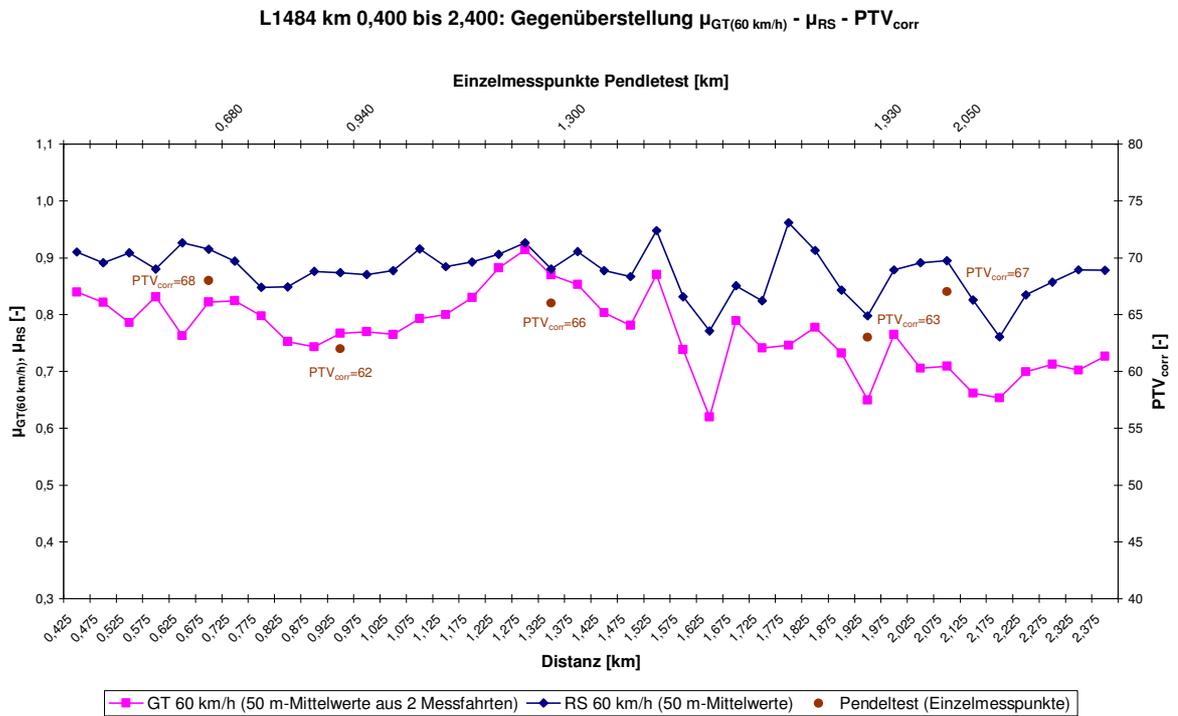


Abbildung A-8: Messstrecke L1484 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

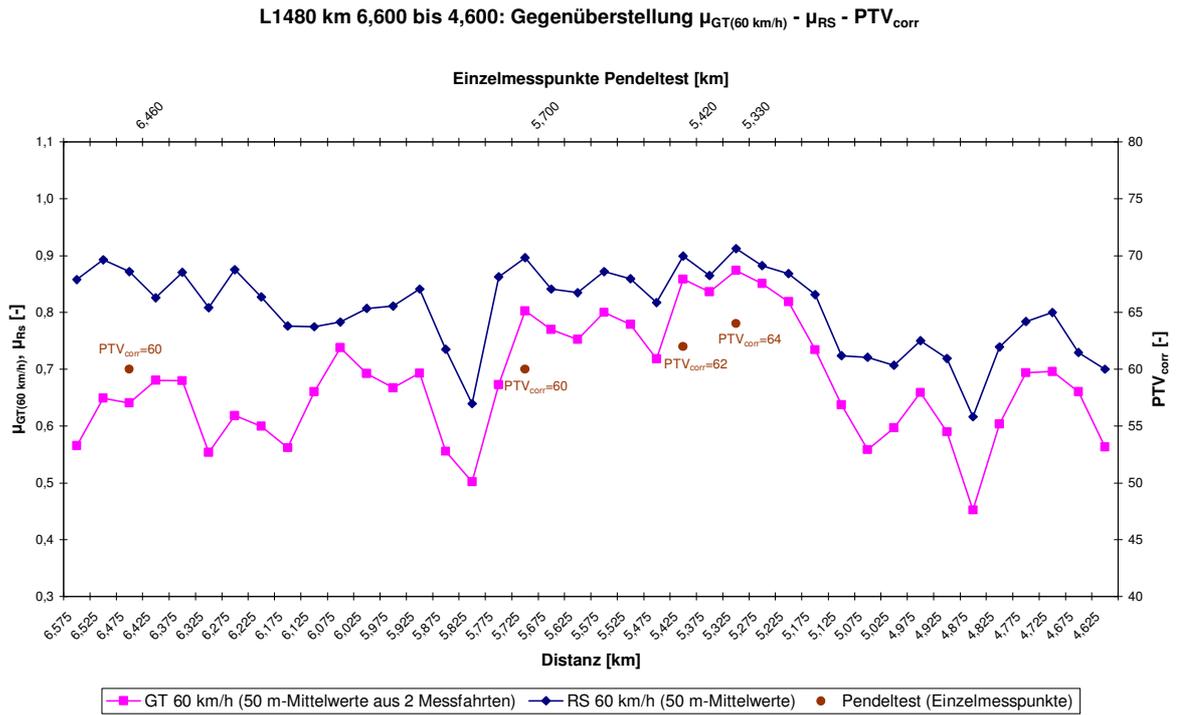


Abbildung A-9: Messstrecke L1480 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

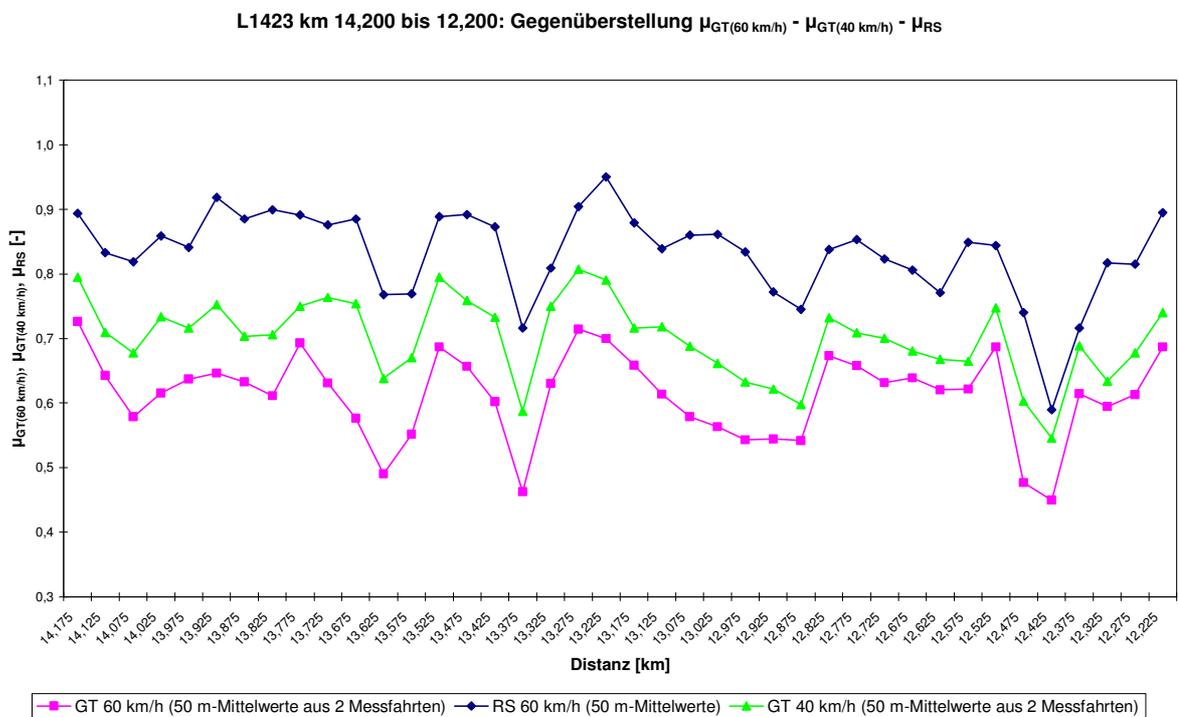


Abbildung A-10: Messstrecke L1423 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L1422 km 4,000 bis 2,000: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS}

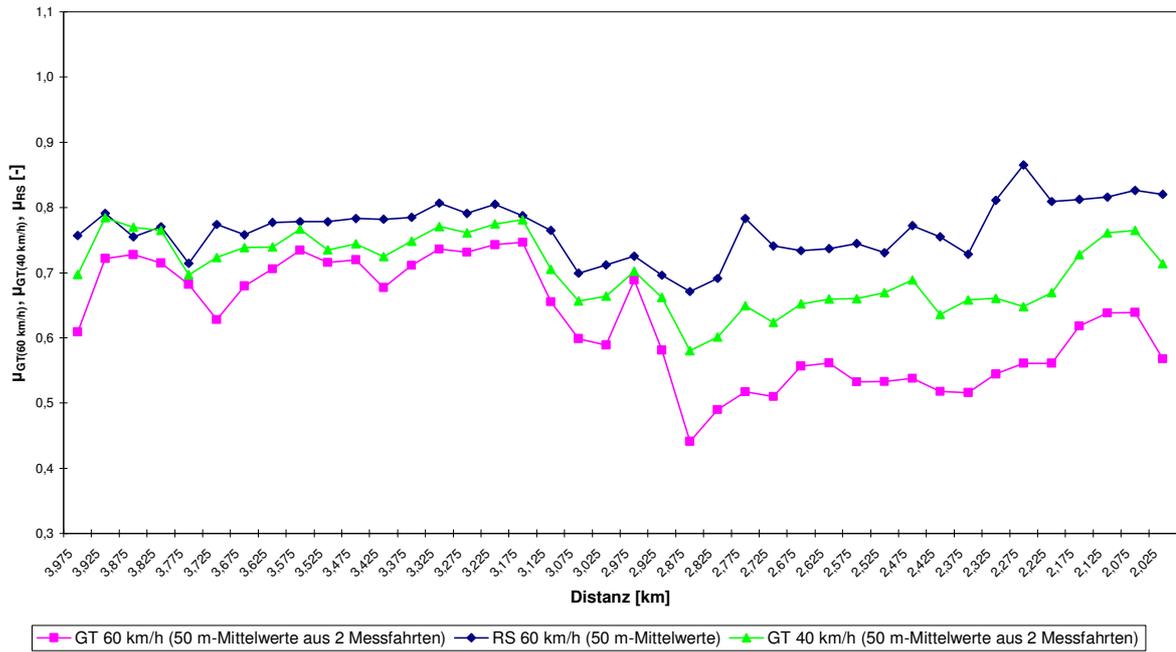


Abbildung A-11: Messstrecke L1422 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L570 km 10,200 bis 12,200: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS}

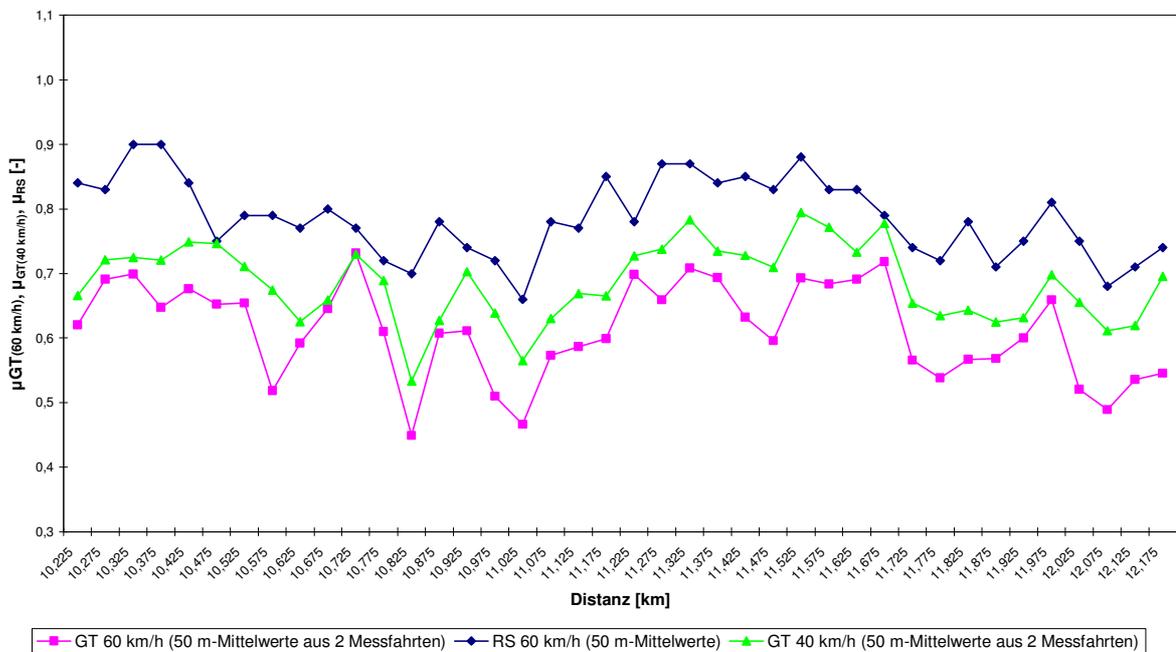


Abbildung A-12: Messstrecke L570 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L564 km 10,000 bis 8,000: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS} - PTV_{corr}

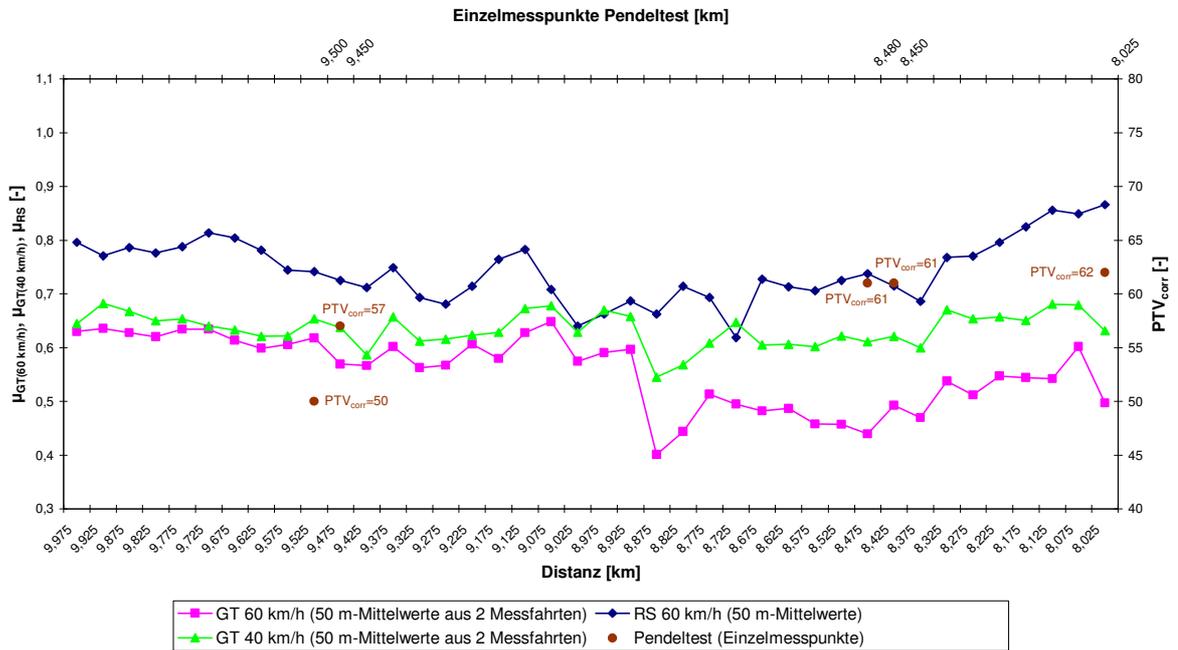


Abbildung A-13: Messstrecke L564 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L1374 km 3,000 bis 1,000: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS}

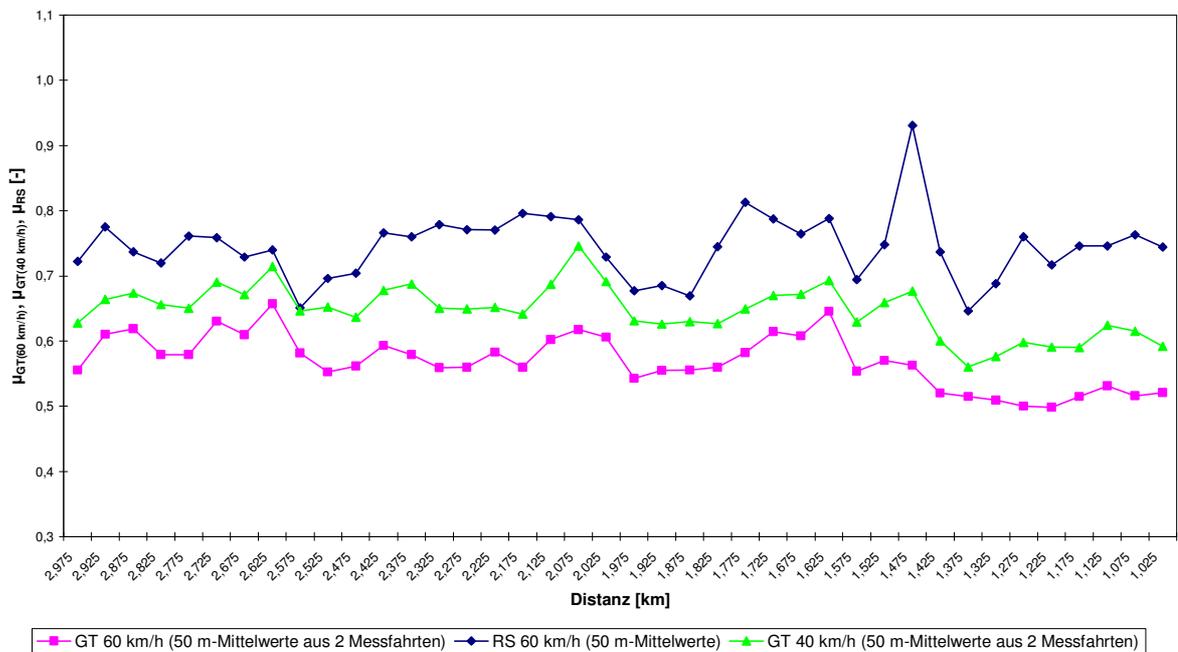


Abbildung A-14: Messstrecke L1374 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L1349 km 11,000 bis 13,000: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS} - PTV_{corr}

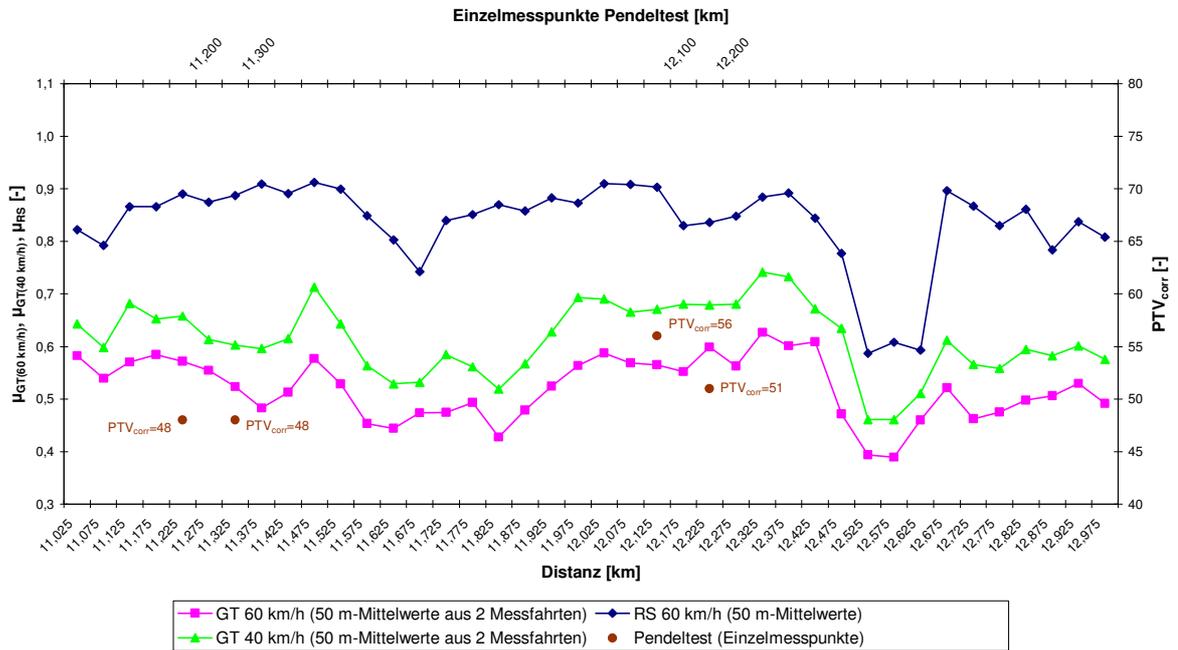


Abbildung A-15: Messstrecke L1349 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

L1404a km 3,600 bis 5,600: Gegenüberstellung $\mu_{GT(60\text{ km/h})}$ - $\mu_{GT(40\text{ km/h})}$ - μ_{RS}

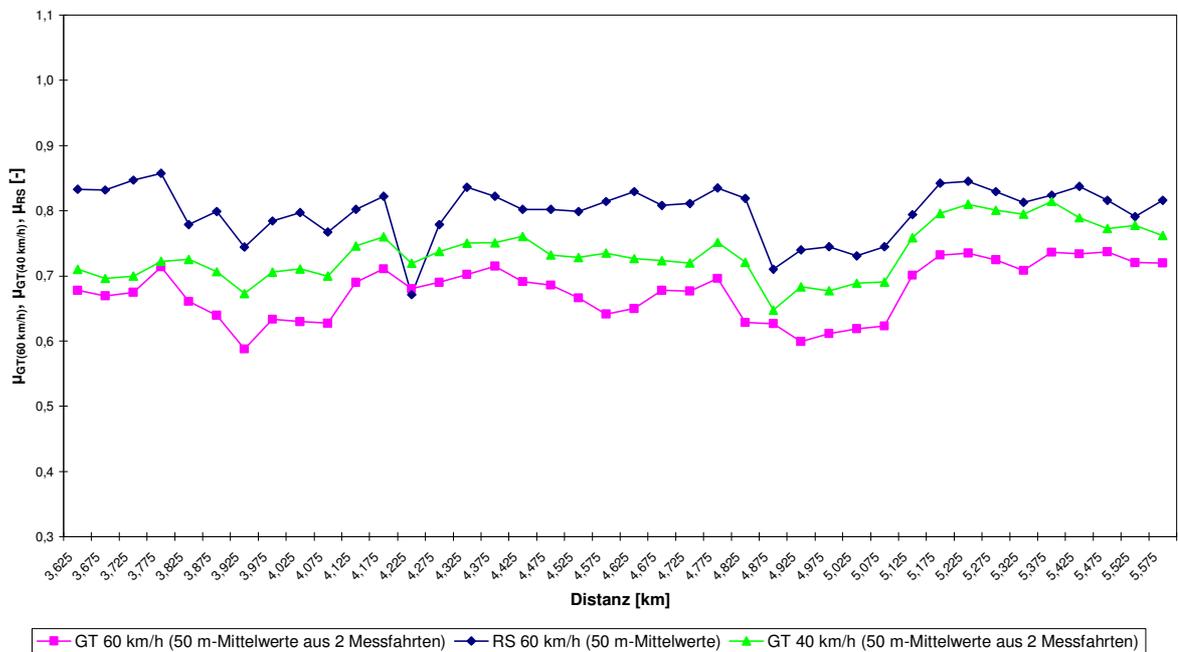


Abbildung A-16: Messstrecke L1404a – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

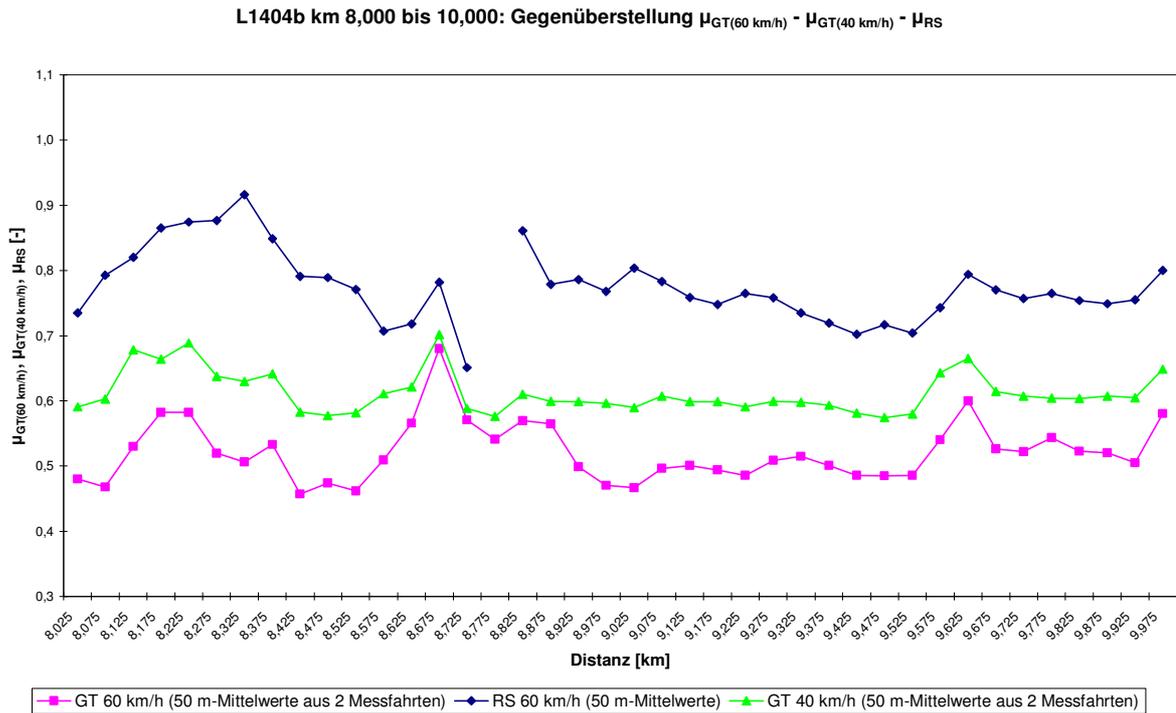


Abbildung A-17: Messstrecke L1404b – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

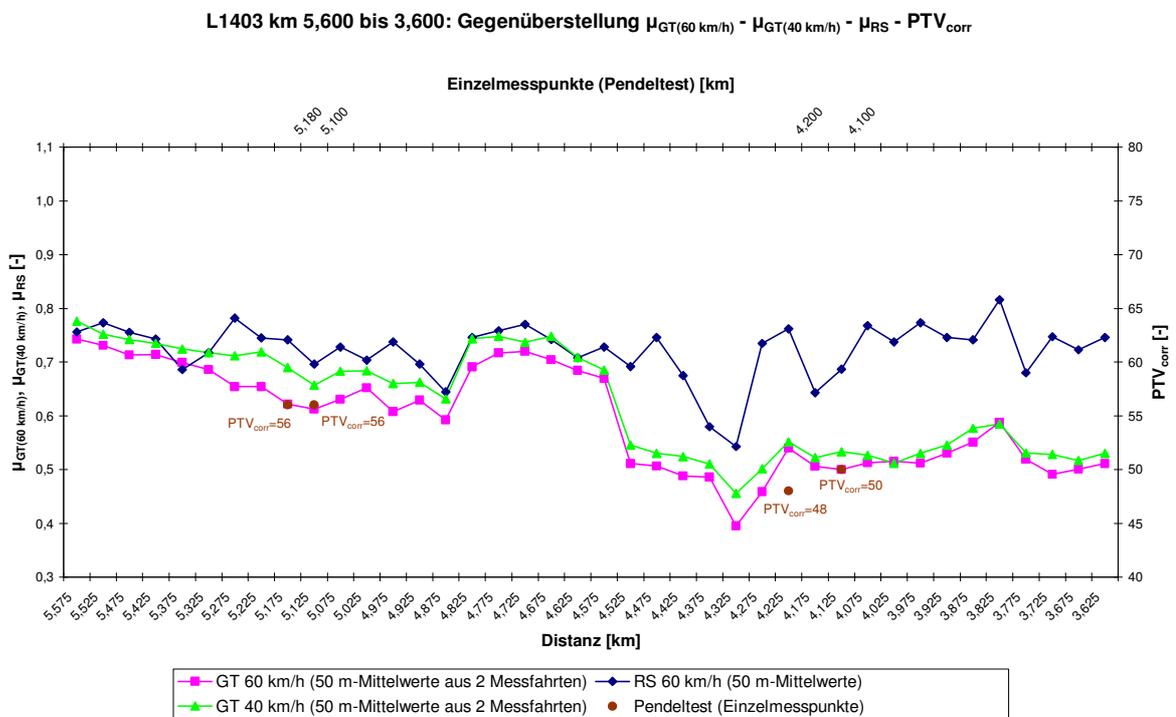


Abbildung A-18: Messstrecke L1403 – Verlauf der Griffigkeitsmesswerte.

B Texturwerte der einzelnen Messstrecken

L1476 km 0,600 bis 2,600: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

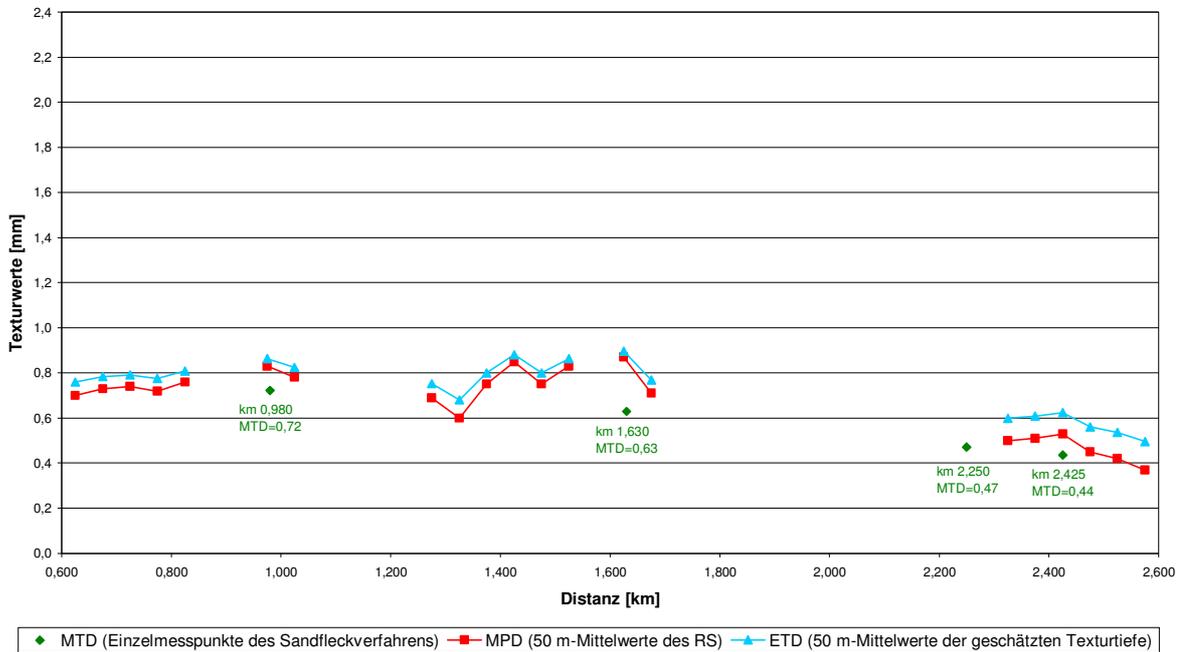


Abbildung B-1: Messstrecke L1476 – Verlauf der Texturwerte.

L1471 km 14,000 bis 16,000: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

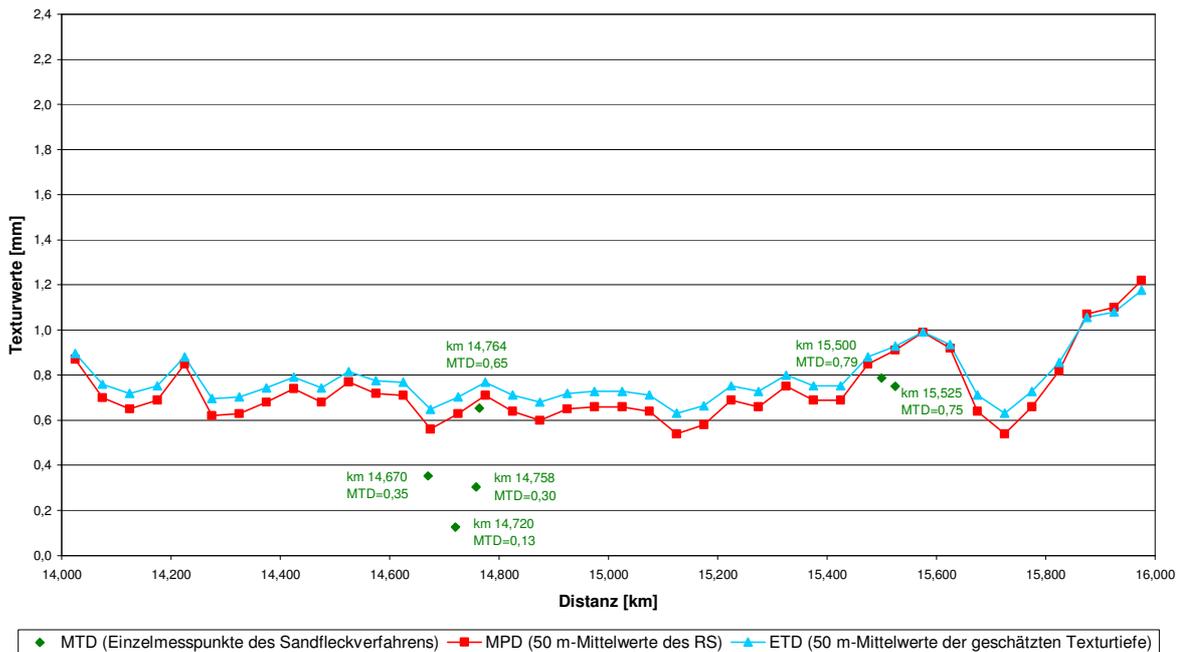


Abbildung B-2: Messstrecke L1471 – Verlauf der Texturwerte.

L1477 km 3,200 bis 1,200: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

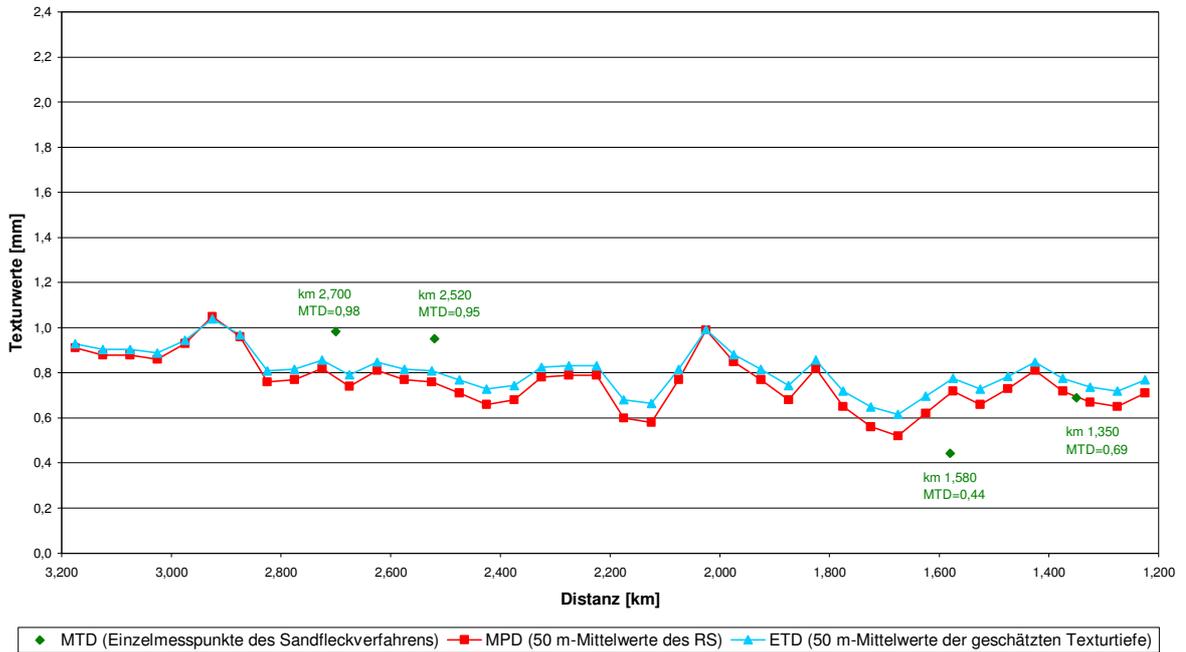


Abbildung B-3: Messstrecke L1477 – Verlauf der Texturwerte.

L1479 km 1,000 bis 3,000: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

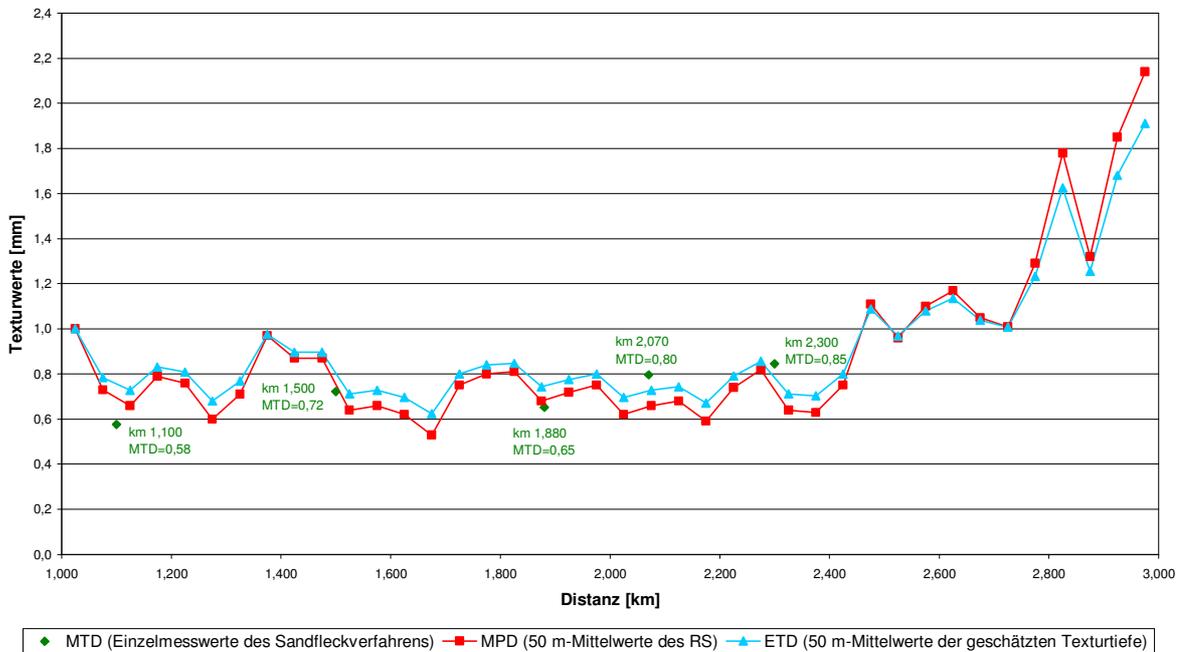


Abbildung B-4: Messstrecke L1479 – Verlauf der Texturwerte.

L1498 km 21,000 bis 19,000: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

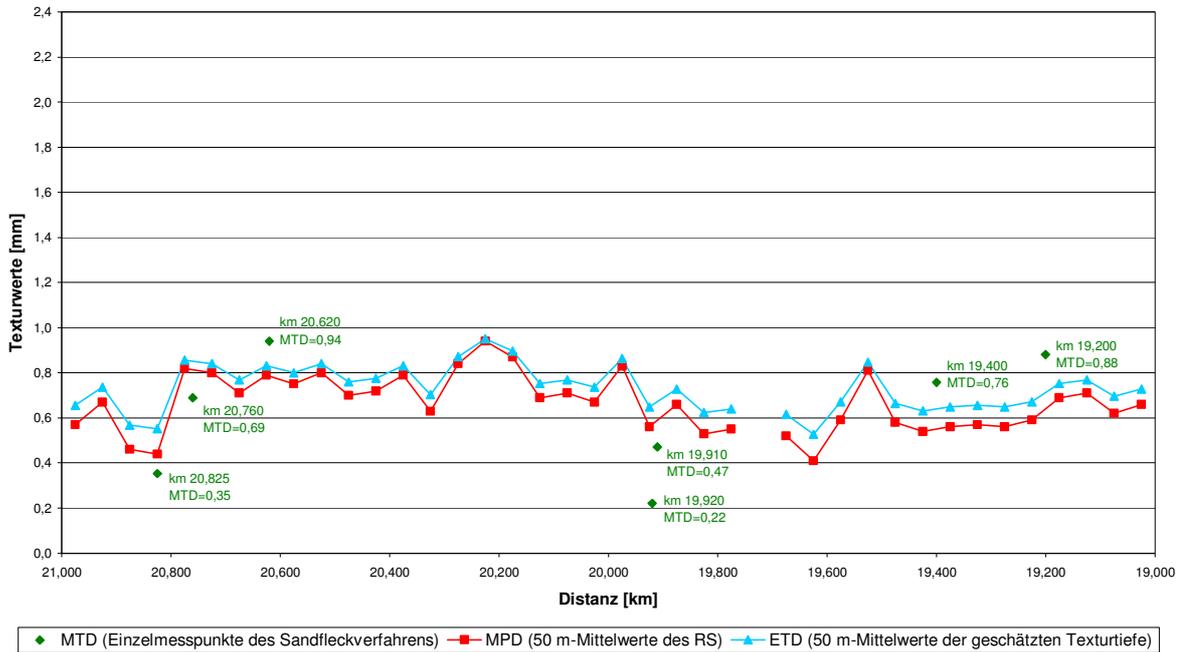


Abbildung B-5: Messstrecke L1498 – Verlauf der Texturwerte.

L1483 km 5,200 bis 3,200: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

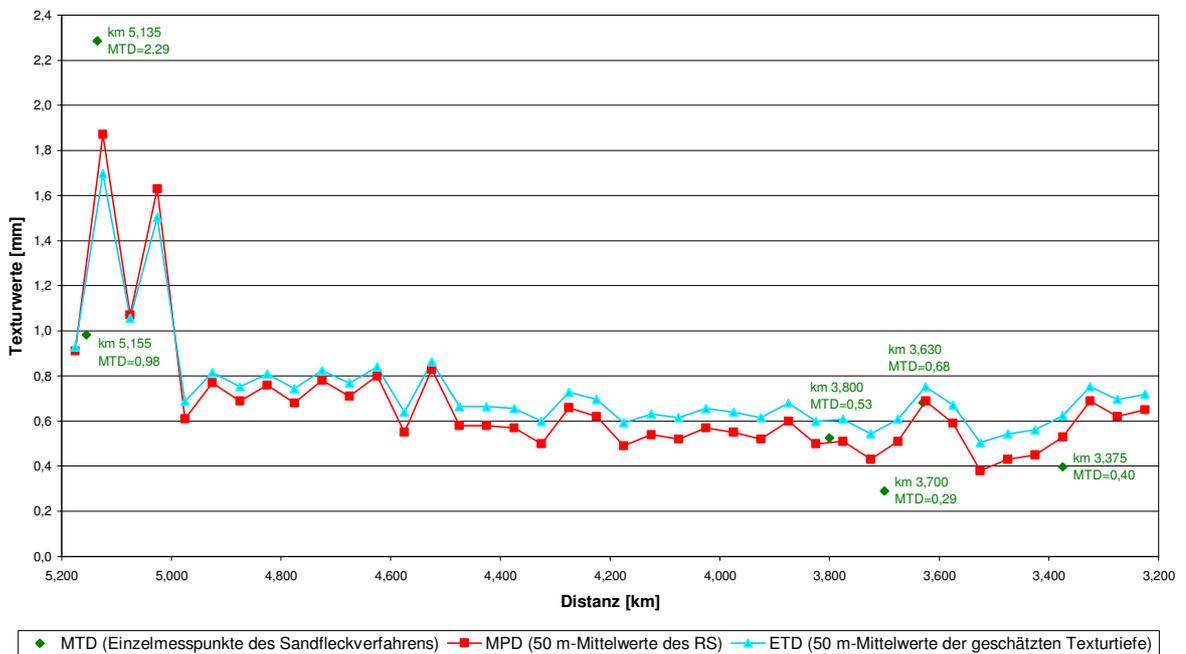


Abbildung B-6: Messstrecke L1483 – Verlauf der Texturwerte.

L1484 km 0,400 bis 2,400: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

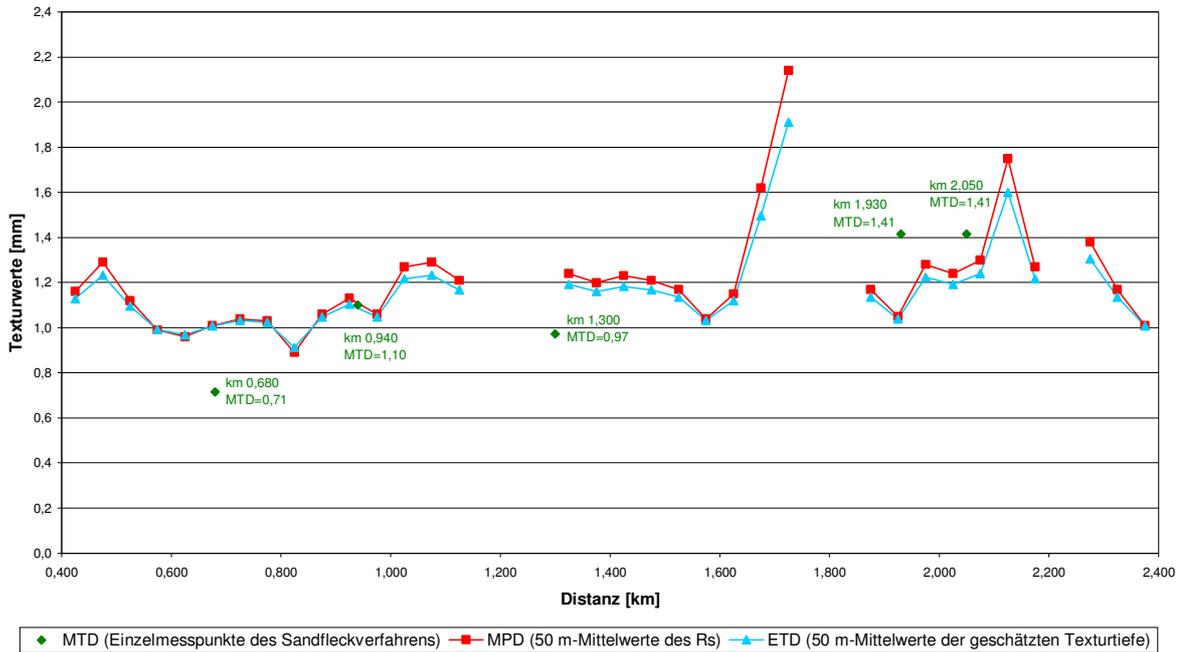


Abbildung B-7: Messstrecke L1484 – Verlauf der Texturwerte.

L1480 km 6,600 bis 4,600: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

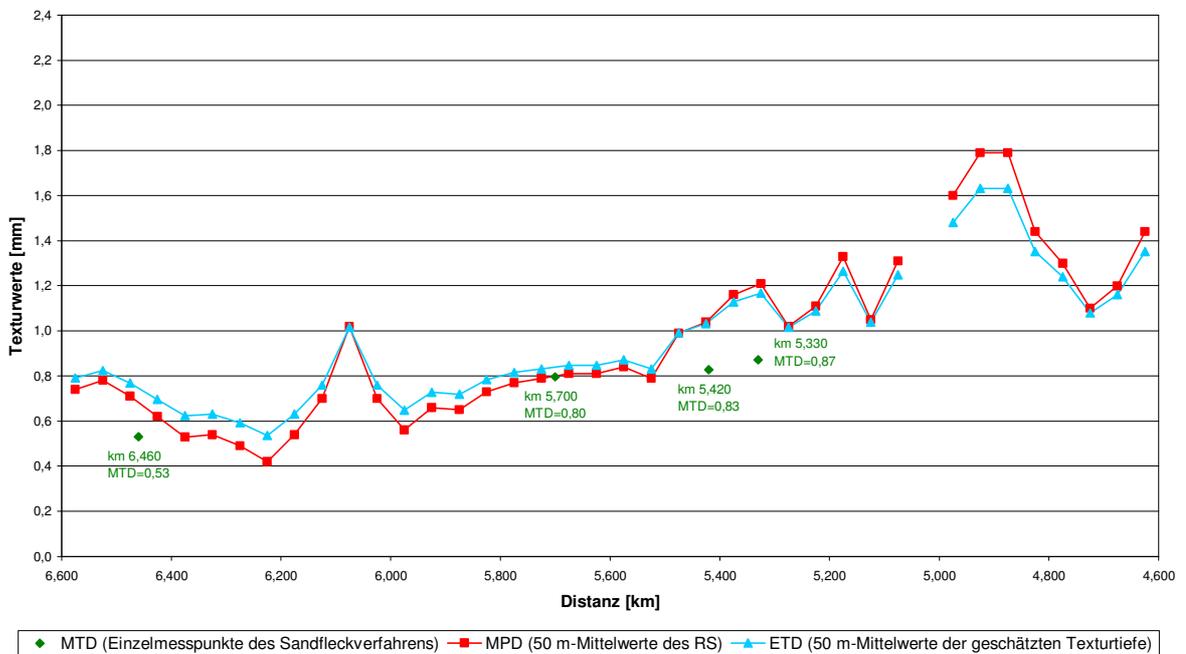


Abbildung B-8: Messstrecke L1480 – Verlauf der Texturwerte.

L1423 km 14,200 bis 12,200: Gegenüberstellung MPD - ETD

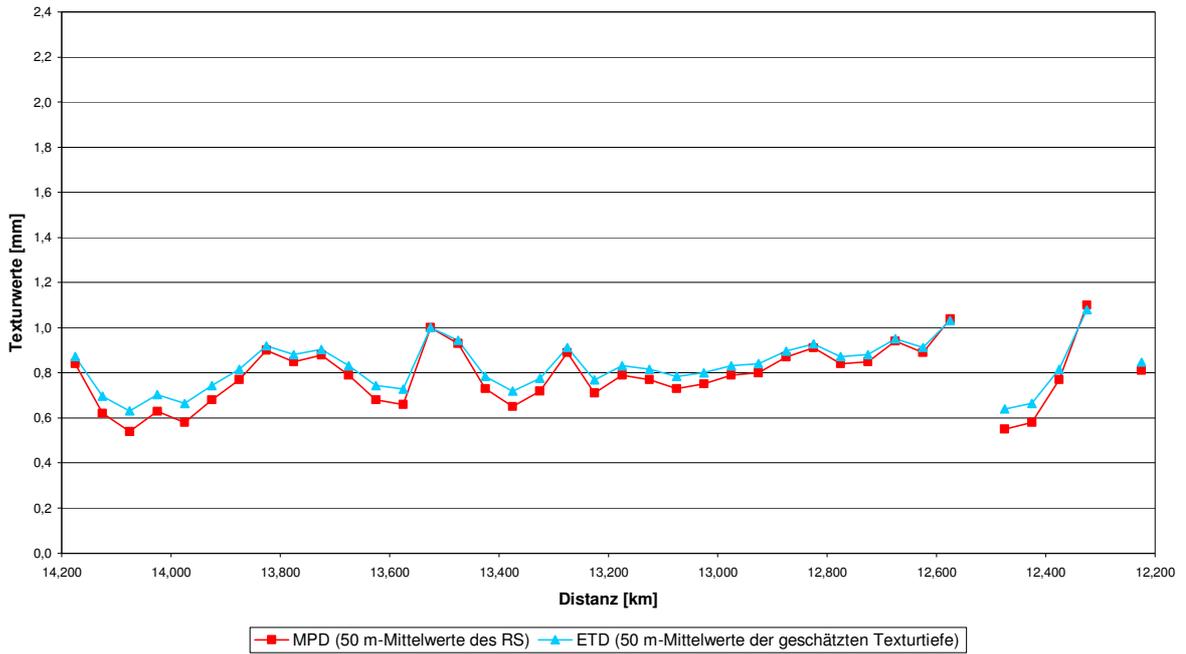


Abbildung B-9: Messstrecke L1423 – Verlauf der Texturwerte.

L1422 km 4,000 bis 2,000: Gegenüberstellung MPD - ETD

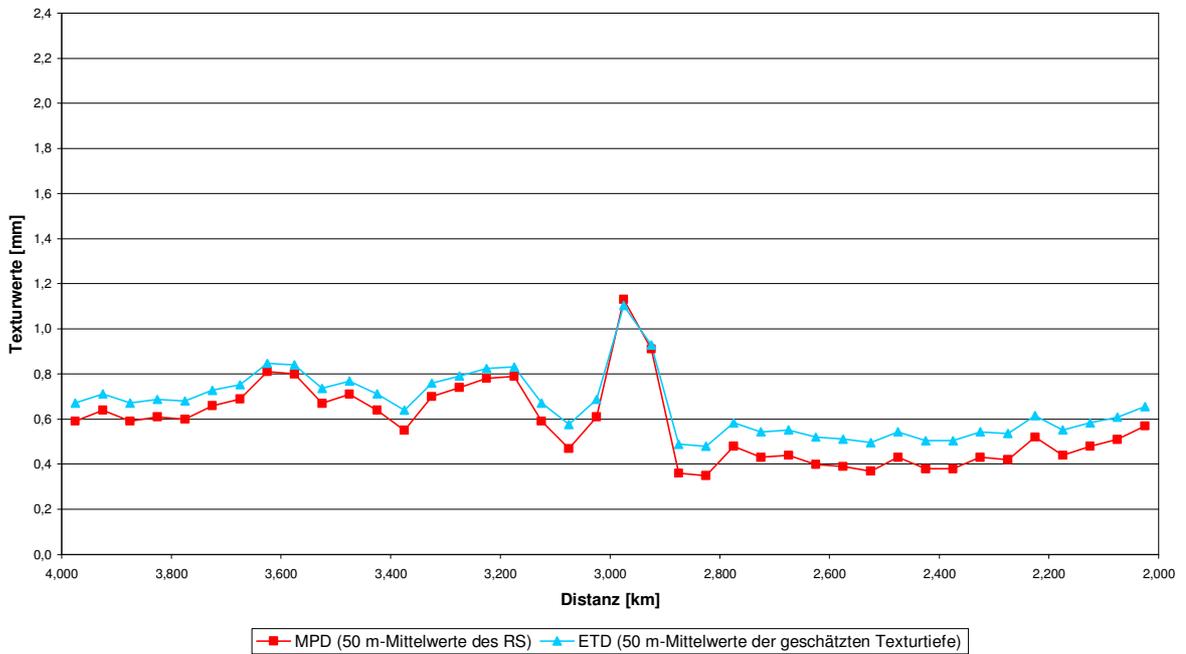


Abbildung B-10: Messstrecke L1422 – Verlauf der Texturwerte.

L570 km 10,200 bis 12,200: Gegenüberstellung MPD - ETD

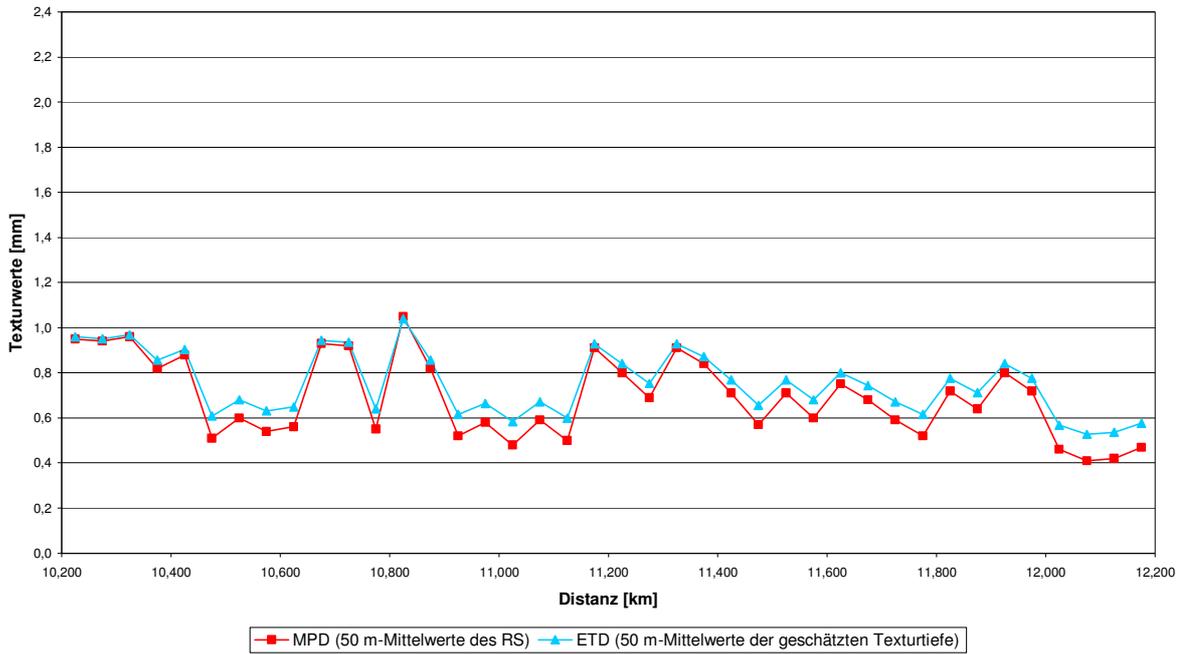


Abbildung B-11: Messstrecke L570 – Verlauf der Texturwerte.

L564 km 10,000 bis 8,000: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

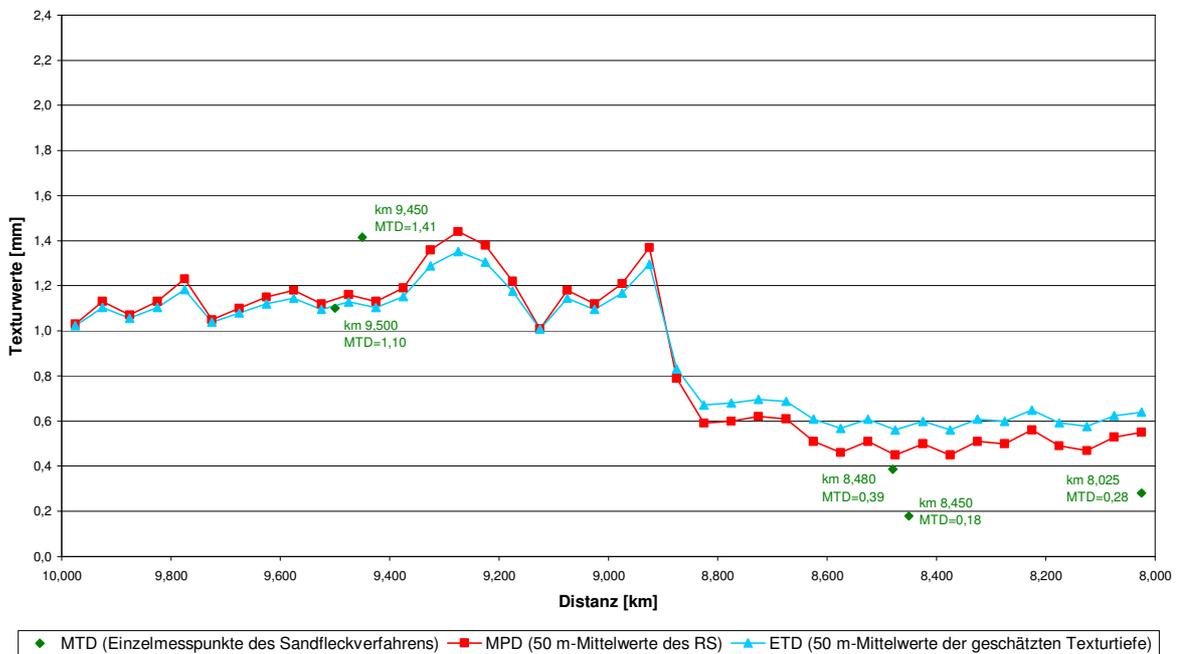


Abbildung B-12: Messstrecke L564 – Verlauf der Texturwerte.

L1374 km 3,000 bis 1,000: Gegenüberstellung MPD - ETD

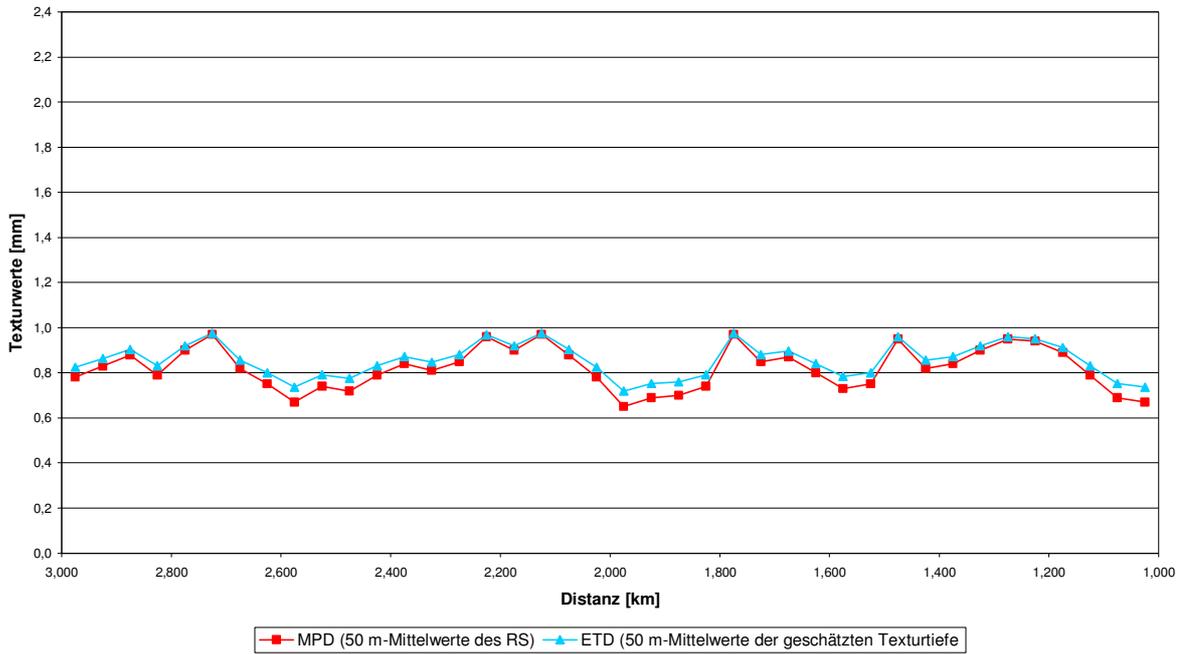


Abbildung B-13: Messstrecke L1374 – Verlauf der Texturwerte.

L1349 km 11,000 bis 13,000: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

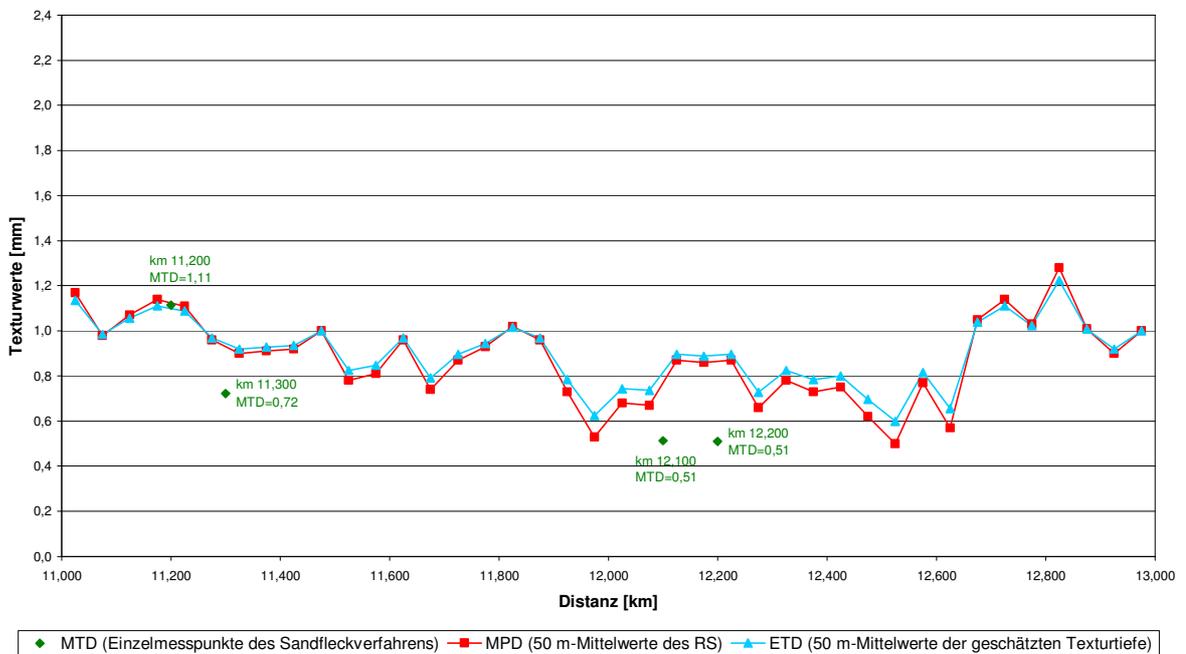


Abbildung B-14: Messstrecke L1349 – Verlauf der Texturwerte.

L1404a km 3,600 bis 5,600: Gegenüberstellung MPD - ETD

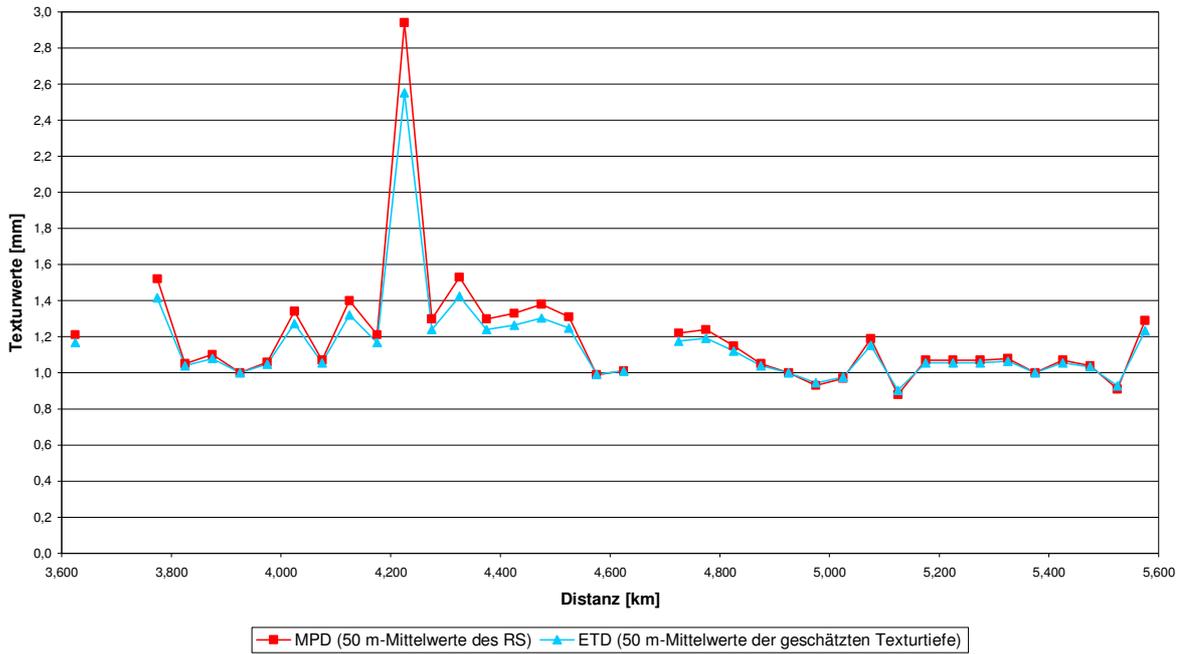


Abbildung B-15: Messstrecke L1404a – Verlauf der Texturwerte.

L1404b km 8,000 bis 10,000: Gegenüberstellung MPD - ETD

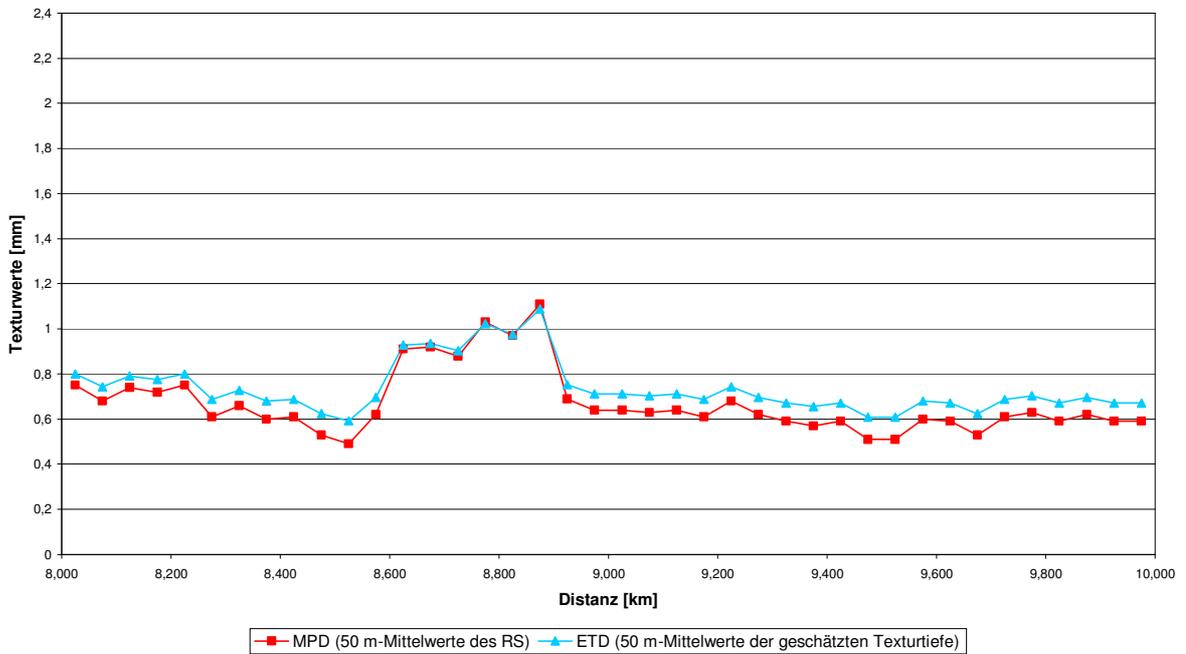


Abbildung B-16: Messstrecke L1404b – Verlauf der Texturwerte.

L1403 km 5,600 bis 3,600: Gegenüberstellung MTD - MPD - ETD

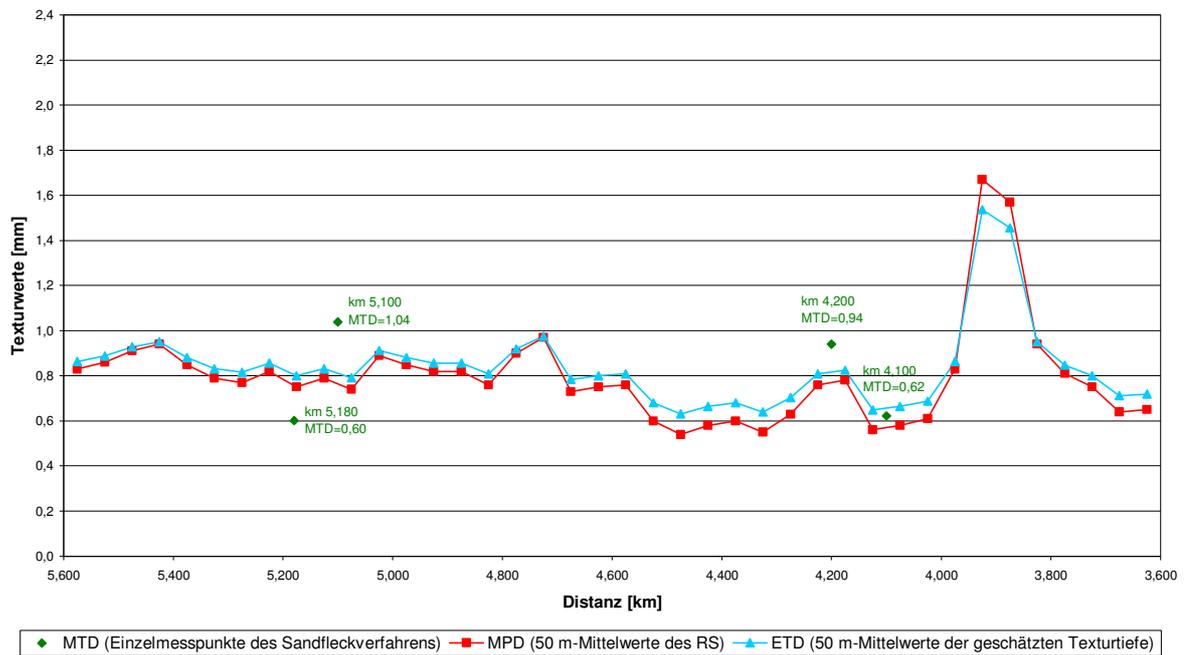


Abbildung B-17: Messstrecke L1403 – Verlauf der Texturwerte.

C International Friction Index (IFI) der einzelnen Messstrecken

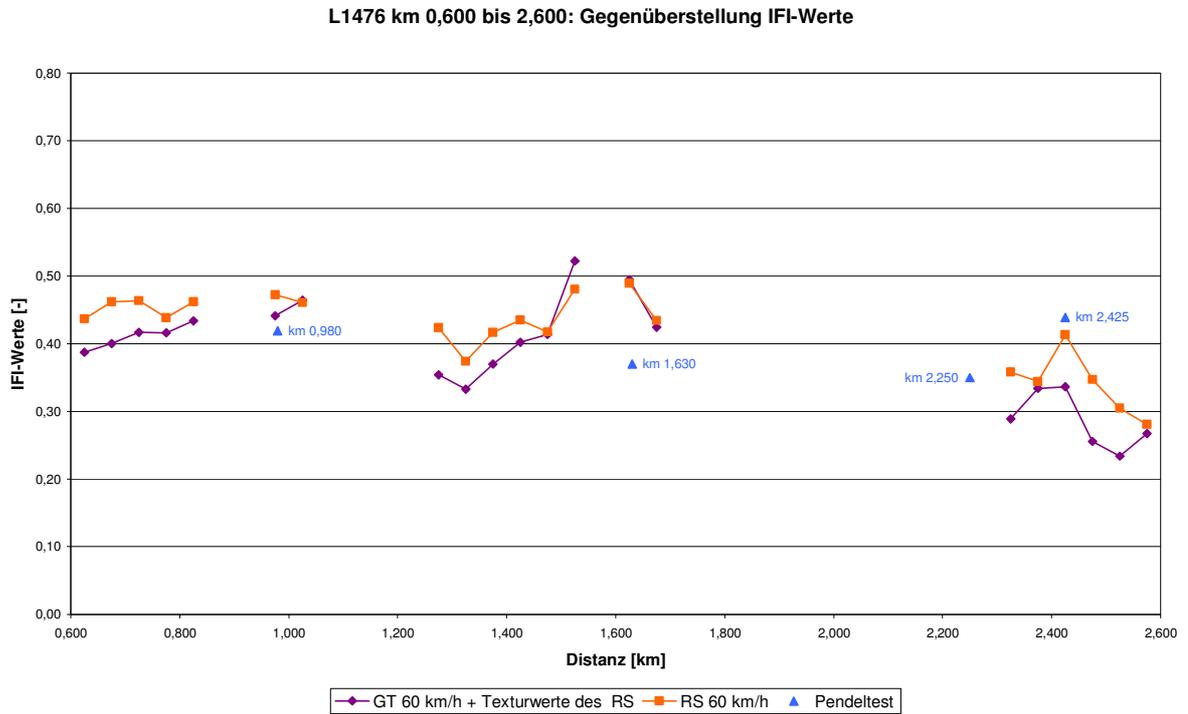


Abbildung C-1: Messstrecke L1476 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

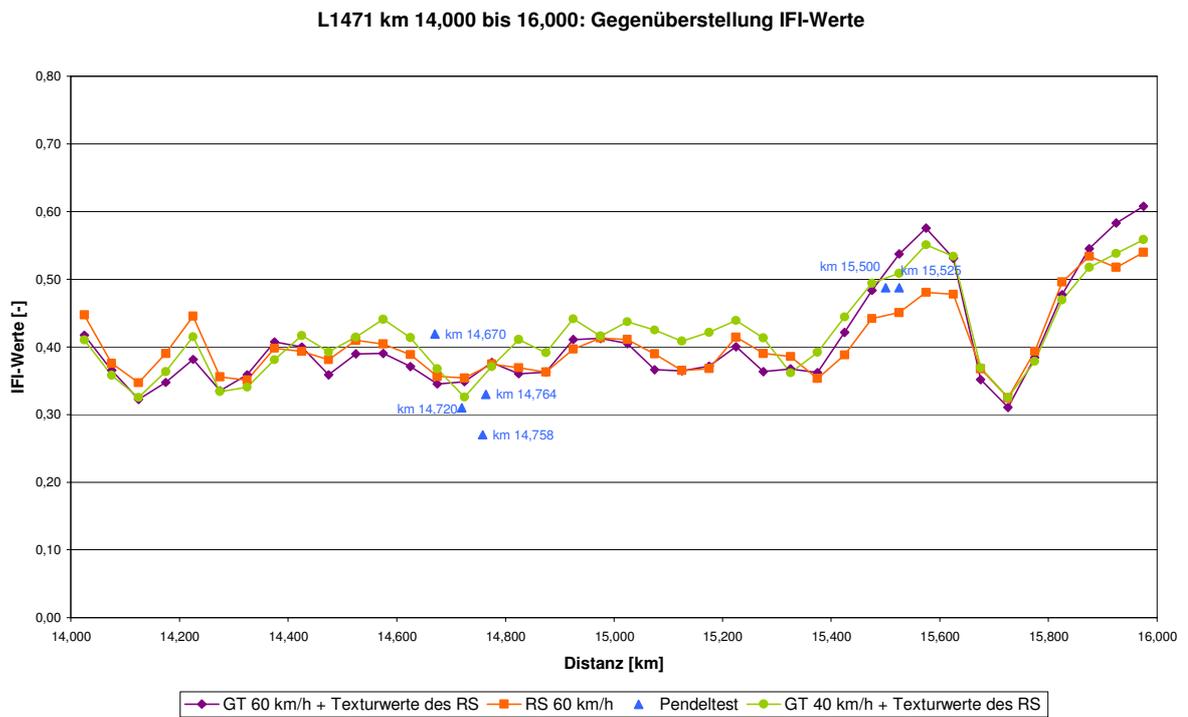


Abbildung C-2: Messstrecke L1471 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1477 km 3,200 bis 1,200: Gegenüberstellung IFI-Werte

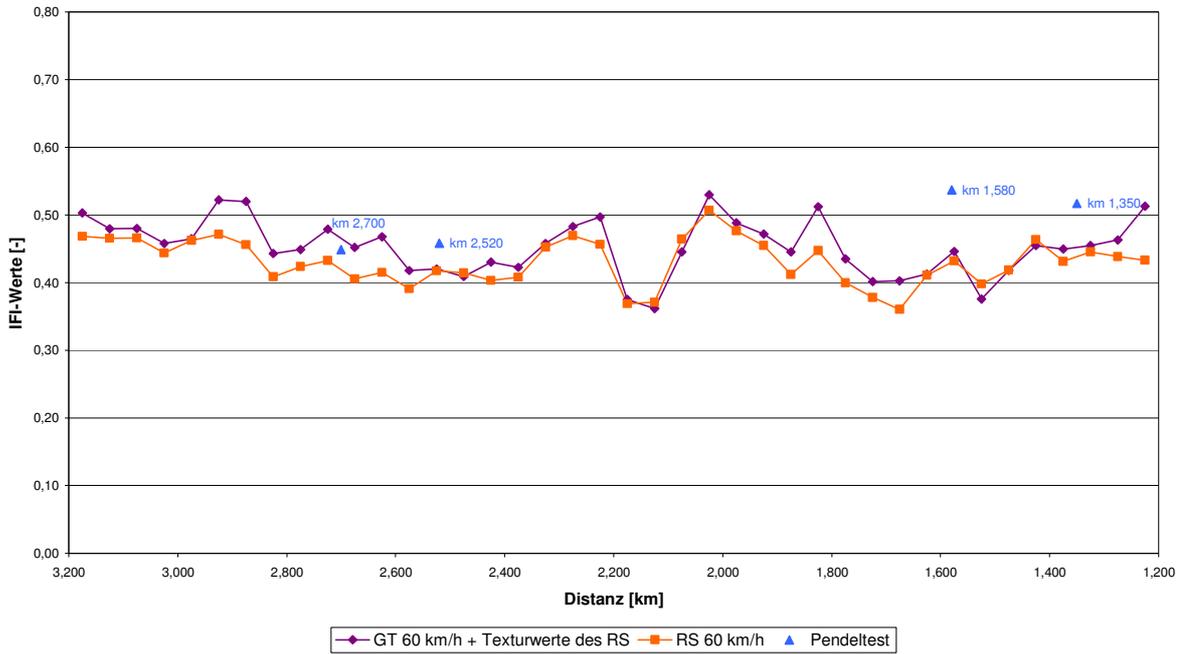


Abbildung C-3: Messstrecke L1477 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1479 km 1,000 bis 3,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

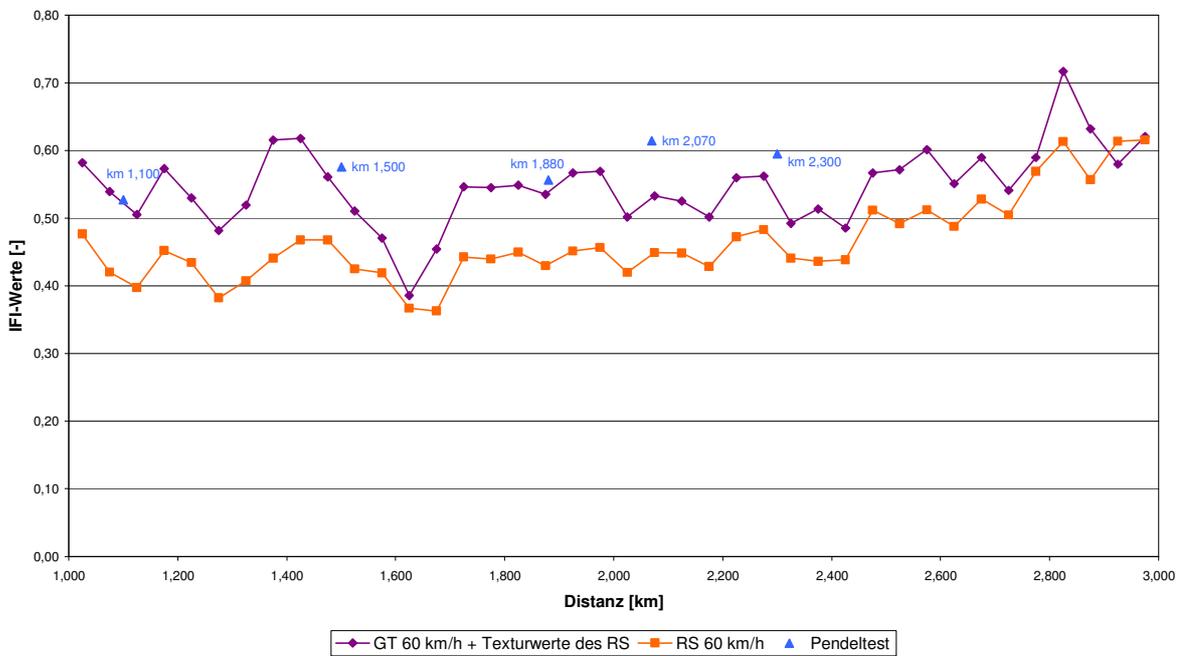


Abbildung C-4: Messstrecke L1479 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1498 km 21,000 bis 19,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

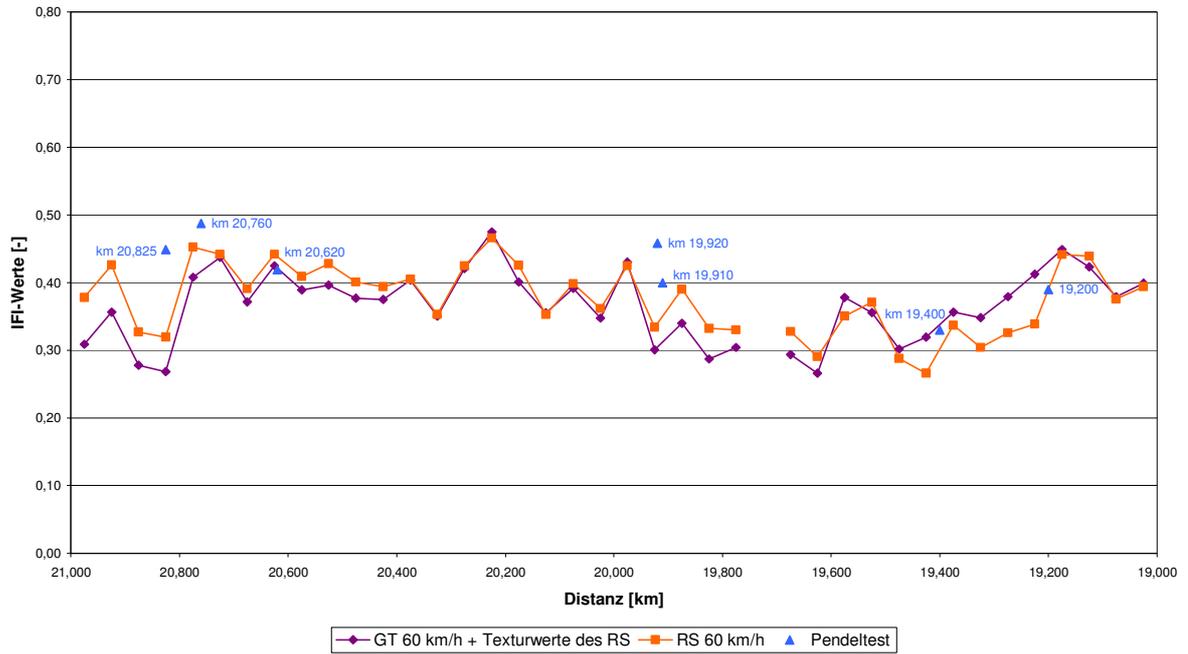


Abbildung C-5: Messstrecke L1498 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1483 km 5,200 bis 3,200: Gegenüberstellung IFI-Werte

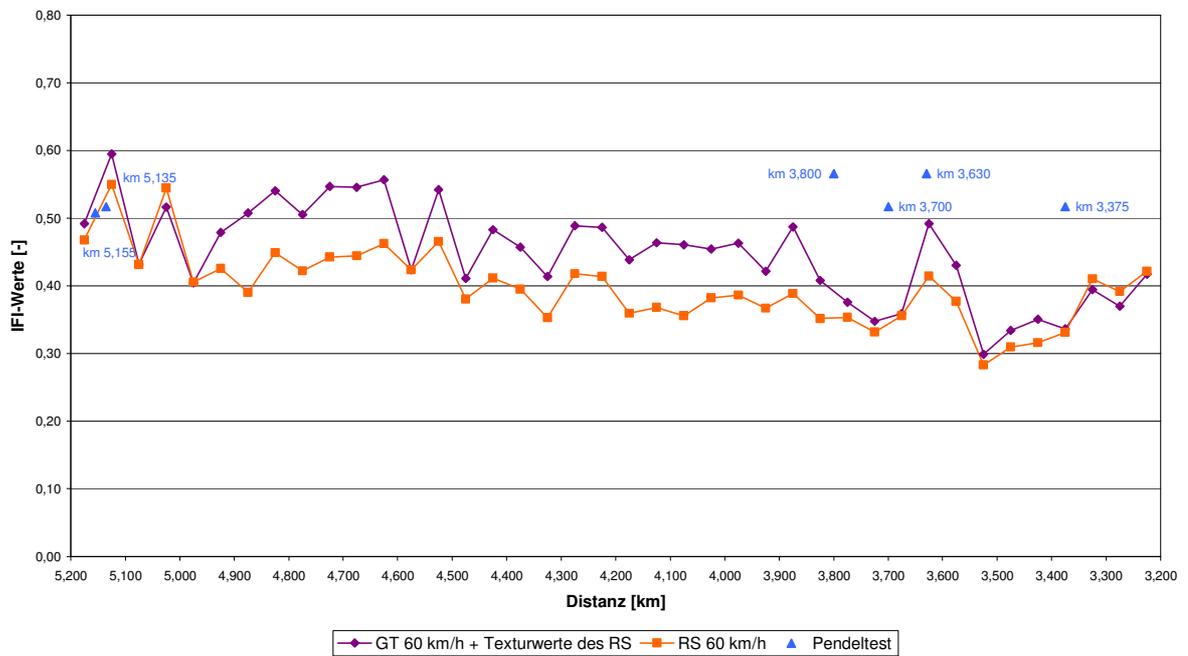


Abbildung C-6: Messstrecke L1483 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1484 km 0,400 bis 2,400: Gegenüberstellung IFI-Werte

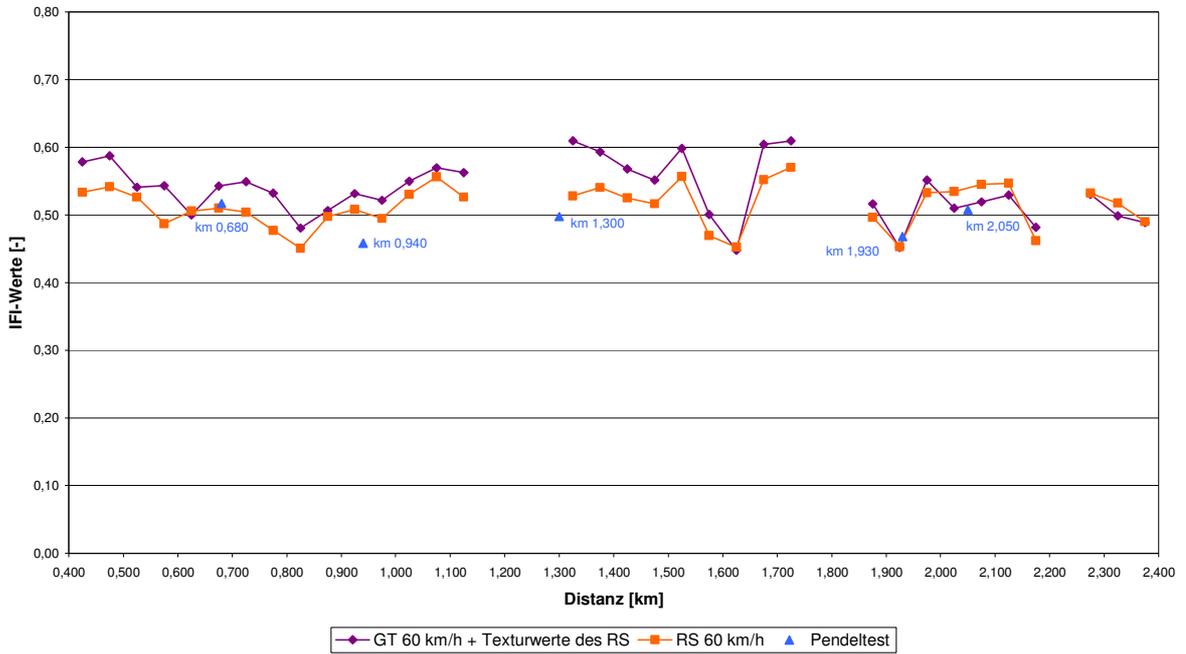


Abbildung C-7: Messstrecke L1484 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1480 km 6,600 bis 4,600: Gegenüberstellung IFI-Werte

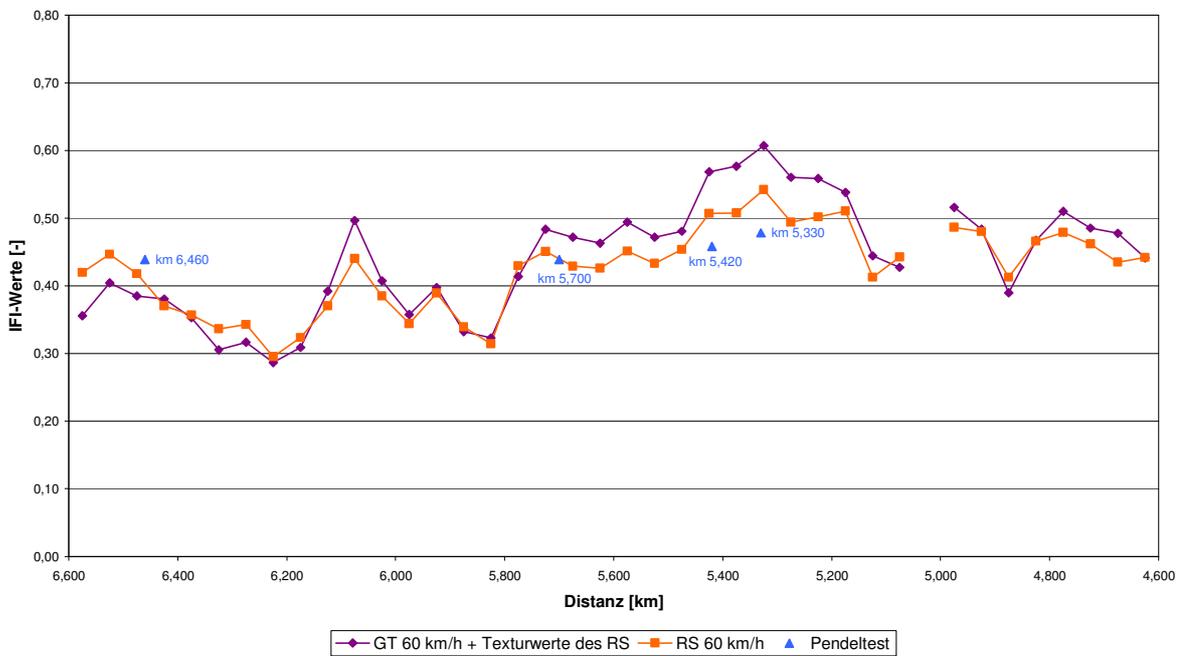


Abbildung C-8: Messstrecke L1480 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1423 km 14,200 bis 12,200; Gegenüberstellung IFI-Werte

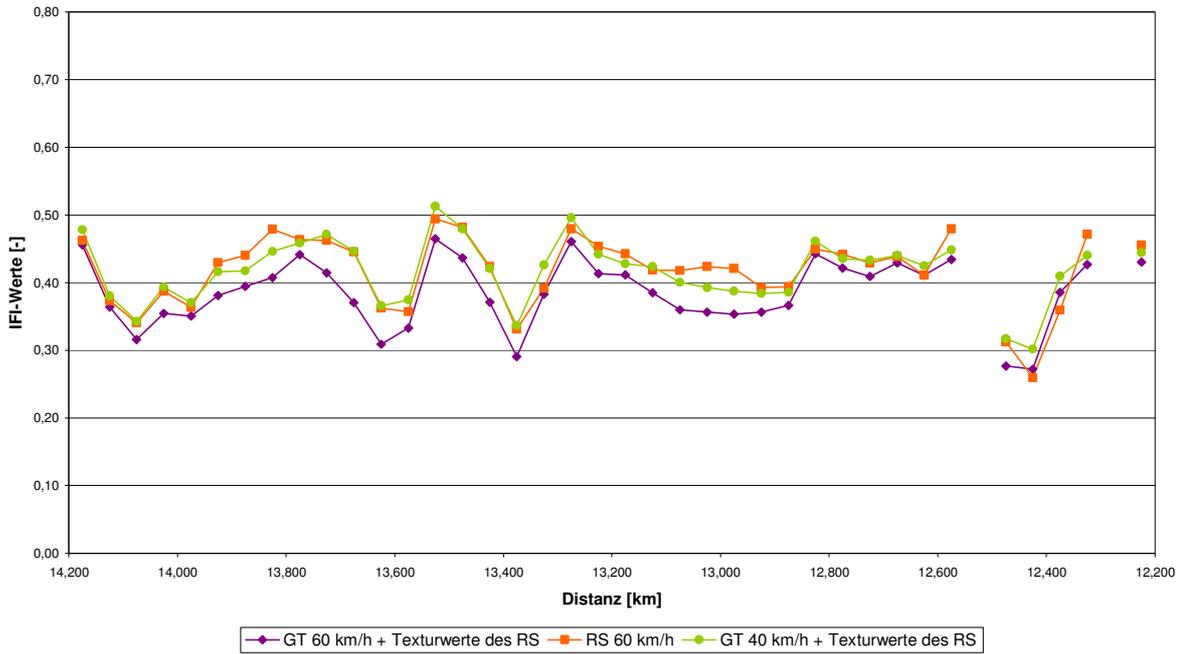


Abbildung C-9: Messstrecke L1423 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1422 km 4,000 bis 2,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

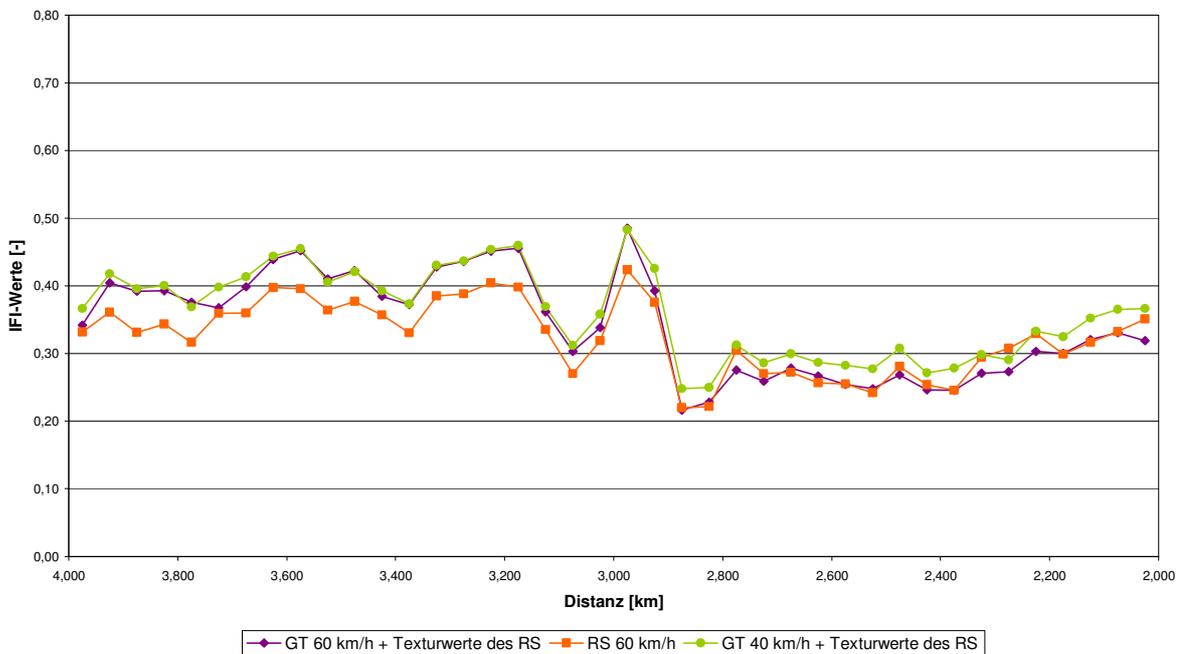


Abbildung C-10: Messstrecke L1422 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L570 km 10,200 bis 12,200: Gegenüberstellung IFI-Werte

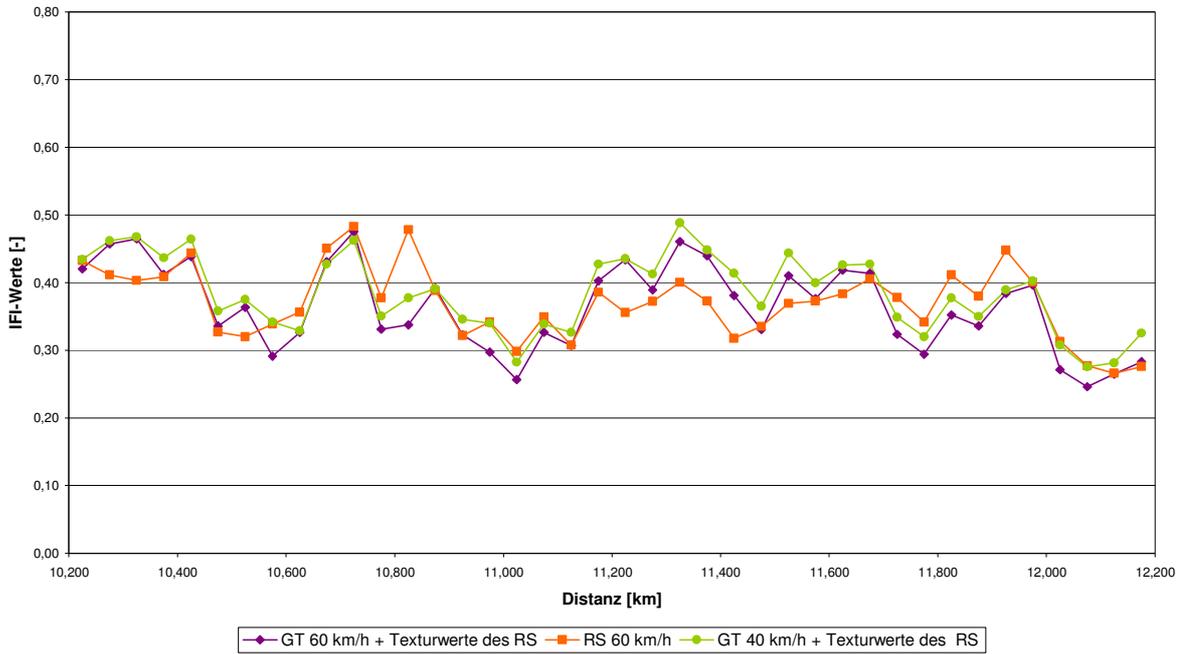


Abbildung C-11: Messstrecke L570 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L564 km 10,000 bis 8,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

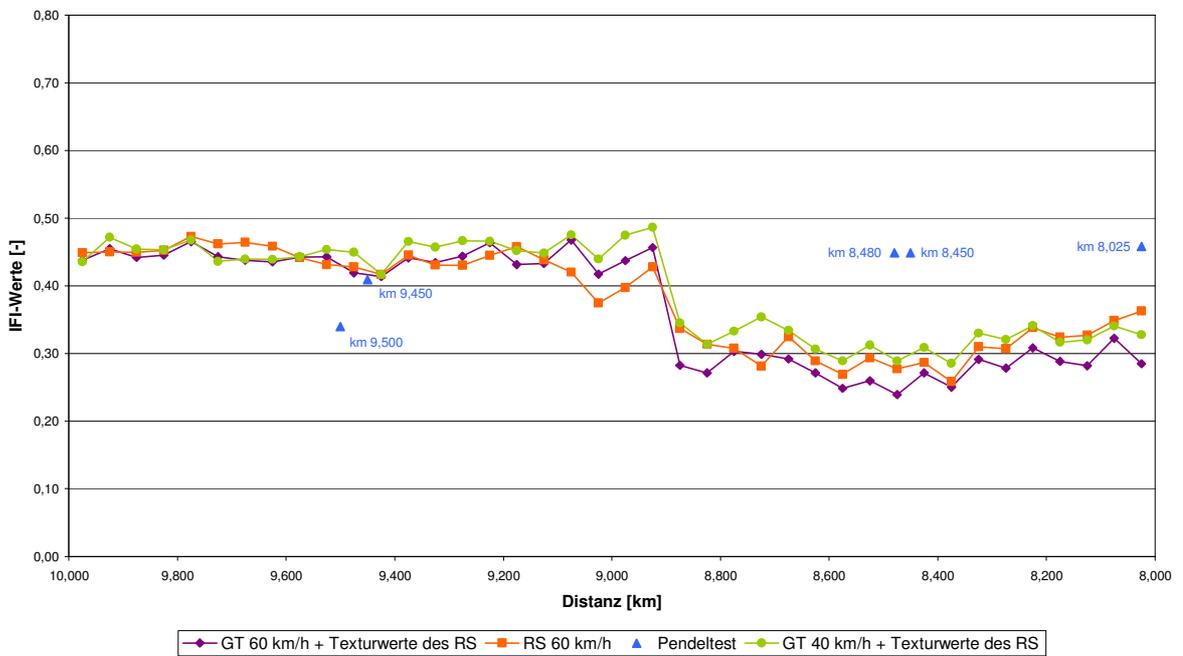


Abbildung C-12: Messstrecke L564 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1374 km 3,000 bis 1,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

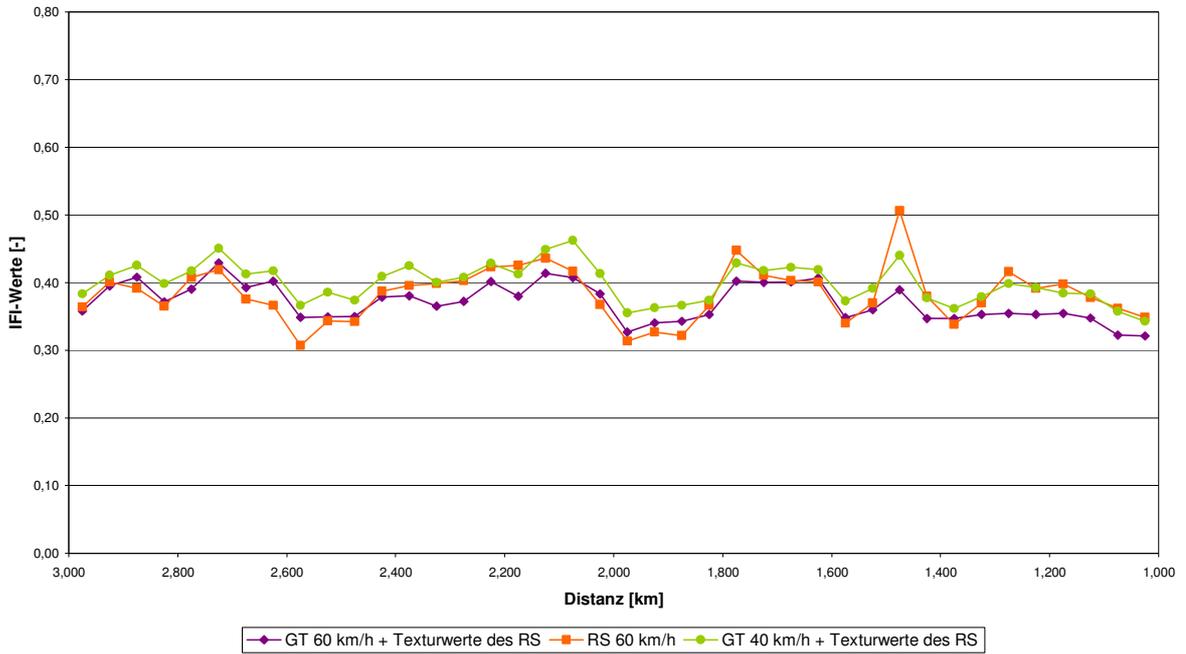


Abbildung C-13: Messstrecke L1374 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1349 km 11,000 bis 13,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

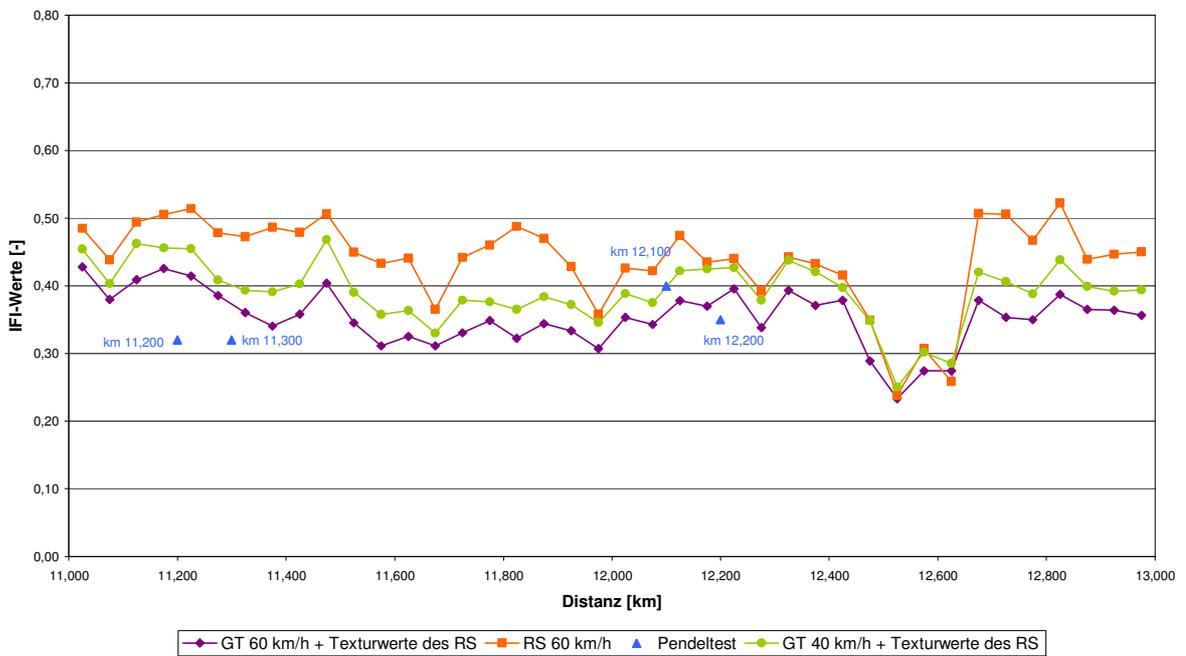


Abbildung C-14: Messstrecke L1349 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1404a km 3,600 bis 5,600: Gegenüberstellung IFI-Werte

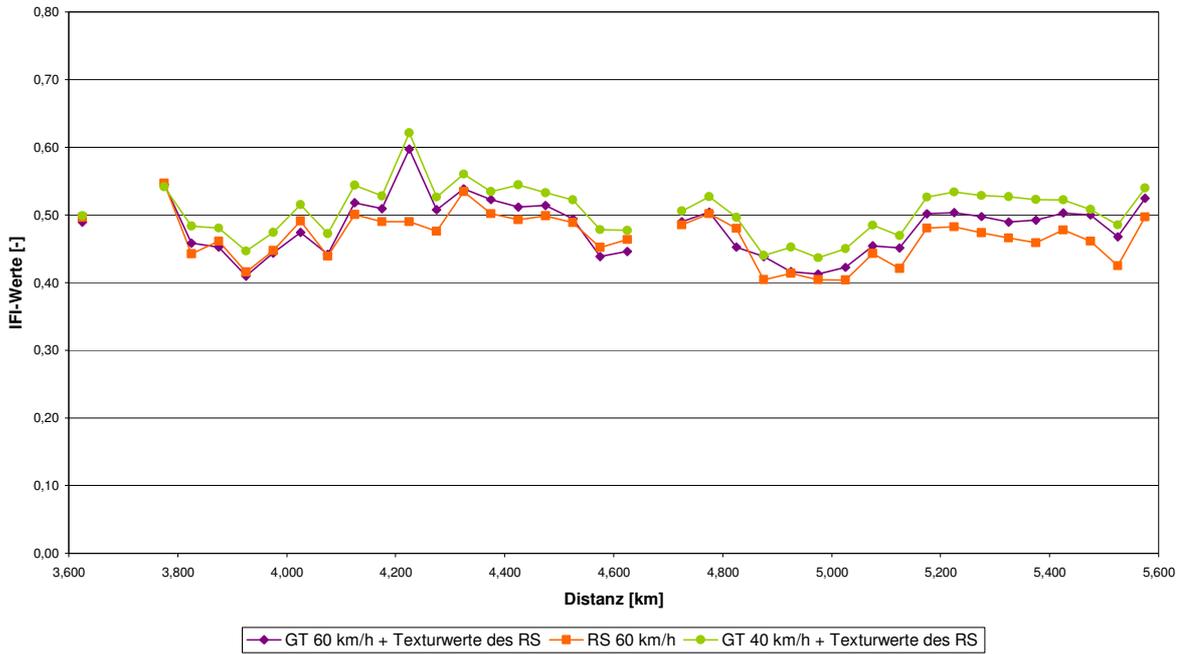


Abbildung C-15: Messstrecke L1404a – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1404b km 8,000 bis 10,000: Gegenüberstellung IFI-Werte

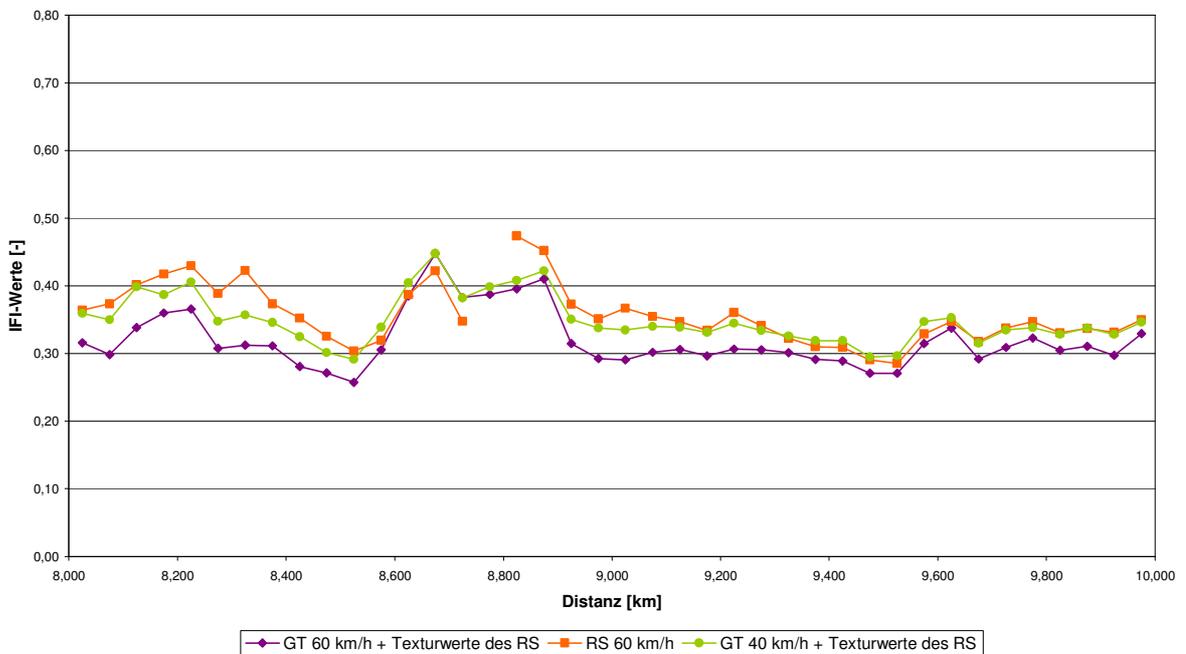


Abbildung C-16: Messstrecke L1404b – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).

L1403 km 5,600 bis 3,600: Gegenüberstellung IFI-Werte

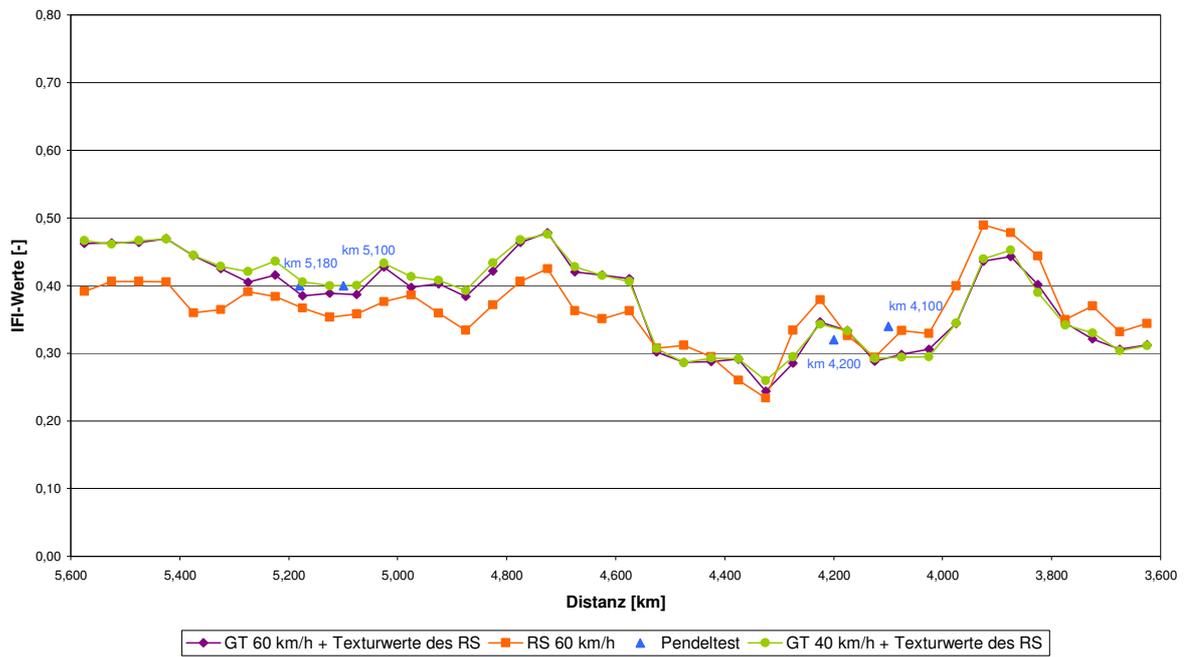


Abbildung C-17: Messstrecke L1403 – Verlauf des Internationalen Friction Index (IFI).