

**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN**

**VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY**

# **DIPLOMARBEIT**

Master's Thesis

## **UNTERSUCHUNG ZUR GRIFFIGKEITSMESSUNG MIT DEM GRIPTESTER**

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 als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

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

**E 233 - Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung**

eingereicht an der

**Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen**

von

Christian Pummer

9431280

Schönburgstraße 20, 1040 Wien

Wien, im November 2008

.....  
(Christian Pummer)

## **VORWORT**

Zuerst 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 Unterstützung und Begleitung während meiner gesamten Diplomandentätigkeit danken.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, Christine und Rudolf, die mich zu jeder Zeit gefördert haben und mir eine unbeschwerte Ausbildung ermöglichten.

Ein großer Dank gilt auch meiner liebevollen Partnerin Eva, die mir während des Studiums stets bemüht zur Seite stand und mir in allen Lebenslagen die nötige Unterstützung und Motivation gibt.

Abschließend widme ich einen ganz besonderen Dank meinem Bruder Michael. Wie sehr würde ich mir wünschen, dass du diese Augenblicke an meiner Seite miterleben könntest.

## **KURZFASSUNG**

### **UNTERSUCHUNG ZUR GRIFFIGKEITSMESSUNG MIT DEM GRIPTESTER**

Eingangs wird die Griffigkeit als wesentliche Gebrauchseigenschaft der Fahrbahnoberfläche erläutert. In weiterer Folge werden die Einflussfaktoren Textur, Gestein, Deckenart, Witterung, Reifen, Verkehr und Wasserfilmdicke auf die Griffigkeit bzw. den Reibungsbeiwert  $\mu$  einer Fahrbahnoberfläche dargestellt.

Ein besonderes Augenmerk gilt dem Einflussfaktor Wasserfilmdicke, da dieser wesentlich für die Verkehrssicherheit ist. Des Weiteren wird anhand eines Berichtes der Autobahngesellschaft ASFINAG eine Unfallanalyse auf der Autobahn A2 gezeigt. Hier wird ein Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und nasser Fahrbahn verdeutlicht. Anschließend werden die derzeitigen Richtlinien und Vorschriften zur Griffigkeitsmessung in Österreich erläutert.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Messanweisung für das Messsystem GripTester aufgrund der neuen Erfassungssoftware „Roadmanager“ aktualisiert. Weiters wurde die Messgenauigkeit des GripTester für verschiedene Auswerteintervalle untersucht und mit jener des RoadSTAR verglichen.

Zur Ermittlung der Wiederholgenauigkeit wurden Messungen auf Landesstraßen in Oberösterreich, einer Autobahn in Tirol und einer Schnellstraße im Burgenland durchgeführt. Es wurden jeweils eine Reinigungsfahrt sowie Erst- und Wiederholungsmessungen mit 60 km/h und 40 km/h durchgeführt, um einen eventuellen Einfluss der Messgeschwindigkeit herauszufinden.

## **ABSTRACT**

### **SKID RESISTANCE MEASUREMENTS WITH THE GRIPTESTER**

In the beginning of this master's thesis, the skid resistance is described as an essential property of the pavement surface. The influential aspects as roughness, rock, wearing course, atmospheric conditions, tire, traffic, and water film thickness and their impact on the skid resistance are discussed in detail.

Also the special importance of water film thickness for the road safety is stressed. In addition, an analysis of accidents on the motorway A2 is presented on the basis of a report by the ASFINAG company. It demonstrates a connection between accidents and wet wearing courses. Subsequently, the current guidelines and regulations concerning the measurement of skid resistance in Austria are described.

In the context of this master's thesis, the measuring instructions for the measuring system GripTester is updated with regard to the new recording software "roadmanager". Moreover, the measuring accuracy for different evaluation intervals of the GripTester is examined and compared to the RoadSTAR.

To determine the repeatability, measurements on state roads in Upper Austria, on a motorway in Tyrol, and on a federal highway in Burgenland were carried out. On each road measurements with 60 km/h and 40 km/h respectively were performed in order to ascertain a possible influence of the measuring speed on the accuracy of the results.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>FAHRBAHNGRIFFIGKEIT .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>ALLGEMEINES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>WECHSELWIRKUNGEN REIFEN – FAHRBAHN .....</b>	<b>8</b>
2.2.1	Allgemeines.....	8
2.2.2	Mechanismen der Reibung .....	8
<b>2.3</b>	<b>REIBUNGSBEIWERT UND SCHLUPF .....</b>	<b>10</b>
2.3.1	Reibungsbeiwert .....	10
2.3.2	Schlupf .....	11
<b>2.4</b>	<b>EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE GRIFFIGKEIT EINER FAHRBAHNOBERFLÄCHE .....</b>	<b>12</b>
2.4.1	Textur .....	12
2.4.2	Gestein.....	15
2.4.3	Deckenart.....	17
2.4.4	Witterung.....	17
2.4.5	Reifen.....	18
2.4.6	Verkehr .....	20
2.4.7	Wasserfilmdicke .....	20
<b>2.5</b>	<b>ZUSAMMENHANG ZWISCHEN UNFÄLLEN UND FAHRBAHNZUSTAND .....</b>	<b>25</b>
2.5.1	Allgemeines.....	25
2.5.2	Unfallsituation bei Nässe.....	25
2.5.3	Unfalluntersuchung der ASFINAG .....	26
<b>3</b>	<b>RICHTLINIEN UND NORMEN ZUR GRIFFIGKEIT IN ÖSTERREICH .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>ALLGEMEINES .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>RICHTLINIEN UND VORSCHRIFTEN FÜR DEN STRAßENBAU – RVS .....</b>	<b>30</b>
3.2.1	Messgerät und Messanordnung.....	30
3.2.2	Zeitpunkt der Messungen.....	30
3.2.3	Anforderungen .....	31
3.2.4	Mängel .....	31
3.2.5	Übernahme .....	32
3.2.6	Ende der Gewährleistungsfrist .....	32
3.2.7	Ersatzmessung .....	32
<b>3.3</b>	<b>ROADSTAR MESSSYSTEM .....</b>	<b>33</b>
3.3.1	Allgemeine Beschreibung .....	33
3.3.2	Qualitätssicherung .....	36
<b>4</b>	<b>GRIPTESTER MESSSYSTEM.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>ALLGEMEINE BESCHREIBUNG.....</b>	<b>38</b>
4.1.1	Einsatzbereich.....	39
4.1.2	Betriebsarten.....	39
<b>4.2</b>	<b>TECHNISCHE BESCHREIBUNG DES GRIPTESTERS.....</b>	<b>41</b>

4.2.1	GripTester .....	41
4.2.2	Messreifen.....	43
4.2.3	Bewässerungssystem .....	44
4.2.4	Zugfahrzeug .....	49
4.2.5	Deichsel .....	50
<b>4.3</b>	<b>ANWEISUNG ZUM GEBRAUCH DES GRIPTESTERS .....</b>	<b>52</b>
4.3.1	Anordnung des Messsystems im Zugfahrzeug .....	52
4.3.2	Einstellung am GripTester.....	53
4.3.3	Messdurchführung .....	54
4.3.4	Datenerfassung.....	58
4.3.5	Auswertung der Daten .....	63
<b>4.4</b>	<b>KALIBRIERUNG DES GRIPTESTERS .....</b>	<b>66</b>
4.4.1	Allgemeines.....	66
4.4.2	Kontrolle der Facts .....	67
4.4.3	Schnellüberprüfung .....	68
4.4.4	Kalibrierung.....	69
<b>5</b>	<b>DURCHGEFÜHRTES MESSPROGRAMM.....</b>	<b>75</b>
5.1	ALLGEMEINES .....	75
5.2	MESSSTRECKEN .....	75
5.3	MESSABLAUF .....	76
<b>6</b>	<b>STATISTISCHE AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE .....</b>	<b>79</b>
<b>6.1</b>	<b>ALLGEMEINE STATISTISCHE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>79</b>
6.1.1	Mittelwert $y_{ij}$ .....	80
6.1.2	Standardabweichung $s_{ij}$ .....	81
6.1.3	Wiederholstandardabweichung $s_r$ .....	81
<b>6.2</b>	<b>AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE .....</b>	<b>82</b>
6.2.1	Datenbasis .....	82
6.2.2	Ermittlung der Wiederholstandardabweichung.....	85
<b>6.3</b>	<b>VERGLEICH DER MESSGENAUIGKEIT GRIPTESTER - ROADSTAR .....</b>	<b>87</b>
6.3.1	Messgenauigkeit RoadSTAR .....	87
6.3.1	Messgenauigkeit GripTester .....	88
<b>6.4</b>	<b>INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....</b>	<b>90</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>92</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>96</b>

# 1 Einleitung

Um sich auf Straßen sicher fortzubewegen, ist ein gewisses Maß an Griffigkeit der Straßenoberfläche erforderlich. In der Regel kennzeichnet die Griffigkeit die Wirkung der Textur der Fahrbahnoberfläche auf den Reibungswiderstand im Zusammenspiel mit dem Reifen.

In Österreich werden seit 1965 systematisch mit dem Stuttgarter Reibungsmesser Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Heutzutage wird das hochrangige Straßennetz mit dem RoadSTAR, einem Messsystem, das sowohl Griffigkeit, Querebenheit, Längsebenheit und Textur misst, erfasst. Diese Messergebnisse dienen zur Kontrolle der Grenzwerte der Gebrauchseigenschaften einer Fahrbahn, welche in den Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS 13.01.15, [1]) verankert sind.

Auch die Griffigkeit des niederrangigen Straßennetzes soll bei Bedarf (z.B. Untersuchungen von Unfallhäufungspunkten) durch Messungen erfasst werden. Dazu bietet sich als ergänzendes Gerät zum RoadSTAR das Griffigkeitsmesssystem GripTester an. Der GripTester ist ein kompaktes Messgerät zur dynamischen Ermittlung der Griffigkeit, welcher durch eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten z.B.: auf Landesstraßen oder Gehsteigen, eine Alternative zum RoadSTAR bietet.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird das Griffigkeitsmesssystem GripTester erläutert. Anhand von Wiederholungsmessungen wird die Messgenauigkeit des GripTesters ermittelt und mit jener des RoadSTAR verglichen.

## 2 Fahrbahngriffigkeit

### 2.1 Allgemeines

Der Begriff „Griffigkeit“ kennzeichnet die Wirkung der Textur und der stofflichen Beschaffenheit einer Fahrbahnoberfläche auf den Reibungswiderstand des Fahrzeugreifens unter festgelegten Randbedingungen wie Nässezustand der Fahrbahnoberfläche, Reifenmerkmale, Fahrgeschwindigkeit und Temperatur.

Die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche ist eine maßgebende Einflussgröße für den Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn. Sie wird geprägt durch die Textur, das heißt durch die Makro- und Mikrotextrur der Straßenoberfläche. Die Textur ist jedoch keine konstante Größe, sondern sie kann sich im Laufe der Zeit verkehrs- und witterungsabhängig verändern. Beim Bau der Straßendeckschicht ist es daher besonders wichtig, möglichst gute und dauerhafte Griffigkeitswerte zu erreichen.

Als Grundlage für die Bewertung der Griffigkeit wird unter Vorgabe von konstant gehaltenen Bedingungen ein Reibungsbeiwert in Abhängigkeit vom jeweils gewählten Messsystem gemessen. Das tatsächliche Kraftschlussvermögen kann bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen bzw. bei Kurvenfahrten im Einzelfall von dem die Griffigkeit kennzeichnenden Reibungskoeffizienten abweichen, da die idealisierten Randbedingungen in der Praxis nur in sehr engen Grenzen auftreten.

Griffigkeitsanforderungen an neue Fahrbahnoberflächen, d.h. für die Abnahme und für die Zeitspanne bis zum Ablauf der Gewährleistungsfrist werden in Österreich seit 2005 durch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) [2] bzw. seit Anfang 2007 in den Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS) [3, 4] geregelt. Die Anforderungen sollen im Sinne guter Vorhaltewerte möglichst hoch festgelegt werden. Baustoffe, Baustoffgemische und Herstellung der Fahrbahnoberfläche müssen darüber hinaus möglichst lange ein hohes Griffigkeitsniveau sicherstellen. Diese Anforderungen liegen im Interesse einer dauerhaften Gebrauchstauglichkeit, um verkehrsbeeinträchtigende Erhaltungsmaß-

nahmen zur Wiederherstellung einer ausreichenden Griffigkeit zu vermeiden. Die vertraglichen Beschaffenheitsvereinbarungen für die Herstellung einer griffigen Fahrbahnoberfläche legen ausschließlich bautechnische Mindestanforderungen fest.

## **2.2 Wechselwirkungen Reifen – Fahrbahn**

### **2.2.1 Allgemeines**

Die Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn ist Teil eines komplexen, vernetzten Gesamtsystems mit Wechselwirkung. Das System lässt sich als Prozess der Interaktion zwischen Reifen und Fahrbahn mit entsprechenden Ein- und Ausgangsgrößen beschreiben. Die Komplexität dieses Prozesses ergibt sich aus der Vielzahl der Einflussgrößen, die den Kraftübertragungsprozess bestimmen. Zusätzlich überlagern und beeinflussen sich viele der Einflussparameter gegenseitig. Man unterscheidet hierbei zwischen:

- Adhäsion
- Hysterese
- Reißen
- Abrieb

wobei die letzten beiden Komponenten als Folge des Verschleißes stehen [5].

### **2.2.2 Mechanismen der Reibung**

Die Kontaktverhältnisse zwischen Reifen und Fahrbahn sind von grundlegender Bedeutung für die Reibung als Resultat der Überlagerung der beiden Effekte Adhäsion und Hysterese (siehe Abb. 2-1) [6].

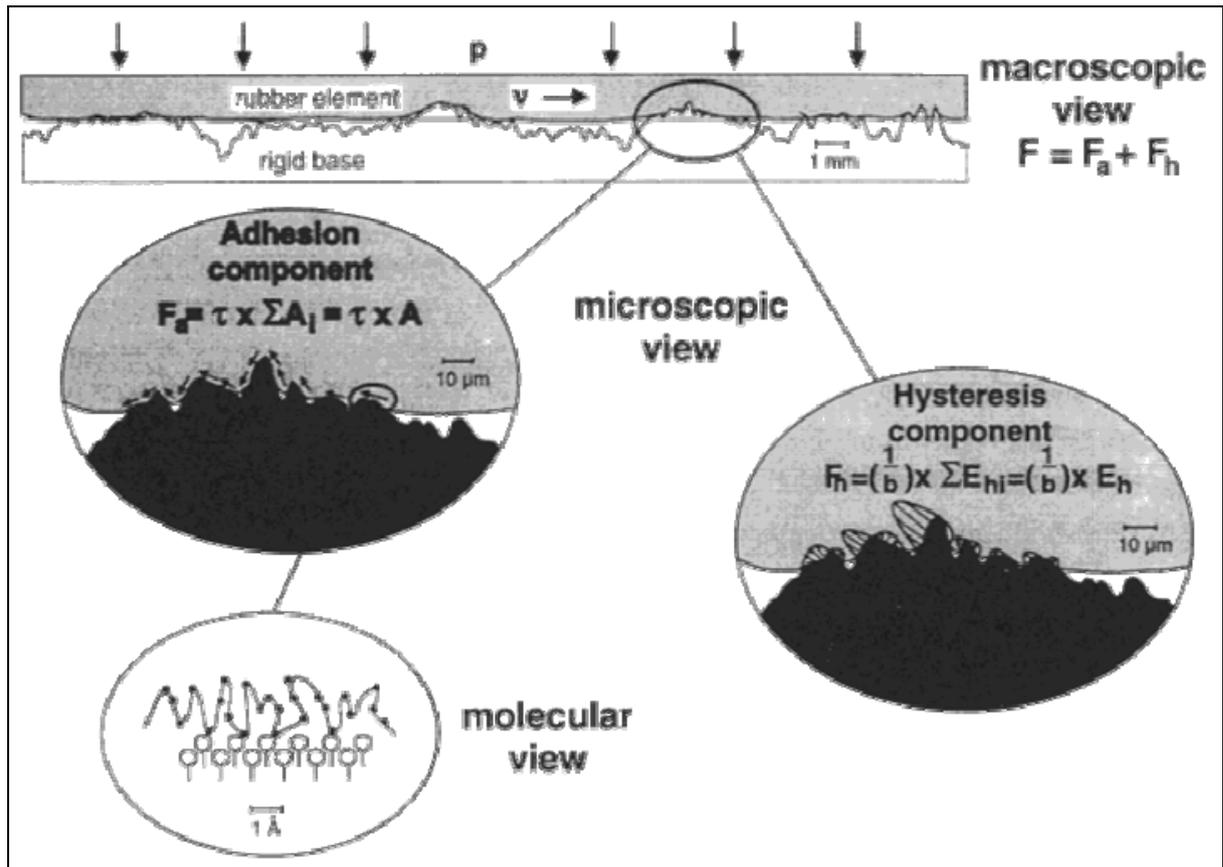


Abb. 2-1: Hauptkomponenten der Reibung: Adhäsion und Hysterese [7]

Die Adhäsionskomponente wird auch als Oberflächenkomponente der Reibung bezeichnet. Die Adhäsionskraft  $F_a$  ist das Produkt aus der Schubspannung  $\tau$  in der Grenzschicht und der tatsächlichen Berührfläche  $A_i$  des Gummis mit dem jeweiligen Rauheitselement  $i$  [6].

$$F_a = \tau \sum_1^N A_i = \tau A_{act} \quad \text{Gleichung 2-1}$$

Die Hysterese ist auf die Dämpfungsverluste im Inneren des Reifens zurückzuführen. Sie entsteht beim Gleiten des Gummielements über eine Rauheit durch eine vertikal zur Kontaktfläche erfolgende Deformation des Gummis. Aus dem Energieverbrauch  $E_{hi}$ , der durch das Rauheitselement  $i$  je Einheit  $b$  der Gleitlänge verursacht wird, ergibt sich die Hysteresekraft  $F_h$ .

$$F_h = \left(\frac{1}{b}\right) \sum_1^N E_{hi} = \left(\frac{1}{b}\right) E_h = \frac{QD}{b} \quad \text{Gleichung 2-2}$$

$E_h$	QD
$E_{hi}$	Energieverbrauch
$b$	Gleitlänge
$Q$	Volumen des an der Deformation beteiligten Gummis
$D$	Energieverbrauch durch Dämpfung je Volumeneinheit

Aus der Überlagerung von Adhäsions- und Hysterese kraft ergibt sich die gemessene Reibungskraft  $F$ :

$$F = F_a + F_h \quad \text{Gleichung 2-3}$$

Der experimentell gemessene Reibungsbeiwert wird also in erster Linie von Hystereseeffekten bestimmt, wenn ein Gummikörper über eine grobkörnige, aus polierten Rauheitselementen bestehende und geschmierte Oberfläche gezogen wird. Hingegen wird der Reibungsbeiwert vor allem durch adhäsive Effekte beeinflusst, wenn ein Gummikörper auf einer sauberen und glatten Oberfläche gleitet.

Deshalb ist die Kenntnis der Kontaktverhältnisse zwischen Reifen und Fahrbahn die Grundvoraussetzung für die Interpretation des Reibungsprozesses [6].

## 2.3 Reibungsbeiwert und Schlupf

### 2.3.1 Reibungsbeiwert

Bei der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn verformt sich der Reifen und kommt mit zunehmender Kraft ins Gleiten. Der Reifen kann die Kraft

$$F = \mu F_z \quad \text{Gleichung 2-4}$$

übertragen. Von wesentlichem Einfluss sind also die Radaufstandskraft  $F_Z$  und der vom Schlupf des Rades abhängende Reibungsbeiwert  $\mu$ .

Der Reibungsbeiwert  $\mu$  gibt prozentual den Anteil der Aufstandskraft an, den der Reifen längs oder quer zur Längsachse auf die Fahrbahn übertragen kann. Er ist definiert als (Abb. 2-2)

$$\mu_B = \frac{F_B}{F_Z} \quad \text{Gleichung 2-5}$$

für Bremsen bzw. als

$$\mu_S = \frac{F_S}{F_Z} \quad \text{Gleichung 2-6}$$

für die übertragbare Seitenkraft [8].

### 2.3.2 Schlupf

Ein angetriebenes oder gebremstes Rad dreht sich schneller bzw. langsamer als beim kräftefreien Abrollen. Der relative Unterschied wird als Schlupf bezeichnet [9].

$$S = \frac{(V_{\text{Fahrzeug}} - V_{\text{Rad}})}{V_{\text{Fahrzeug}}} \cdot 100\% \quad \text{Gleichung 2-8}$$

$V_{\text{Fahrzeug}}$  Relativgeschwindigkeit Fahrzeug  
 $V_{\text{Rad}}$  Relativgeschwindigkeit Rad  
 $S$  Schlupf

Der Schlupf eines Rades hängt vom Fahrzustand ab. Dieser wird über Antriebs-, Brems- und Querkräfte und diese wiederum von den vertikal am Rad wirkenden Kräften bestimmt [8].

Die bei vorgegebenem Schlupf gesamt von einem Reifen auf die Fahrbahn übertragbare Kraft ist über den Schräglaufwinkel, den Winkel zwischen Längsrichtung des Rades und Bewegungsrichtung des Radmittelpunktes, annähernd konstant und lässt sich in Brems/Antriebs- und Seitenführungskräfte aufteilen – KAMM'SCHER REIBUNGSKREIS (siehe Abb. 2-2) [8].

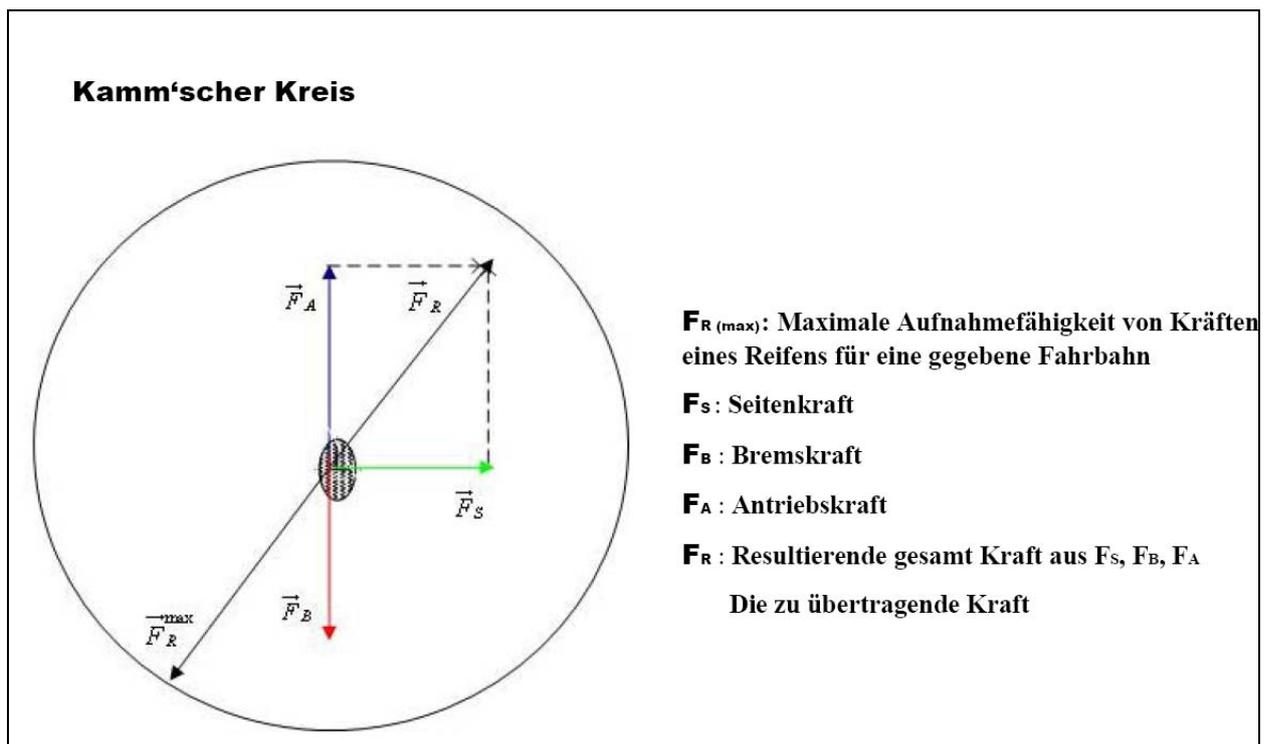


Abb. 2-2: Kamm'scher Reibungskreis [10]

## 2.4 Einflussfaktoren auf die Griffigkeit einer Fahrbahnoberfläche

### 2.4.1 Textur

Die Textur der Straßenoberfläche wird im Wesentlichen eingeteilt in die Mikrotextur (Feintextur, Schärfe, Schärfegrad) und in die Makrotextur. Die Mikrotextur wird gebildet von Körnungen entsprechend kleiner Durchmesser bzw. liegt sie als so genannte Kantenschärfe größerer Körner vor [11]. Die Größenordnungen der Mikrotextur liegen im 1/10-mm-Bereich. In [12] werden zum Beispiel der Mikrotextur Rauheitselemente

zugerechnet, die kleiner als 0,05 mm sind, wobei Elemente bis hinab zu 0,005 mm Größe für die Messung der Griffigkeit als noch wirksam angegeben werden.

Sinngemäß beginnt die Makrotextur mit Abmessungen des Kornes und der Zwischenräume ab der Obergrenze der Mikrotextur und erreicht bei etwa 1,0 mm Rautiefe ihren größtmöglichen Einfluss auf die Griffigkeit. Wie schon Laboruntersuchungen auf Modelloberflächen ergeben haben, wird die Höhe der Griffigkeitsbeiwerte bei niederen Geschwindigkeiten (bis etwa 50 km/h) vor allem vom Schärfegrad der Straßenoberfläche bestimmt, während die Makrotextur erst mit steigender Geschwindigkeit an Einfluss gewinnt. Sie ist verantwortlich für das Maß, um das die Reibungsbeiwerte bei Nässe mit zunehmender Geschwindigkeit absinken. Das bedeutet, dass für das Erreichen einer guten Griffigkeit bei höheren Geschwindigkeiten eine gute Ausbildung sowohl der Mikrotextur als auch der Makrotextur eine grundlegende Voraussetzung ist. Die Makrotextur sorgt hierbei, neben dem Reifenprofil, für die Wasserdrainage, während erst die feinen Kanten und Spitzen der Mikrotexturelemente den letzten dünnen Wasserfilm durchstoßen und so einen gleichsam „trockenen“ Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn herstellen [13].

Die prinzipiellen Auswirkungen der Strukturierung der Oberfläche auf die Griffigkeit zeigt Abb. 2-3.

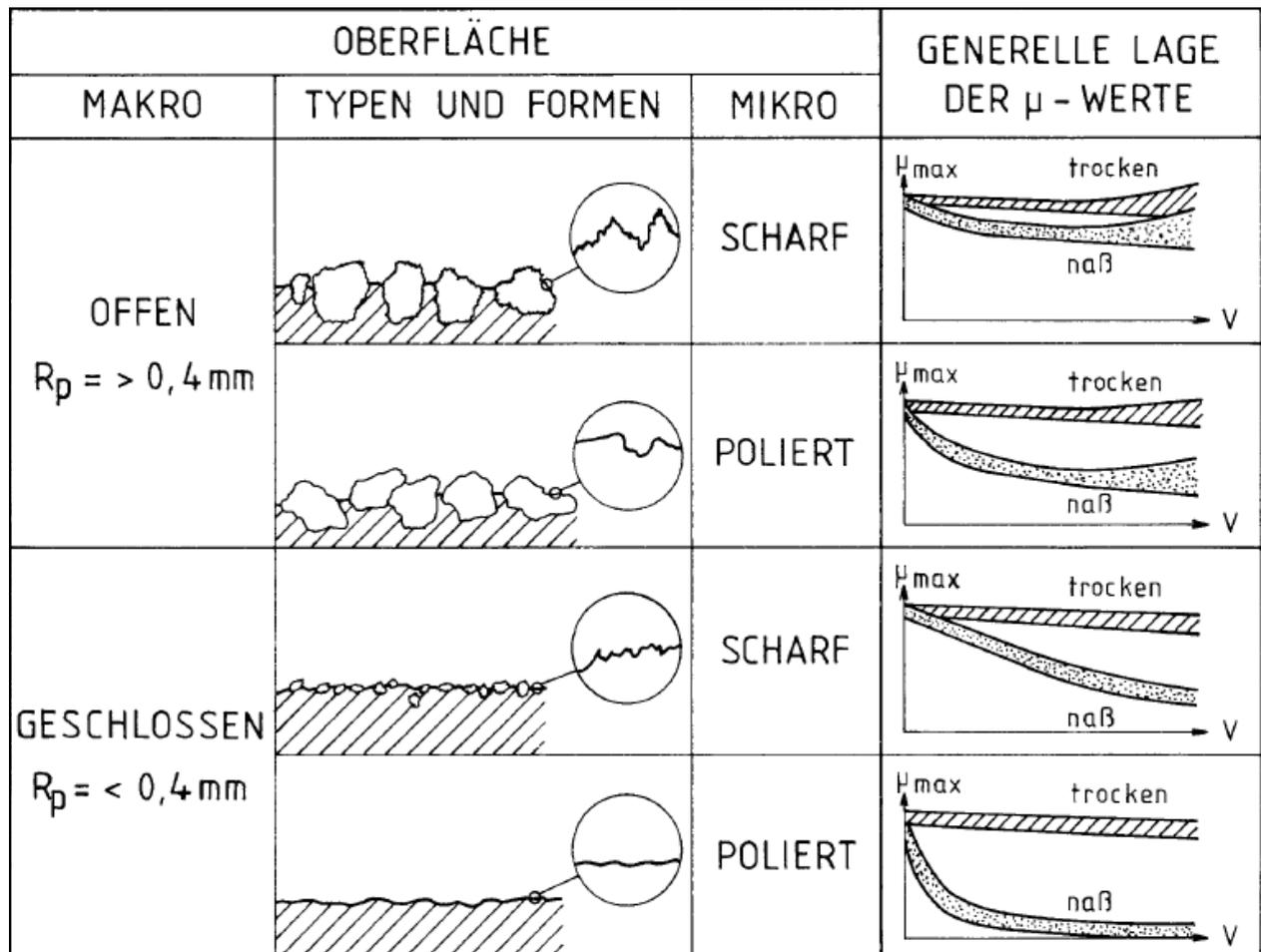


Abb. 2-3: Auswirkungen der Oberflächenstruktur auf den Reibungskoeffizienten [15]

Die Makrotextur beeinflusst das Drainagevermögen der Straßenoberfläche, wodurch Wasser möglichst schnell von der Reifenaufstandsfläche abgeführt werden kann. Bei einer nassen Fahrbahn wirkt sich eine offene Makrotextur vor allem bei hohen Geschwindigkeiten positiv auf den Reibungskoeffizienten aus (siehe Abb. 2-3), wobei jedoch nur Rauheitselemente bis zu 10 mm durch ihre Drainagewirkung die Griffigkeit beeinflussen [16, 17].

### 2.4.2 Gestein

Zur Erreichung der erforderlichen Griffigkeit und zu deren längerfristigen Erhaltung unter der Verkehrseinwirkung sind in nicht unbedeutendem Maße auch die physikalischen Eigenschaften der im Deckschichtbau verwendeten Gesteine von Bedeutung. Neben der Härte der einzelnen Minerale, der Verbandsfestigkeit, Oberflächenrauheit, Kantigkeit, Kornform, Korngröße und Kornverteilung hat vor allem auch das Polierverhalten starke Auswirkungen auf das Langzeitgriffigkeitsverhalten von Fahrbahnen.

Eine Untersuchung [18] von 24 Gesteinen, die im österreichischen Straßenbau verwendet werden, beschäftigte sich mit dem Problem der Polierbarkeit von Straßenbaustoffen. Mit dem umgerüsteten SRT-Pendelgerät (Skid Resistance Tester) wurden Probekörper vor und nach dem Poliervorgang gemessen.

Die Ergebnisse in Tabelle 2-1 zeigen, dass saure Gesteine den besten, Kiese und Karbonatgesteine, Dolomiten und dolomitische Kalke den schlechtesten Reibungsbeiwert ergaben.

Gesteinsart	Reibungsbeiwert		Differenz Reibungsbeiwert vor und nach dem Polieren	Verschlechterung des Reibungsbeiwertes nach dem Polieren bez. Auf RBW vor dem Polieren in %
	vor Polieren	nach Polieren		
Diabas 1	0,63	0,54	0,09	14,3
Granit 1	0,67	0,54	0,13	19,4
Diabas 2	0,69	0,54	0,15	21,7
Pophyrit- Kersantit	0,73	0,54	0,19	26,0
Basalt 1	0,78	0,54	0,24	30,8
Granulit	0,74	0,53	0,21	28,4
Serpentin-Dunit- Bronzitit	0,65	0,52	0,13	20,0
Kieselkalk	0,68	0,51	0,17	25,0
Granit	0,64	0,50	0,14	21,9
Basalt 2	0,67	0,50	0,17	25,4
Diabas	0,61	0,49	0,12	19,7
Kies	0,68	0,49	0,19	27,9
Kies	0,65	0,48	0,17	26,2
Kieselkalk	0,76	0,47	0,29	38,2
dol. Kalk	0,69	0,46	0,23	33,3
Kieselkalk	0,72	0,45	0,27	37,5
Kies	0,63	0,44	0,19	30,2
Kieselkalk	0,68	0,44	0,24	35,3
Kies	0,68	0,44	0,24	35,3
dol. Kalk	0,66	0,41	0,25	37,9
Kalk 1	0,70	0,41	0,29	41,4
Kies 1	0,61	0,40	0,21	33,4
Kalk 2	0,64	0,39	0,25	39,1
Kalk 3	0,67	0,39	0,28	41,8

Tab. 2-1: Polierbarkeit von Gesteinssplitten nach British Standard 812:1967, mit dem SRT - Pendelgerät ermittelte Reibungsbeiwerte vor und nach dem Polieren, geordnet nach Werten nach dem Polieren [18]

Vor allem der Anteil und die Korngröße der größten Kornfraktion des verwendeten Gesteins haben einen wesentlichen Einfluss auf die Griffigkeit [19], denn mit der Zunahme der Einzelkorndurchmesser in den Deckschichten erhält die Empfindlichkeit der Mineralstoffe gegen Polieren eine steigende Bedeutung [20].

### 2.4.3 Deckenart

Neben dem Gestein als solchem ist auch die Zusammensetzung der Decke als Ganzes zu betrachten. Grundsätzlich kann dabei zwischen Beton- und Asphaltdecken unterschieden werden.

Für Betondecken kann gesagt werden, dass der Einfluss der Zusammensetzung auf die Griffigkeit geringer ist als die Art der Oberflächengestaltung. Jedoch spielt natürlich auch der Mörtel für die Mikrotextur der Fahrbahn eine Rolle. Dabei erweist sich die Härte der Sandkörner des Mörtels als wesentlicher Faktor [20]. Je mehr allerdings der Mörtel abgefahren wird und die Zuschläge an der Oberfläche erscheinen, werden deren Eigenschaften, insbesondere deren Polierbarkeit, in zunehmender Weise bestimmend für die Griffigkeit der Fahrbahn.

Bei Asphaltdecken wirken sich härtere Bindemittel günstig auf die Griffigkeit aus [20]. Ein niedrigviskoses Bindemittel erlaubt nämlich ein stärkeres Eindringen der Splittkörner in die Oberfläche und kann somit zu einer Verminderung der Griffigkeit führen.

Daher erscheint eine Aussage, ob Asphalt- oder Betondecken hinsichtlich der Griffigkeit zu bevorzugen sind, nicht sinnvoll, dazu ist der Einfluss der Deckenart gegenüber anderer Parameter zu gering [20].

### 2.4.4 Witterung

Neben den unmittelbar erkennbaren negativen Auswirkungen von Schnee, Matsch oder Glatteis im Winter, zeigt vor allem Regen einen deutlichen Einfluss auf die Reibungsverhältnisse zwischen Fahrbahn und Reifen. Durch die mit einem Regenereignis einhergehende Annässung der Fahrbahn wird einerseits die Griffigkeit gegenüber trockenen Verhältnissen deutlich vermindert, andererseits bewirkt jedoch häufiges Auftreten von Regen langfristig eine Griffigkeitserhöhung von Straßenoberflächen [13].

Bei Vergleichsuntersuchungen zwischen überdachten (also niederschlagsfreien) und offenen Straßenstücken zeigte sich, dass unter Einwirkungen von „saurem“

Regenwasser sowohl bei bituminösen Decken als auch bei Betondecken ein merklicher Anstieg der Griffigkeit zu erkennen war [17].

Bei beiden Deckenarten war eine Verbesserung der Mikrotextur infolge des Einflusses von Regenwasser feststellbar, die jedoch bei den bituminösen Decken ein höheres Maß erreichte [13].

#### **2.4.5 Reifen**

Der Reifen ist eine Kompromisslösung zwischen den vielfältigen, sich teilweise widersprechenden Forderungen nach:

- größerem Fahrkomfort,
- ausreichender Tragfähigkeit,
- Eignung für hohe Geschwindigkeiten,
- bessere Reibung auf trockenen und auf nassen Fahrbahnen, in tangentialer wie in seitlicher Richtung,
- geringer Rollwiderstand,
- geringerer Abrieb,
- geringere Geräuschentwicklung.

Als Einflussfaktoren der Reibung Reifen/Fahrbahn gelten dabei in erster Linie [21]:

- die Gummimischung,
- Bauart der Karkasse,
- Laufflächenprofil,
- Reifeninnendruck,
- Radlast.

Zwei Materialeigenschaften der Gummimischung ergeben sich dabei als von hauptsächlicher Bedeutung, die Hysterese und die Härte.

Gummimischungen mit größerem Hysteresevermögen und/oder mit geringerer Härte führen zu größeren Reibungsbeiwerten bei Nässe.

Bei der Bauart der Karkasse (Unterbau), siehe Abbildung 2-4, diagonal oder radial, mit Stahlcord-, Fiberglas- oder Textilgürtel, erweist sich das tangentielle Reibungsverhalten als von vernachlässigbarer Bedeutung, sofern die Gummimischung und die Laufflächenprofile identisch sind.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Laufflächenprofile im Allgemeinen karkassenspezifisch gestaltet werden.

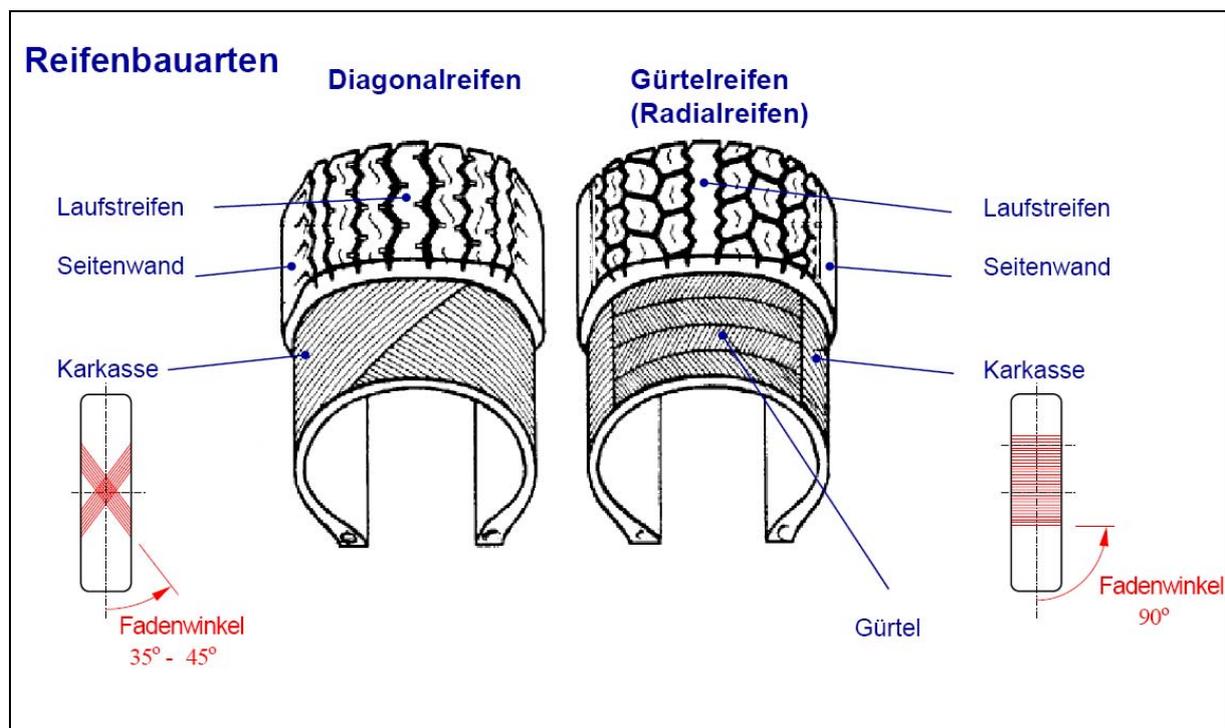


Abb. 2-4: Reifenbauarten [22]

Für die Drainage des Wassers ist das Laufflächenprofil in der Aufstandsfläche, insbesondere auf Fahrbahnen mit geringer Makrotextur, maßgebend [21].

Die eigentliche Wasserverdrängung erfolgt durch Längsrillen, die mit Querrillen, welche diese Funktion unterstützen, verbunden sein können. Die Querrillen können aber auch innerhalb der Rippen zwischen den Längsrillen enden, ohne diese zu verbinden.

Das Profilvermögen, gebildet aus dem Produkt der Profiltiefe und der durch Längs- und Querrillen innerhalb der Reifenaufstandsfläche gebildeten Leerfläche ist für die

Wasserverdrängung maßgebend – je größer diese Volumen wird, desto besser erfolgt in der Regel die Verdrängung des Wassers aus der Reifenaufstandsfläche.

Diese Reifenaufstandsfläche und damit die Wasserverdrängung hängen vom Reifeninnendruck ab. Mit größer werdendem Reifeninnendruck wird die Reifenaufstandsfläche kleiner, das heißt, die Kontaktfläche wird kleiner und dafür muss weniger Wasser verdrängt werden [21].

#### **2.4.6 Verkehr**

Durch die Verkehrsbeanspruchung wird die Straßenoberfläche auf vielfältige Weise verändert. Zu Beginn ist bei Asphaltstraßen der Einfluss der Verkehrsbeanspruchung positiv, da die bindemittelumhüllten Gesteinsflächen freigelegt werden [23].

Im Allgemeinen überwiegen die ungünstigen Auswirkungen des Verkehrs auf die Griffigkeit, wobei die Polierneigung der Mineralstoffe eine Verminderung des Griffigkeitsniveaus bewirkt.

So kommt es bei bituminösen Deckschichten durch die Verkehrsbeanspruchung zu einer Nachverdichtung, das heißt, die oberflächlichen Poren werden geschlossen und die Splitte werden in die Mastix eingedrückt. Dies führt zu einer Verminderung der Makrotextur und in folge zu einer Reduktion der Griffigkeit.

Sowohl bei Asphalt- als auch bei Betondecken nimmt die Griffigkeit hauptsächlich während der ersten Zeit, ein bis zwei Jahre, nach Inbetriebnahme stark ab und pendelt sich anschließend um ein von der Verkehrsbelastung abhängiges Griffigkeitsniveau ein [24].

#### **2.4.7 Wasserfilmdicke**

##### **Definition der Wasserfilmdicke**

Die Straßenoberfläche muss zur Erzielung eines möglichst hohen Kraftschlusses eine mehr oder weniger raue Oberfläche (Makro- und Mikrotextur) aufweisen. Da die auftretenden Wasserfilmdicken im Verhältnis zu den Abmessungen der texturbedingten Unebenheiten (Rauhigkeit) etwa gleich sind, ist eine exakte Definition der

Wasserfilmdicke kaum möglich. Einzig die Definition auf der Basis von Wassermengenbetrachtungen ist Ziel führend [25].

Bezüglich der Definitionen, die am meisten Bedeutung gewonnen haben, kann zusammenfassend festgehalten werden:

- Die *rechnerische* Wasserfilmdicke ist derzeit Grundlage für die Messverfahren zur Beurteilung des Kraftschlussvermögens. Bei Messfahrten ist sie zur Feststellung der Griffigkeit der Fahrbahn sehr gut geeignet. Eine differenzierte Beurteilung des Fahrbahnzustandes bei Nässe ist mit Hilfe der rechnerischen Wasserfilmdicke allerdings nicht möglich.
- Die *bezogene* Wasserfilmdicke liefert lokale Informationen über den jeweiligen Nässezustand:

$d < 0$ : die Rautiefen sind teilweise mit Wasser gefüllt

$d = 0$ : die höchsten Rauspitzen sind gerade mit Wasser bedeckt

$d > 0$ : die Rauspitzen sind mit einem Wasserfilm überdeckt

- Die *maßgebende* Wasserfilmdicke beschreibt für einen Fahrbahnquerschnitt die durchschnittliche Wasserfilmdicke. Sie erfordert eine Vereinbarung über den Parameter der Kugelhüllfläche und einen erheblichen Messaufwand.
- Die *kritische* Wasserfilmdicke geht davon aus, dass das Kraftschlussvermögen zwischen Reifen und Fahrbahn bei Nässe so weit verringert ist, dass keine Antriebs-, Brems- oder Seitenkräfte mehr übertragen werden können und Aquaplaning eintritt.

Für die geringsten Wasserfilmdicken ist der Begriff „feucht“ in Gebrauch [25].

Mit dem Auftreten von Wasser auf der Fahrbahnoberfläche ändern sich die Reibungsverhältnisse grundlegend. Prinzipiell kann festgestellt werden, dass ein

Wasserfilm in Abhängigkeit von seiner Dicke immer eine Verringerung der Griffigkeit bewirkt [13].

Im „3-Zonen- Modell“, ein Modell zur Erklärung des Einflusses von Wasser auf die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn, wird die Reifenauflandsfläche in drei Zonen (siehe Abb. 2-5) unterteilt.

#### Zone A – geschlossener Wasserfilm

In diesem vorderen Bereich der Kontaktfläche berührt der Reifen den stationären Wasserfilm der die Fahrbahn bedeckt, und drückt den Hauptteil des Oberflächenwassers beiseite oder in Rillen bzw. Zwischenräume der Straßenoberfläche und der Reifenauflandsfläche. In dieser Zone, in der ein geschlossener Wasserfilm herrscht, ist der wirksame Reibungskoeffizient praktisch gleich null.

#### Zone B – Übergangsbereich

Auf die Zone A folgt ein Bereich, in dem der Schmierfilm, der an seiner dicksten Stelle weniger als einige Hundertstel mm dick ist, teilweise durchbrochen wird. Hier vollzieht sich ein Übergang von Bedingungen der Schmierung zu denen des physikalisch trockenen Kontaktes zwischen dem Gummi, der Reifenauflandsfläche und den Rauheitselementen der Straßenoberfläche. Der wirksame Reibungskoeffizient in dieser Zone liegt zwischen dem bei vollkommener Schmierung und dem bei trockener Fahrbahn und hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab.

#### Zone C – Bereich trockenen Kontakts

In diesem Bereich ist der Schmierfilm vollständig durchbrochen, und der Gummi der Reifenauflandsfläche kommt in trockenen Kontakt mit der Straßenoberfläche. Hier sind die Bedingungen der trockenen Reibung vorherrschend. Der Hauptteil der gesamten Reibungskraft des Reifens wird in dieser Zone entwickelt. Trotzdem sind auch in dieser Zone die tatsächlichen Reibwerte wegen benetzender Restwassermengen kleiner als auf trockener Fahrbahn [25].

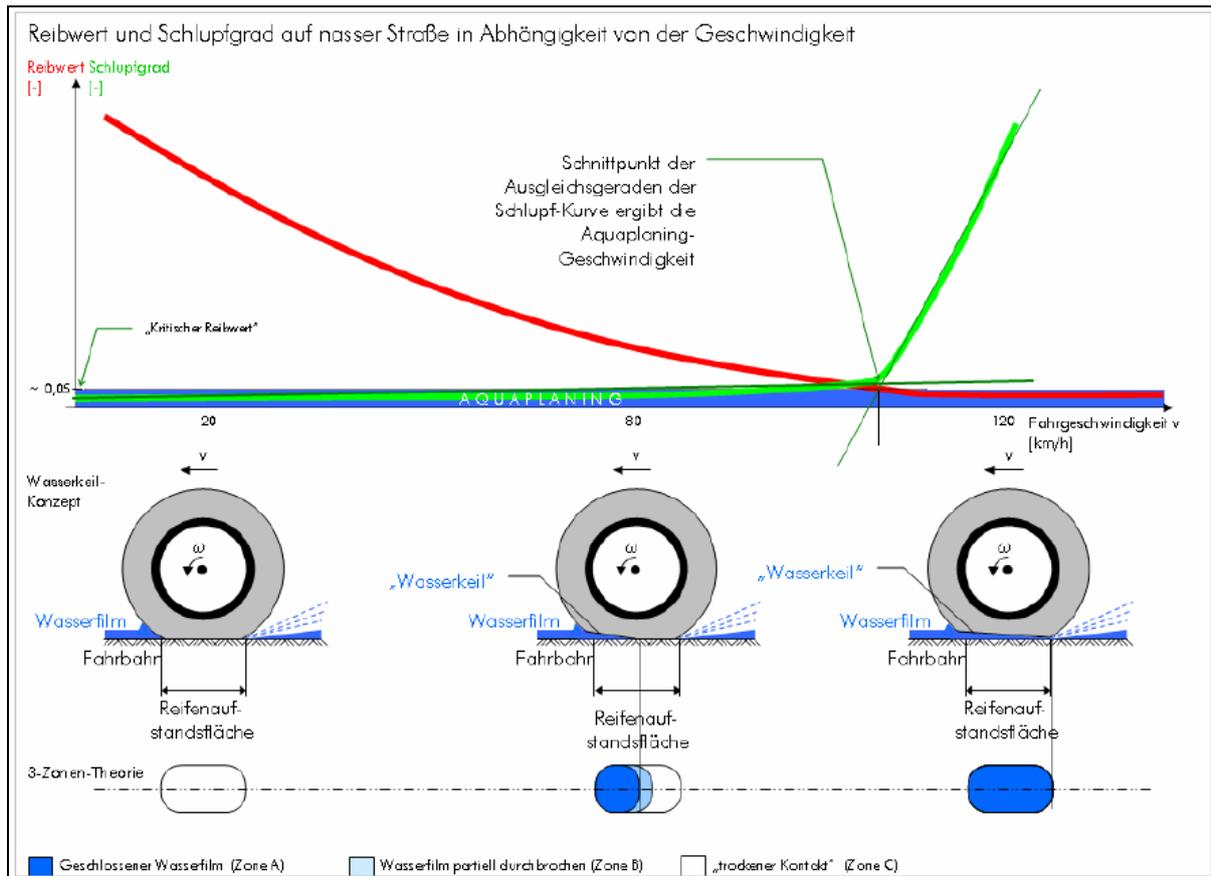


Abb. 2-5: „3-Zonen-Modell“ [26]

### Definition Aquaplaning

Das Auftreten von Aquaplaning, d.h. das vollständige Aufschwimmen des Reifens, stellt den Grenzfall des mit dem Dreizonenmodell erklärten Vorgangs der Verminderung des Kraftschlusses infolge von Fahrbahnnässe dar. Dabei schiebt sich das Wasser als trennendes Medium vollständig zwischen Reifen und Fahrbahn, die Zone A erstreckt sich über die gesamte Reifenauflandfläche (siehe Abb. 2-5).

Aquaplaning beschreibt alleine die Vorgänge in der Verdrängungszone, die eine völlige Trennung von Reifenauflandfläche und der Fahrbahnoberfläche bewirken, ist also dem Wesen nach ein hydrodynamisches Strömungsproblem. Zum Unterschied davon ist die Übertragung von Umfangs- und Seitenführungskräften in der übrig bleibenden Kontaktzone, aus der ein restlicher dünner Wasserfilm nicht mehr verdrängt werden kann, als Berührungsproblem der Grenzreibung anzusehen.

Die Voraussetzung für das Auftreten von Aquaplaning ist aufgrund der Einflüsse von Wasserfilmdicke, Radlast, Reifeninnendruck, Reifenprofil und Fahrbahnoberfläche quantitativ außerordentlich schwierig zu bestimmen [25].

In den österreichischen Richtlinien für Linienführung von Straßen RVS 03.03.23 [27] wurde aus entwässerungstechnischen Gründen eine Mindest- und Regelquerneigung von Fahrbahnen in der Geraden und für große Radien von  $q_{\min} = 2,5 \%$  festgesetzt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Wasserfilmdicke mit zunehmendem Gefälle abnimmt.

Untersuchungen ergaben, dass die Neigung der Fahrbahn zwischen 0 % und 3 % einen großen Einfluss auf die Wasserfilmdicke hat. Darüber hinaus führt eine Erhöhung der Neigung nur noch zu einer geringfügigen Verminderung der Wasserfilmdicke. Dieser Zustand ist durch ein Gleichgewicht zwischen den Abfluss verzögernden und beschleunigenden Kräften je nach Ausmaß der Textur und Abflussmenge bedingt. Bei glatten Fahrbahnbelägen und geringen Abflussmengen stellt sich ein Gleichgewicht bei Neigungen von 1,5 %, bei rauen Fahrbahnbelägen und großen Abflussmengen bei etwa 3 % ein [25].

Die relative Vergrößerung der Wasserfilmdicke mit zunehmender Länge des Abflussweges ist dabei auf offenen Texturen ausgeprägter als auf geschlossenen (Abb. 2-6) [25].

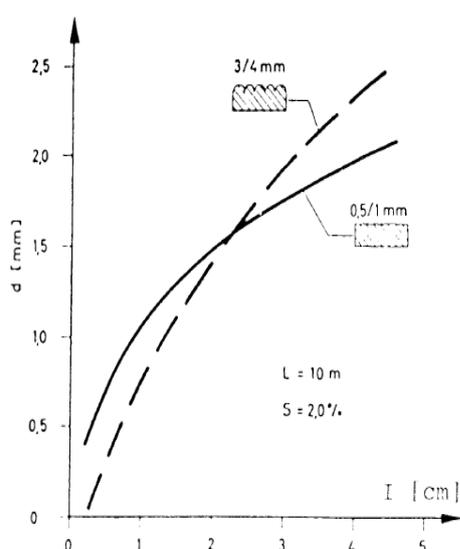


Abb. 2-6: Einfluss der Oberflächentextur auf die Wasserfilmdicke [14]

## 2.5 Zusammenhang zwischen Unfällen und Fahrbahnzustand

### 2.5.1 Allgemeines

Betrachtet man die Ursache für die Entstehung von Unfällen im Allgemeinen, so sind daran im Wesentlichen drei Komponenten beteiligt:

- Fahrer
- Fahrzeug
- Umwelt

Zum Punkt Umwelt gehören auch die Fahrbahnoberfläche sowie die Witterungsbedingungen [25].

### 2.5.2 Unfallsituation bei Nässe

Mehrere Publikationen weisen darauf hin, dass ein erheblicher Anstieg des Unfallrisikos bei nasser Fahrbahn festzustellen ist.

*Dohman* [28] stellte fest, dass sich 20% bis 25% aller Unfälle bei Nässe ereignen und der Sicherheitsverlust bei Nässe dem Faktor 2 nahe kommt. Nach einer Sonderauswertung der PKW-Unfälle mit Personenschaden für Nordrhein-Westfalen für das Jahr 1980 durch *Engels* [29] lag der Nässeanteil bei 31%.

Ähnliche Ergebnisse sind auch aus den USA bekannt. *Satterwaite* [30] stellte in einer Untersuchung für Kalifornien fest, dass das Unfallrisiko dort bei Regen um den Faktor 2 oder mehr erhöht wird. Zu einem Gefährdungsfaktor von 2,2 gelangt *Campell* [31] für West-Virginia. Auch *Hoffmann* [32] kam für Berliner Autobahnen zu einem Faktor 2 für das Unfallrisiko bei Nässe.

In Italien untersuchten *F. Giannini und S. Boccassini* [33] während einer Dauer von vier Jahren Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen, der Makrotextur sowie der Regenintensität und stellten einen Zusammenhang fest.

*Knoflacher* [34] deutete die Auswertung von Unfalldaten darauf hin, dass ein überaus großer Anteil der Unfälle bei Nässe sich entweder zu Beginn oder kurze Zeit nach dem Einsetzen der Regenfälle ereignet.

### **2.5.3 Unfalluntersuchung der ASFINAG**

Eine detaillierte Aussage des Unfallgeschehens zeigt ein Untersuchungsabschnitt auf der A2 der Autobahngesellschaft ASFINAG, wo gezielt Unfallgeschehen und Fahrbahnzustände gegenübergestellt wurden.

Auf längeren Unfallhäufungsbereichen treten in der Praxis vielfach komplexe Unfallursachen auf, sodass nur mit modernsten Methoden der Unfallforschung, wie der Unfallsimulation und Blickforschung, wirksame Analysen möglich sind und effektive Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Basierend auf den geprüften Daten der Unfallanalyse und Unfallauswertung werden im Zuge einer Road-Safety-Inspection mithilfe einer Befahrung und örtlichen Analyse unfallkausale Zusammenhänge erkannt und entsprechende Sanierungsmaßnahmen empfohlen. Als vertiefende Untersuchungsmethode werden mithilfe von modernsten wissenschaftlichen Auswertungsmethoden des CRASH-Unfallsimulationsprogrammes die fahrdynamischen Zusammenhänge aufgeklärt.

Ziel ist es – neben Aussagen zur Entwicklung des Unfallgeschehens – mit Hilfe der modernen Untersuchungsmethoden die besten Sanierungsformen bzw. optimierte Ausstattungsstandards zu finden, damit die vorhandenen Unfallhäufungen zukünftig nicht mehr auftreten.

Von den Ergebnissen sind durch die neuen Untersuchungsmethoden sicherheitstechnische relevante Aussagen über technische Zusammenhänge und das Fahrverhalten zu erwarten, sodass allfällige Sanierungsmaßnahmen für die Straßenlage, Verkehrsführung und Ausstattung möglich werden. Damit ist eine direkte Umsetzung der Ergebnisse in die verkehrsbehördliche Sicherheitsarbeit zur Sanierung allfälliger Unfallhäufungsbereiche gemäß StVO §96/1 durch den Auftraggeber bzw. die Verkehrsbehörde möglich [35].

Die folgenden Unfallzahlen wurden von der Autobahnpolizei Warth zur Verfügung gestellt. Diese beschreiben die Gesamtzahl der Unfallereignisse im Abschnitt von km 67,0 bis km 81,0 der A2 für die Jahre 1999 bis 2005 (Tabelle 2-2). Die ausgewiesenen Zahlen der Personenschadenunfälle (PSU) wurden wiederum dem Unfallanalysesystem (UAS) entnommen.

	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
<i>Trocken</i>	39	46	60	48	58	63	53
<i>Nass</i>	60	44	88	141	52	84	70
<i>Schnee</i>	19	13	4	23	20	9	12
<b>Gesamt</b>	<b>118</b>	<b>103</b>	<b>152</b>	<b>212</b>	<b>130</b>	<b>156</b>	<b>135</b>
<i>davon PSU</i>	23	17	27	35	21	30	25
<i>Anteil PSU [%]</i>	<i>19,5</i>	<i>16,5</i>	<i>17,8</i>	<i>16,5</i>	<i>16,2</i>	<i>19,2</i>	<i>18,5</i>

Tab. 2-2: Unfallzahlen A 2 Wechsel von km 67 bis km 81 in Fahrtrichtung Wien [35]

Die Tabelle 2-2 und die Abbildung 2-7 zeigen eine Zunahme der Gesamtunfallzahlen. Das Maximum wird im Jahr 2002 mit 212 Unfällen in dem 14 Kilometer langen Abschnitt erreicht.

Der Hauptanteil der Unfälle ereignete sich beinahe in allen Jahren auf nasser Fahrbahn. In Tabelle 2-3 sieht man, dass die Personenschadenunfälle zu 50 % bis 70 % beim Fahrbahnzustand nass eintreten.

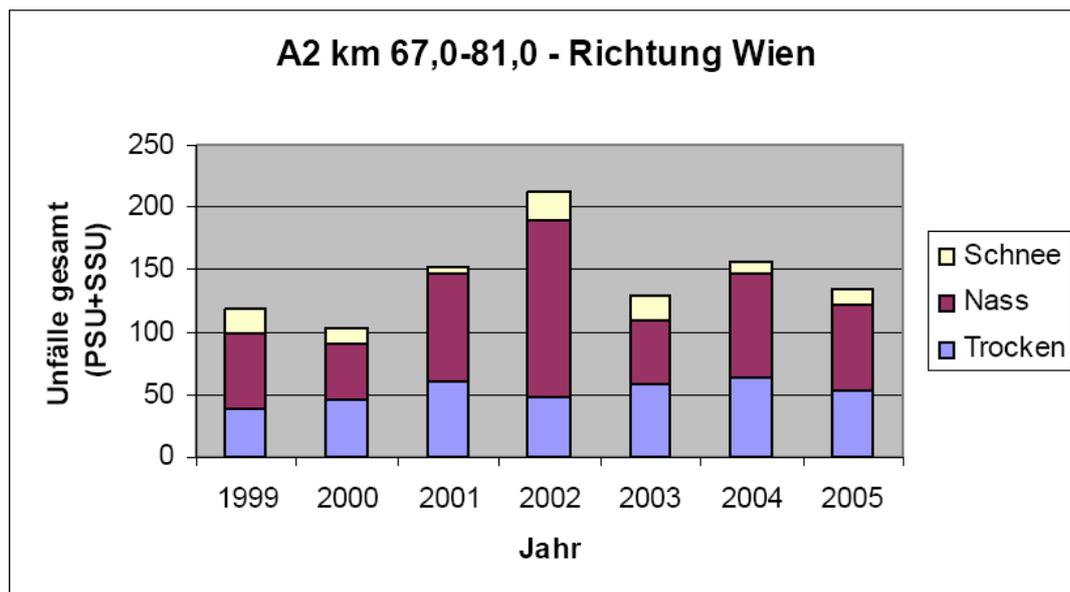


Abb. 2-7: Unfallzahlen A 2 Wechsel Personen- und Sachschäden [35]

<b>Fahrbahn- zustand</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>1.Q 2006</b>	<b>Summe</b>
<b>1 trockene Fahrbahn</b>	7	9	8	11	12	14	5	<b>66</b>
<b>2 nasse Fahrbahn</b>	8	19	23	12	16	12	1	<b>91</b>
<b>3 Sand, Splitt</b>	1	0	0	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>4 Schnee, - matsch</b>	1	0	6	0	1	0	0	<b>8</b>
<b>5 Winterglätte gestreut</b>	0	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>
<b>6 Winterglätte nicht gestreut</b>	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>7 sonst. Zustand</b>	0	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>
<b>Summe</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>38</b>	<b>23</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>6</b>	<b>168</b>
<b>Anteil nass [%]</b>	<b>47,1</b>	<b>67,9</b>	<b>60,5</b>	<b>52,2</b>	<b>53,3</b>	<b>46,2</b>	<b>16,7</b>	

Tab. 2-3: Verteilung der Personenschadenumfälle nach Fahrbahnzustand [35]

## **3 Richtlinien und Normen zur Griffigkeit in Österreich**

### **3.1 Allgemeines**

Die Griffigkeit ist eine maßgebende Gebrauchseigenschaft der Fahrbahnoberfläche, da sie von besonderer Bedeutung für die Verkehrssicherheit ist (siehe Kapitel 2.5). Einerseits muss der Straßenhalter für eine ordnungsgemäße und gefahrlose Benutzbarkeit der Straße sorgen, andererseits muss der Straßenbenützer seine Fahrweise stets den straßenpolizeilichen Vorschriften sowie den Anlage- und Witterungsverhältnissen anpassen.

Der § 1319 a ABGB [53] regelt die Haftung des Straßen- und Wegehalters. Bei einem mangelhaften Zustand der Straße haftet der Straßenhalter aber nur bei Vorsatz oder grober Fahrlässigkeit.

Der § 1319 a ABGB ist aber nicht anzuwenden, wenn der Straßenhalter für die Benützung der Straße ein zivilrechtliches Entgelt verlangt. Durch die Bezahlung einer Maut bzw. Vignette kommt es zu einer vertraglichen Beziehung zwischen dem Straßenbenützer und dem Straßenhalter, wodurch der Halter auch in Fällen leichter Fahrlässigkeit haftet. Außerdem kommt dem Benützer einer Mautstraße oder Autobahn die in § 1298 ABGB vorgesehene Beweislastumkehr zu Gute: der Straßenhalter haftet, wenn er nicht beweisen kann, dass ihn und seine Erfüllungsgehilfen kein Verschulden trifft [54].

## **3.2 Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau – RVS**

Die RVS 08.17.02 [3] für Beton- bzw. die RVS 08.16.01 [4] für Asphaltstraßen schreiben vor, dass die Ermittlung der Griffigkeit gemäß RVS 11.06.65 [36] zu erfolgen hat. Als Grundlage werden die „Ergänzenden Vertragsbestimmungen, Griffigkeitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton“ in der Fassung Dezember 2004 [2] des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie herangezogen.

### **3.2.1 Messgerät und Messanordnung**

Die Griffigkeit der fertigen Oberfläche der Deckschicht von Fahrbahnen im Zuge der Abnahme und vor Ablauf der Gewährleistungsfrist ist mit dem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser, System RoadSTAR gemäß RVS 11.06.65 (siehe Kapitel 3.3) zu ermitteln. Die Messungen sind 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.

### **3.2.2 Zeitpunkt der Messungen**

Griffigkeitsmessungen für die Übernahme sind bis 12 Wochen nach der Verkehrsfreigabe durchzuführen. 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. Griffigkeitsmessungen für die Feststellung allfälliger Gewährleistungsansprüche sind in einem Zeitraum von 16 Wochen bis 4 Wochen vor dem Ende der Gewährleistungsfrist durchzuführen.

Griffigkeitsverbessernde Maßnahmen im Rahmen der Gewährleistung oder Haftung sind innerhalb von 8 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 jahreszeitlich bedingt nicht eingehalten werden können, ist die Griffigkeitsmessung bis zum 31. Mai des Folgejahres unter Wahrung der Haftungsansprüche durchzuführen.

### **3.2.3 Anforderungen**

Der Grenzwert für den Einzelwert eines 50 m-Abschnittes (Auswertelänge 50 m) gemäß RVS 11.06.65 ist:

- für die Abnahme mit  $\mu = 0,59$ ,
- für die Gewährleistung mit  $\mu = 0,52$  festgelegt.

Unterschreiten einzelne 50 m-Werte den jeweiligen Grenzwert um mehr als  $\mu = 0,03$ , 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 auf Kosten des Betreibers des Messgerätes eine weitere Messung durchzuführen. Das endgültige Ergebnis ist der Mittelwert der beiden Messungen, die innerhalb der Wiederholbarkeit liegen.

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.

### **3.2.4 Mängel**

Unterschreiten einzelne 50 m-Werte den jeweiligen Grenzwert um mehr als  $\mu = 0,03$ , so liegt ein Mangel vor.

### 3.2.5 Übernahme

Liegt das Messergebnis bei  $\mu = 0,38$  oder darunter, so sind unverzüglich vom Erhalter im Wege der Verkehrsbehörde verkehrsbeschränkende Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit zu setzen. Liegt das Messergebnis bei  $\mu = 0,45$  oder darunter, so erfolgt grundsätzlich keine Übernahme und der Auftragnehmer hat Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen. Die dabei anfallenden Kosten sind im Sinne des Bauvertrages vom Auftragnehmer zu tragen. Die Übernahme erfolgt erst wenn ein Reibungswert  $\mu > 0,45$  gegeben ist. Liegt das Messergebnis im Bereich  $\mu > 0,45$  und  $\mu < 0,56$  so sind im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer entweder griffigkeitsverbessernde Maßnahmen vorzunehmen oder ein Qualitätsabzug zur Anwendung zu bringen.

### 3.2.6 Ende der Gewährleistungsfrist

Liegt das Messergebnis bei  $\mu = 0,49$  oder darunter, so erfolgt grundsätzlich keine Schlussfeststellung. Die Gewährleistung hinsichtlich der Griffigkeit ist um 2 Jahre zu verlängern. Im Falle einer Gewährleistungsverlängerung ist auf Kosten des Auftragnehmers durch Griffigkeitsmessungen der vertragsgemäße Zustand in einer neuerlichen Schlussfeststellung nachzuweisen. Liegt das Messergebnis am Ende der Gewährleistungsfrist bei  $\mu = 0,45$  oder darunter, hat der Auftragnehmer im Einvernehmen mit dem Auftraggeber Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen. Ergibt sich die Notwendigkeit verkehrsbeschränkende Maßnahmen zu setzen, so kommt ein Pönale zur Anwendung.

### 3.2.7 Ersatzmessung

Bei Bauloslängen unter 500 m kann der Auftraggeber auf die Messung mit dem System RoadSTAR verzichten, wenn der SRT-Wert gemäß ÖNORM EN 13036-4 [37] mind. 60 und die Ausflusszeit gemäß ÖNORM EN 13036-3 [38] höchstens 30 s beträgt.

### 3.3 RoadSTAR Messsystem

#### 3.3.1 Allgemeine Beschreibung

Die Erfassung der Parameter des Straßenzustandes sowie die Abnahme- und Gewährleistungsprüfung werden in Österreich mit dem dynamischen Messfahrzeug RoadSTAR (**R**oad **S**urface **T**ester of **a**rsenal **r**esearch, Abb. 3-1) durchgeführt, der vom „Forschungsinstitut für Kraftfahrtwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart“ in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern von arsenal research entwickelt wurde [39].



Abb. 3-1: RoadSTAR [39]

Bei Messgeschwindigkeiten zwischen 40 km/h und 120 km/h werden im fließenden Verkehr die wichtigsten Oberflächeneigenschaften und Trassierungsparameter erfasst. Durch die Ausstattung mit Satellitennavigation (dGPS) und digitaler Videoerfassung bietet sich überdies die Möglichkeit, Messwerte, Charakteristika der Fahrbahn und Einrichtungen des Straßenraums über Stationierungskilometer

und/oder über dGPS-Koordinaten positionsgenau (unter 3 m absolute Genauigkeit) örtlich zuzuordnen.

### **Messprinzip**

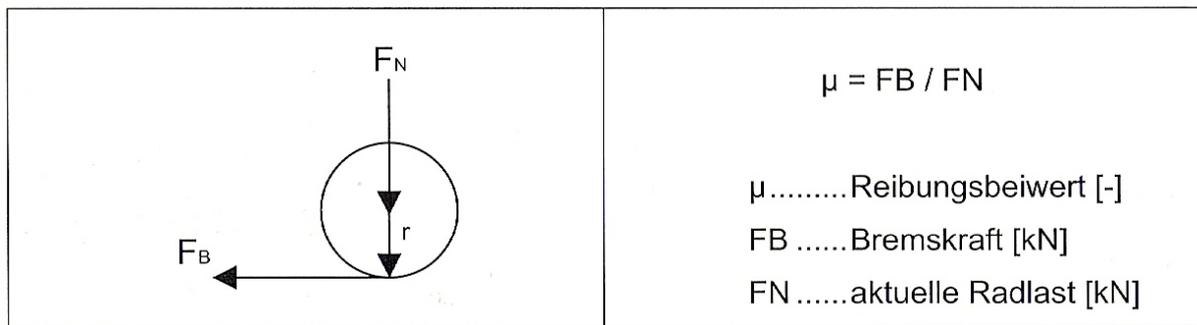
Die Reibungsbeiwerte  $\mu$  werden mit dem RoadSTAR auf angenässter Fahrbahn bestimmt. Das Messrad, das durch ein Getriebe mit 18 % Schlupf angetrieben wird, ist an einer Schwinge, die Schwenk- und Federbewegungen zulässt, aufgehängt. Der Sturz des Messrades ist durch die gewählte Aufhängung auf den Wert Null eingestellt. Die Radmittelebene steht senkrecht zur Fahrbahnebene. Das Messrad schwenkt selbständig in die Stellung, in der es nahezu seitenkrauffrei läuft. Dies bedeutet, dass auch bei einer Kurvenfahrt der Schräglaufwinkel annähernd Null ist. Zur Erzeugung einer definierten Radlast wird das Rad mittels eines Pneumatikzylinders auf die Fahrbahn gepresst bzw. entlastet. Während der Messung werden die aktuellen Radlasten sowie das Bremsmoment am Messrad kontinuierlich erfasst und mit Hilfe des bekannten Radhalbmessers des Messrades der Reibungsbeiwert  $\mu$  bestimmt [40].

Die zwischen Reifen und Fahrbahn übertragene Bremskraft  $F_B$  kann aus dem Bremsmoment  $M_B$  folgendermaßen berechnet werden:

$$F_B = \frac{M_B}{r} \quad \text{Gleichung 3-1}$$

$F_B$	Bremskraft [kN]
$M_B$	Bremsmoment [kNm]
$r$	Abstand Messradmittelpunkt zur Fahrbahnoberfläche [m]

Durch Bildung des Quotienten aus der Bremskraft  $F_B$  und der bekannten Radlast  $F_N$  erhält man den Reibungsbeiwert  $\mu$  (siehe Abb. 3-2) [40].

Abb. 3-2: Ermittlung des Reibungsbeiwertes  $\mu$  [40]

Dabei sind Wasserfilmdicken zwischen 0,5 mm und 2 mm möglich. Die österreichische Standardmessmethode zur Griffigkeitsmessung schreibt eine Messgeschwindigkeit von 60 km/h und eine Wasserfilmdicke von 0,5 mm, sowie 18 % Schlupf vor.

Mit dem RoadSTAR können folgende Messgrößen erfasst werden [40]:

- Griffigkeit (Messrad mit 18 % Schlupf, blockiertes Messrad und ABS-Messung)
- Makrotextur (Mean Profile Depth, MPD)
- Querebenheit (Spurrinnentiefe)
- theoretische Wassertiefe in den Spurrinnen
- Längsebenheit (Längsprofil IRI (International Roughness Index))
- Anlageverhältnisse (Kurvenradien, Quer- und Längsneigung, Kurvenkrümmung)
- Objekte des Straßenraums (Verkehrszeichen, Bodenmarkierungen, etc.)
- Fahrbahnrisse ab 1 mm, Schlaglöcher etc.

Seit 2005 steht ein zweiter RoadSTAR (RoadSTAR II) als mögliches internationales Referenzfahrzeug für die Griffigkeits- und Texturmessung zur Verfügung.

Mit folgenden Einstellungen können Griffigkeitsmessungen durchgeführt werden [39]:

- 18 % Schlupf (Standard)
- 25 % Schlupf (Messgeschwindigkeit 40 km/h)
- 50 % Schlupf (Messgeschwindigkeit 60 km/h)

- 62,5 % Schlupf (Messgeschwindigkeit 80 km/h)

### 3.3.2 Qualitätssicherung

Die RVS 11.06.65 definiert die Qualitätssicherung folgendermaßen [36]:

Bei den Messungen ist besonderes Augenmerk auf die Funktionstüchtigkeit des Messgerätes und die Reproduzierbarkeit der Griffigkeitswerte zu legen. Folgende Vorgangsweise ist zu praktizieren:

- In periodischen Intervallen (etwa alle 1000 Messkilometer) ist die Drehmomentwelle sowie die statische und dynamische Radlast des RoadSTAR zu kalibrieren.

Nach erfolgter Kalibrierung ist eine Wiederholungsmessung auf einer mindestens 2 km langen Messstrecke, die unmittelbar vor der Kalibrierung gemessen wurde, durchzuführen. Es sind die 50 m-Griffigkeitsmesswerte der Erst- und Wiederholungsmessung einander so gegenüberzustellen, dass die Differenzen der Mittelwerte der beiden Messfahrten erkennbar sind. Zudem ist die doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50 m-Einzelwerte der beiden Messfahrten zu berechnen. Die Ergebnisse der beiden Messungen müssen folgende Genauigkeiten (siehe Tab. 3-1) aufweisen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$\Delta\mu \leq 0,04$
doppelte Standardabweichung der Differenzen der Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$2\sigma \leq 0,07$

Tab. 3-1: Messtoleranz für Wiederholungsmessung nach der Kalibrierung [36]

- In monatlichen Abständen ist eine Wiederholungsmessung auf einer mindestens 2 km langen Referenzstrecke durchzuführen. Es sind die 50 m-Griffigkeitsmesswerte der Erst- und Wiederholungsmessung einander so gegenüberzustellen, dass die Differenzen der Mittelwerte der beiden Messfahrten erkennbar sind. Zudem ist die doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50 m-Einzelwerte der beiden Messfahrten zu berechnen.

Aus diesen Daten ist folgende Messgenauigkeit (siehe Tab. 3-2) zu bestätigen:

Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$\Delta\mu \leq 0,05$
doppelte Standardabweichung der Differenzen der Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$2\sigma \leq 0,01$

Tab. 3-2: Monatliche Messtoleranz für Wiederholungsmessung [36]

- Im Zuge dieser Wiederholungsmessung sind die Wegangaben des Wegsensors zu überprüfen. Bei Abweichungen zum Sollwert ist der Wegsensor zu kalibrieren.
- Die Überprüfung der Durchflussmesseinrichtung erfolgt während jeder Messfahrt.

Die Ergebnisse der Kalibrierung bzw. Überprüfung sind in Überprüfungs- bzw. in Kalibrierungsprotokollen festgehalten.

## **4 GRIPTESTER MESSSYSTEM**

### **4.1 Allgemeine Beschreibung**

Durch seine Kompaktheit und seine bedienerfreundliche Handhabung ist der GripTester ein sehr einfaches Messgerät, das zur dynamischen Erfassung der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, Flugbetriebsflächen oder sonstigen Verkehrsoberflächen dient. Dieser Dreiradanhänger wurde von der Firma Findlay Irvine Ltd. in Schottland entwickelt und im Jahr 1987 erstmals zur Messung der Griffigkeit von Flugbetriebsflächen eingesetzt.

Der Vorteil dieses Messgerätes liegt in seiner sehr kompakten Bauweise und seinem geringen Gewicht, wodurch es leicht zu transportieren und fast überall einsetzbar ist. Wegen seiner einfachen Konstruktion und der wenigen Verschleißteile, die problemlos ausgetauscht werden können, hat der GripTester eine Lebensdauer von ca. 20 Jahren. Ein weiterer Vorteil sind die geringen Betriebs- und Erhaltungskosten im Vergleich zu anderen Hochleistungsgriffigkeitsmessgeräten [41].

Aufgrund der zwei Betriebsmöglichkeiten steht einem Einsatz sowohl auf Projekt- als auch auf Netzebene nichts im Wege, wenngleich der GripTester auf Netzebene durch seine kleine Tankgröße gegenüber den Großgeräten sehr benachteiligt ist.

Andererseits ist gerade der relativ kleine Wassertank die Stärke des gesamten Messsystems, da dadurch das System klein und kompakt gehalten werden kann und sich in einem gängigen Kleintransporter verstauen lässt.

#### **4.1.1 Einsatzbereich**

Der GripTester kann durch zwei verschiedene Betriebsarten sowohl auf Projektebene als auch auf Netzebene zum Einsatz gelangen.

##### **Netzebene**

Bei der Griffigkeitsmessung auf Netzebene erhält man einen Überblick über den Zustand des gesamten Straßennetzes. Falls Streckenbereiche mit niedrigen Reibungsbeiwerten gefunden werden, können detaillierte Messungen auf Projektebene veranlasst werden. Im Zugbetrieb ist der GripTester für den Einsatz auf Netzebene gut geeignet [42].

##### **Projektebene**

Unter Projektebene werden kleinräumige Bereiche verstanden, die einer Reibungsbeiwertmessung unterzogen werden. Dazu zählen Fußgängerzonen, Fahrbahnmarkierungen, Auf- und Abfahrten mit engen Radien und Parkgaragen. Je nach vorherrschenden Platzverhältnissen kann der GripTester im Zug- oder Schiebetrieb eingesetzt werden [43].

#### **4.1.2 Betriebsarten**

##### **Schiebetrieb**

Beim Schiebetrieb (Abb. 4-1) wird der GripTester in Schrittgeschwindigkeit (ca. 5 km/h) von einer Person geschoben. Dazu wird ein zusätzlicher Schubbügel auf dem GripTester angebracht. Eine zweite Person übernimmt die Bedienung der Datenerfassungseinheit, die mittels Datenkabel mit dem GripTester verbunden ist. Für die Wasserversorgung müssen zwei Wasserbehälter direkt auf dem GripTester montiert werden. Die Wassermenge wird über ein Handventil geregelt, wobei standardmäßig mit einer Wasserfilmdicke von 0,5 mm gemessen wird. Die Wasserfilmdicke hat aber bei dieser kleinen Messgeschwindigkeit nur einen geringen Einfluss.

Aufgrund der kleinen Wassertanks und der langsamen Messgeschwindigkeit ist diese Betriebsart nur für begrenzte Bereiche auf Projektebene empfehlenswert [42].

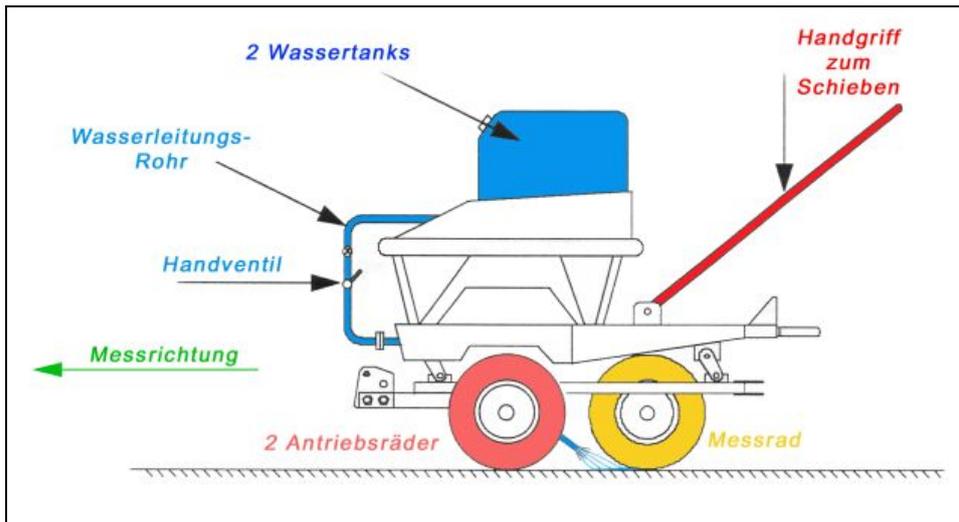


Abb. 4-1: GripTester im Schiebetrieb, Querschnitt [43]

### Zugbetrieb

Bei dieser Betriebsart wird der GripTester an eine Anhängervorrichtung eines Fahrzeuges gehängt und mit einer Geschwindigkeit von 20 – 80 km/h gezogen (siehe Abb. 4-2). Der Zugbetrieb wird auf Netz- und Projektebene eingesetzt und die Geschwindigkeit sodann in Abhängigkeit der Straßenverhältnisse gewählt.



Abb. 4-2: GripTester im Zugbetrieb [ISTU-Archiv]

## 4.2 Technische Beschreibung des GripTesters

### 4.2.1 GripTester

#### Messprinzip

An der vorderen Achse des GripTester befinden sich die Laufräder, das Messrad ist hinten mittig angebracht. Die Achsen der beiden Antriebsräder sowie die Achse des Messrades haben je ein Zahnrad, die mittels Antriebskette miteinander verbunden sind. Durch die unterschiedliche Größe der Zahnräder, vorne ein kleinerer Durchmesser als hinten (siehe Abb. 4-3), entsteht ein fix aufgeprägter Schlupf von 15%, wodurch sich das Messrad langsamer als die Antriebsräder bewegt [41,44]. Dadurch entsteht eine horizontale Kraft, welche die Messradachse verformt. Die Verformungen werden mittels Dehnmessstreifen erfasst und auf die in der Messradaufstandsfläche wirkende Kraft  $F_H$  umgerechnet. Gleichzeitig werden auch die vertikalen Verformungen mit Dehnmessstreifen erfasst, um die dazugehörige Vertikalkraft  $F_V$  zu erhalten. Die Ermittlung des Reibungsbeiwertes  $\mu_{GT}$  erfolgt nach Gleichung 4-1 [45].

$$\mu_{GT} = \frac{F_H}{F_V}$$

Gleichung 4-1

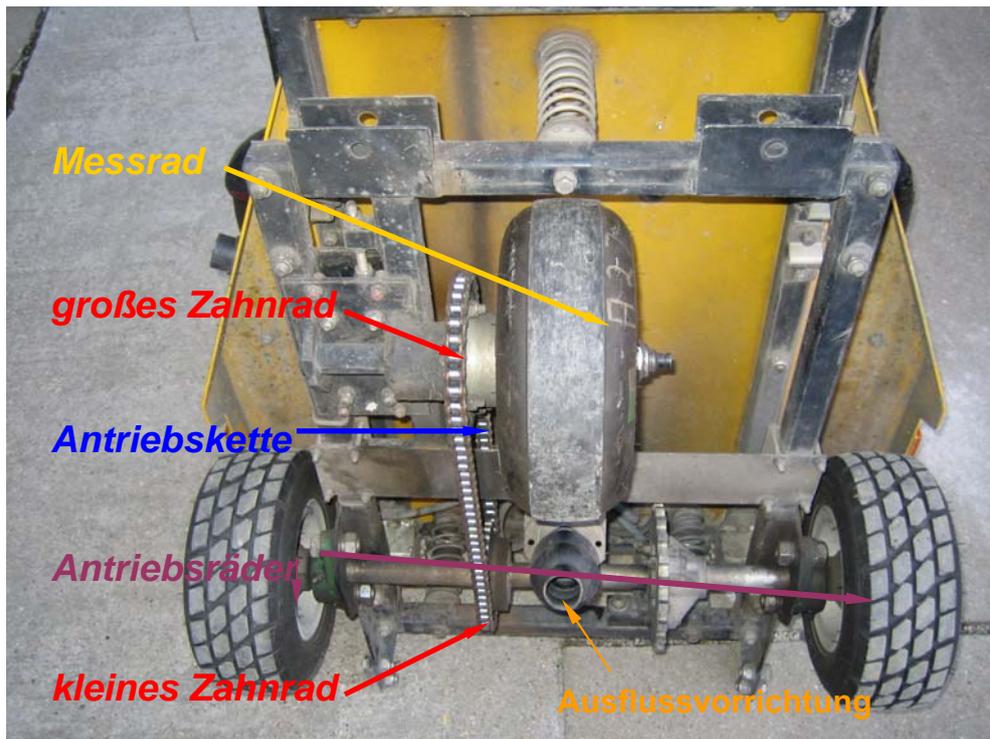


Abb. 4-3: Antriebskette am GripTester [ISTU-Archiv]

### Technische Daten

Abmessungen:	$l = 1010, b = 790, h = 510 \text{ mm}$
Antriebsräder:	$\varnothing 10''$ profilierte Räder - Dunlop
Gewicht:	85 kg
Messschlupf:	konstanter Schlupf von 15 %
Messgeschwindigkeit:	- ca. 5 km/h im Schiebetrieb - bis 80 km/h im Zugbetrieb
Messauflösung:	- 4 cm Intervall im Schiebetrieb - 16, 40, 80 cm Intervall im Zugbetrieb
Software:	Programm Roadmanager (Mechatronic)
Stromversorgung:	DryFit A512/16 12 Volt, 8500 mAmp

#### 4.2.2 Messreifen

Der Messreifen ist profillos und besteht aus Naturkautschuk. Es wird von Findlay Irvine nach einer Vorschrift der American Society for Testing and Materials (ASTM) hergestellt. Jeder Messreifen wird einer strengen Einzelqualitätskontrolle unterzogen, bevor er zum Verkauf freigegeben wird. Der Messreifen hat in der Lauffläche eine Bohrung, die der Verschleißkontrolle dient (ca. 5 mm). Ist diese Kontrollbohrung  $\leq 3$  mm (siehe Abb. 4-4), so ist der Messreifen auszutauschen. Die Lebensdauer des Messreifens kann bei entsprechender Lagerung und je nach Textur der Straßenoberfläche zwischen 700 – 1000 km betragen.



Abb. 4-4: Messreifen – profillos, mit Bohrung zur Verschleißmessung [43]

### **Technische Daten**

Reifentyp:	Ø10“ profilloser ASTM Reifen definiert nach ASTM Standard E1844-96
Reifendruck:	20 psi = 1,38 bar
Reifenprofil:	profillos
Dimension:	Ø 10“ ≙ 25,4 cm
Hersteller:	Findlay Irvine

#### **4.2.3 Bewässerungssystem**

Die Griffigkeitsmessungen werden in der Regel bei angefeuchteter Fahrbahn mit einer definierten theoretischen Wasserfilmdicke durchgeführt.

Das Bewässerungssystem GT-BW-01 wurde von der Firma Mechatronic GmbH eigens für den Zugbetrieb des Messsystems GripTester entwickelt. Es ermöglicht die Zufuhr einer geschwindigkeitsabhängigen Wassermenge direkt vor den Messreifen und somit die Aufbringung eines konstanten Wasserfilms zwischen 0,2 mm bis 1,0 mm Dicke. Das Bewässerungssystem besteht aus folgenden Komponenten:

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

Das GT-BW-01 System kann über längere Zeit bei Temperaturen von 0 °C bis 45 °C gelagert werden. Bei Temperaturen unter 0 °C muss der Tank leer gepumpt und das Wasser aus den Messleitungen und dem Durchfußsensor abgelassen werden, um Schäden durch Eisbildung zu vermeiden [48].

## Wassertank

Beim Einbau des Wassertanks sind vor allem die Sicherheitsvorschriften (Lagesicherung) zu beachten. Der Wassertank muss kraftschlüssig mit dem Fahrzeug verbunden werden, da der gefüllte Tank je nach Größe ein Gewicht von teilweise über 300 kg haben kann, und dieser bei schnellen Bewegungen wie Brems- oder Abbiegevorgängen eine Eigendynamik entwickeln könnte, die die Verkehrssicherheit des Zugfahrzeuges wesentlich herabsetzt.

Standardgemäß wird ein 275 Liter fassender Wassertank mitgeliefert. Das Fassungsvermögen beeinflusst wesentlich die mögliche Länge der Messstrecke. Bei einem üblichen Wasserfilm von 0,5 mm und einer Geschwindigkeit von 60 km/h, d.h. einer Wassermenge von 25 l/min, kann mit dem Standardtank maximal eine 7,0 km lange Messstrecke abgefahren werden. In der Tabelle 4-1 ist der Wasserverbrauch in Abhängigkeit von der gewählten Wasserfilmdicke und der Geschwindigkeit aufgelistet [45].

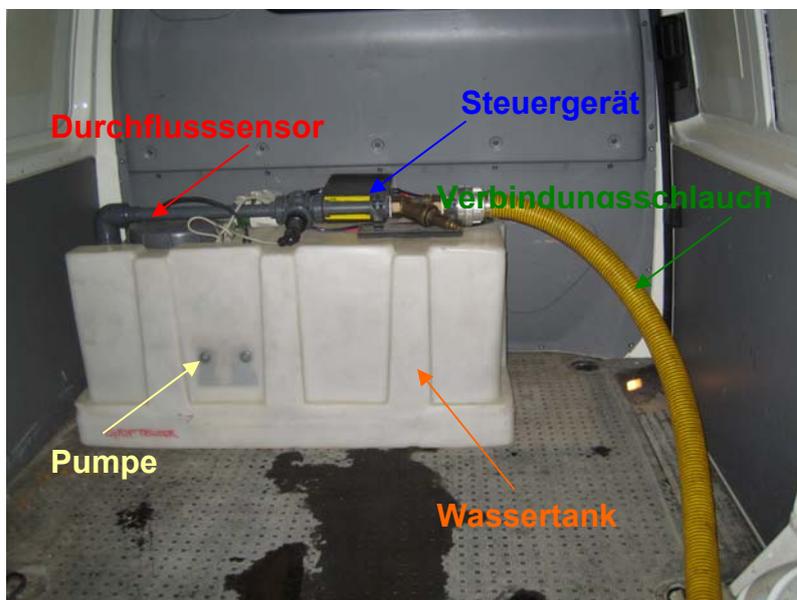


Abb. 4-5: Einbau des Wassertanks an der Rückseite der Fahrerkabine

## Bedienteil

Am Bedienteil kann sowohl die Dicke des Wasserfilms über den Bereichswahlschalter Wasserfilmdicke als auch der Regelmodus der Wasseraufbringung über den „Moduswahlschalter AUTO/HAND“ eingestellt werden. Während der Messung können am Bedienteil, das sich in der Fahrerkabine befindet, die aktuellen Messparameter Wasserfilm, Durchflussmenge, Betriebsmodus und Geschwindigkeit abgelesen werden.

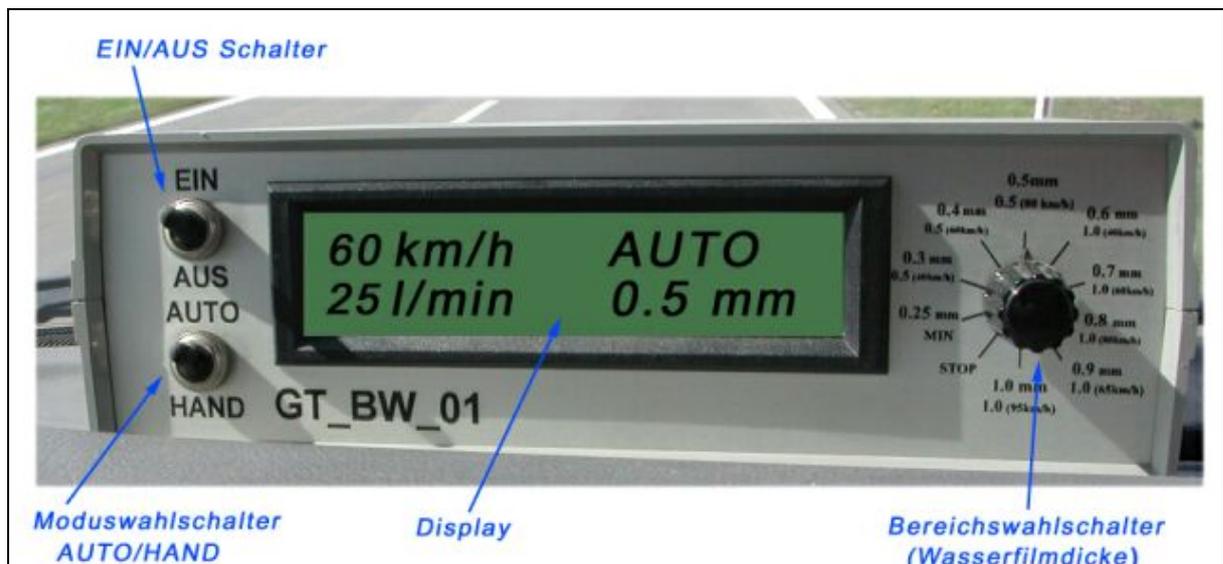


Abb. 4-6: Bedienteil des GT-BW-01 im AUTO Modus [ISTU-Archiv]

## HAND Modus

Beim HAND Modus wird die eingestellte Wassermenge unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges konstant gehalten. Zu beachten ist, dass das Einschalten des Systems im HAND Modus oder das Umschalten vom AUTO in den HAND Modus nur dann erfolgen darf, wenn sich der „Bereichswahlschalter Wasserfilmdicke“ auf der STOP Position befindet. Ist das nicht der Fall, kann es passieren, wenn der Verbindungsschlauch nicht mit dem GripTester verbunden ist, dass Wasser in das Zugfahrzeug gepumpt wird, da im HAND Modus das Wasser sofort gepumpt wird. Nach dem Einschalten des Bedienteils erscheint auf dem Display die gewählte Messgeschwindigkeit und Wasserfilmdicke. Die in Abb. 4-7 grau hinterlegten Werte können durch Drehen des Bereichswahlschalters „Wasserfilmdicke“ eingestellt werden und sind dann am Display sichtbar.

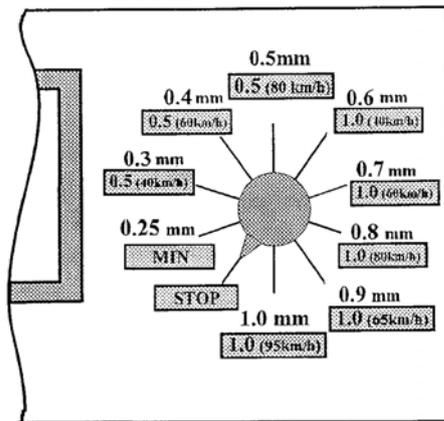


Abb. 4-7: Einstellmöglichkeiten HAND Modus [52]

### AUTO Modus

In diesem Modus wird die Wassermenge automatisch proportional zu der Messgeschwindigkeit geregelt. Dabei sind die Einstellungen, grau hinterlegt, gemäß Abb. 4-8 möglich.

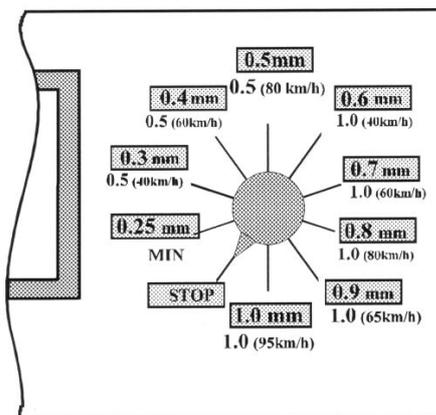


Abb. 4-8: Einstellmöglichkeiten AUTO Modus [52]

In der Tabelle 4-1 sind die Einstellmöglichkeiten für den HAND- bzw. AUTO Modus dargestellt.

Einstellungen am Bedienrad	Wasserfilmdicke	Geschwindigkeit	Durchflusswert		Anwendung
<b>HAND</b>					
STOP	-	-	-		Regelung abgeschaltet
MIN	-	-	5	l/min	Zwischenfahrt
0,5(40km/h)	0,5 mm	40 km/h	17 (16,7)	l/min	Straße
0,5(60km/h)	0,5 mm	60 km/h	25	l/min	Straße
0,5(80km/h)	0,5 mm	80 km/h	33(33,3)	l/min	Straße
1(40km/h)	1 mm	40 km/h	33(33,3)	l/min	Straße
1(60km/h)	1 mm	60 km/h	50	l/min	Straße
1(80km/h)	1 mm	80 km/h	67(66,7)	l/min	Straße
1(65km/h)	1 mm	65 km/h	54(54,2)	l/min	Flughafen
1(90km/h)	1 mm	90 km/h	75	l/min	Flughafen
<b>AUTO</b>					
0,5(40km/h)	0,3 mm	beliebig	variabel		Straße
0,5(60km/h)	0,4 mm				Straße
0,5(80km/h)	0,5 mm				Straße
1(40km/h)	0,6 mm				Straße
1(60km/h)	0,7 mm				Straße
1(80km/h)	0,8 mm				Straße
1(65km/h)	0,9 mm				Flughafen
1(95km/h)	1 mm				Flughafen

Tab. 4-1: Wasserverbrauch bzw. Durchflusswert in Abhängigkeit von der gewählten Wasserfilmdicke und Geschwindigkeit [52].

### **Steuergerät**

Sowohl am Steuergerät als auch am Bedienteil wird das Bewässerungssystem ein- und ausgeschaltet. Es enthält die Regelelektronik, um die notwendige Wassermenge für die eingestellte Wasserfilmdicke fördern zu können. Weiters kann das System über den Reset-Schalter an neu gewählte Parameter angepasst werden. Am Ende des Messtages kann mit dem Schalter „Leerpumpen“ der Tank vollständig entleert werden, um einer Algenbildung vorzubeugen.

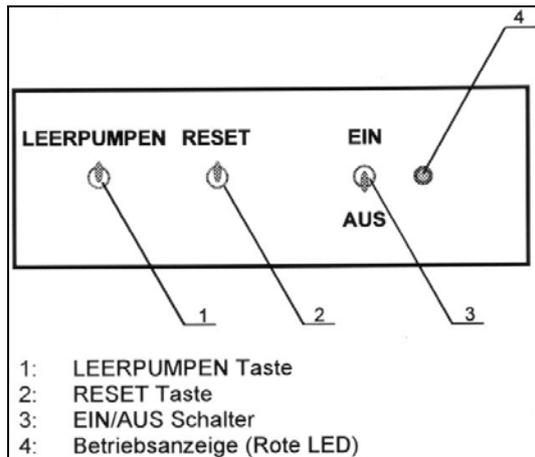


Abb. 4-9: Bedienfront des GT-BW-01 Steuergerätes [52]

### Technische Daten

Größe: Bedienteil	20 cm x 17 cm x 6 cm
Steuergerät	28 cm x 18 cm x 7 cm
Wassertank	110 cm x 60 cm x 60 cm, 300 l
Versorgungsspannung:	12 V DC (Autobatterie)
Maximaler Strom:	20 A
Geschwindigkeitsbereich:	10 – 130 km/h
V – Genauigkeit:	±2 %
Wassermenge:	0 – 96 l/min
Genauigkeit:	±5 %
Arbeitstemperaturbereich:	3 °C...45 °C

#### 4.2.4 Zugfahrzeug

Wesentlich für das Zugfahrzeug ist eine entsprechend große Ladefläche, damit sowohl der GripTester als auch das Bewässerungssystem mittransportiert werden können. Dadurch kann das Messsystem GripTester beim Einsatz auf Projektebene seinen Vorteil gegenüber Großgeräten wie RoadSTAR, SCRIM oder SRM nutzen, um Überstellungskosten und -zeiten zu minimieren. Außerdem ist bei dem Zugfahrzeug auf die Anbringung der Anhängerkupplung zu achten, da diese nicht in der Mitte sondern etwas seitlicher am Heck des Fahrzeuges montiert werden muss (siehe Abb. 4-10). Grund für diese Anordnung ist, dass somit Messungen in der

rechten Rollspur des Fahrstreifens ausgeführt werden können. Ideal wäre eine Kupplungsvorrichtung links, rechts und in der Mitte des Fahrzeuges, um je nach Bedarf in den beiden Rollspuren bzw. auch dazwischen Messungen durchführen zu können. Empfehlenswert sind auch ein Tempomat im Zugfahrzeug und eine zweite Batterie für das Bewässerungssystem.



Abb. 4-10: GripTester in rechter Rollspur

#### 4.2.5 Deichsel

Die Deichsel (siehe Abb. 4-11) des GripTester muss waagrecht mit dem Zugfahrzeug verbunden sein, damit keine zusätzlichen vertikalen Kräfte auf den Messreifen übertragen werden. Die Deichsel ist gelenkig mit dem GripTester verbunden und muss durch Sicherungsstifte gesichert werden. Bei vollgefülltem Wassertank muss die Deichsel horizontal sein (Abb. 4-12).



Abb. 4-11: Anhängervorrichtung

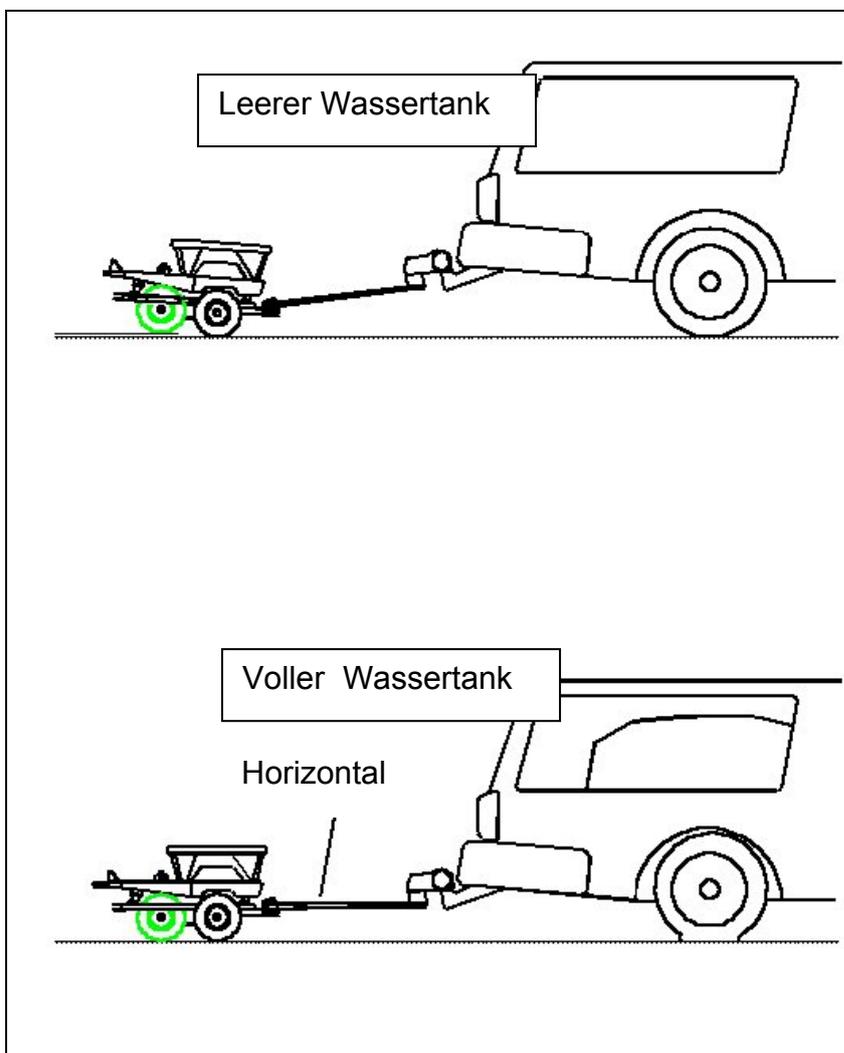


Abb. 4-12: Höhenlage der Anhängerkupplung [46]

## 4.3 Anweisung zum Gebrauch des Griptesters

### 4.3.1 Anordnung des Messsystems im Zugfahrzeug

Eine mögliche Anordnung der Komponenten im Zugfahrzeug ist in Abbildung 4 -13 dargestellt.

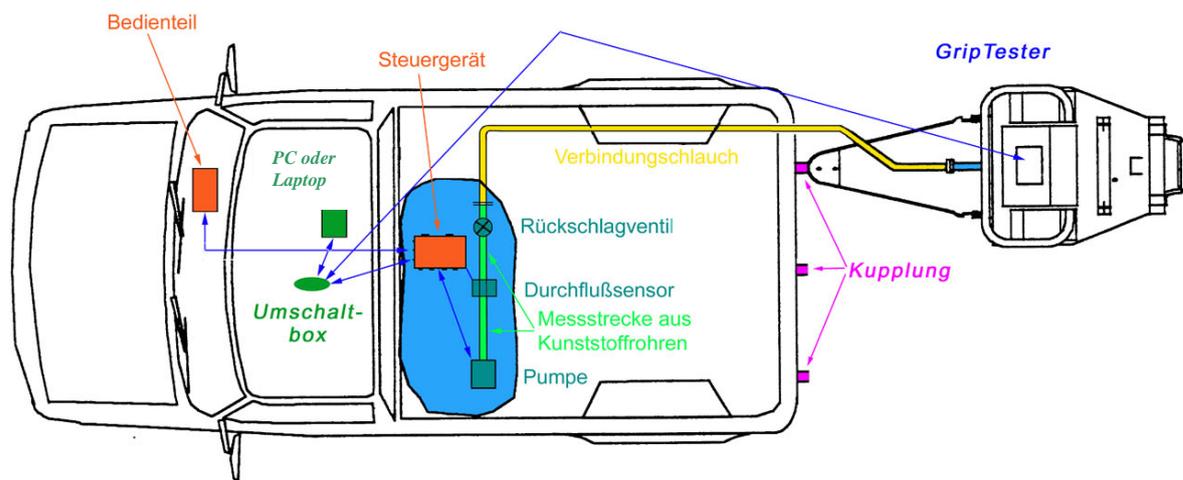


Abb. 4-13: GripTester im Zugbetrieb [43]

Folgende Schritte sind zum Einbau des Bewässerungssystems GT-BW-01 notwendig:

- Auf eine kraftschlüssige Verbindung des Wassertanks mit dem Kraftfahrzeug ist zu achten.
- Das Versorgungskabel ist an die Autobatterie anzuschließen.
- Das Bedienteil ist mit dem Steuergerät zu verbinden (Buchse „DISPLAY“).
- Der Durchflusssensor ist ebenfalls an das Steuergerät anzuschließen (Buchse „SENSOR“).
- Folgende Kabelverbindungen sind herzustellen:
  - das GripTester - Verbindungskabel ist an die Umschaltbox anzuschließen,
  - der Stecker der seriellen Schnittstelle der Umschaltbox ist an den Laptop anzuschließen,
  - das Verlängerungskabel stellt die Verbindung zwischen Steuergerät und Umschaltbox dar und ist an beide anzuschließen.

- An der Umschaltbox ist der Schiebeschalter zur Geschwindigkeitsmessung in die „V“ Position umzulegen.
- Anschließend ist die Pumpe an das Steuergerät anzuschließen (Buchse „PUMPE“).
- Der Verbindungsschlauch ist an das Rückschlagventil des Wassertanks anzuschließen. Es ist darauf zu achten, dass der Schlauch im Fahrzeug möglichst gerade verlegt ist.
- Der Netzschalter ist am Bedienteil und am Steuergerät in die „Aus“ – Position zu stellen.
- Das Steuergerät ist nun mit der Batterie zu verbinden (Stecker „AKKU“).

Des Weiteren sind:

- Den GripTester mit der Deichsel an das Zugfahrzeug anhängen und sichern.
- Den Verbindungsschlauch an den GripTester anschließen.
- Das Verbindungskabel zur Datenerfassung an den GripTester anschließen.
- Das Verbindungskabel zur Datenerfassung an PC, Laptop anschließen.

#### **4.3.2 Einstellung am GripTester**

Die Änderung (Impulse/Umdrehung) kann am GripTester einfach vorgenommen werden. Hierzu sind die beiden Schalter „Road/Flughafen“ und „Wahlschalter Impulse“ (siehe Abb. 4-14) auf die gewünschte Position in Abhängigkeit des gewünschten Messabstandes (siehe Tab. 4-2) zu stellen.

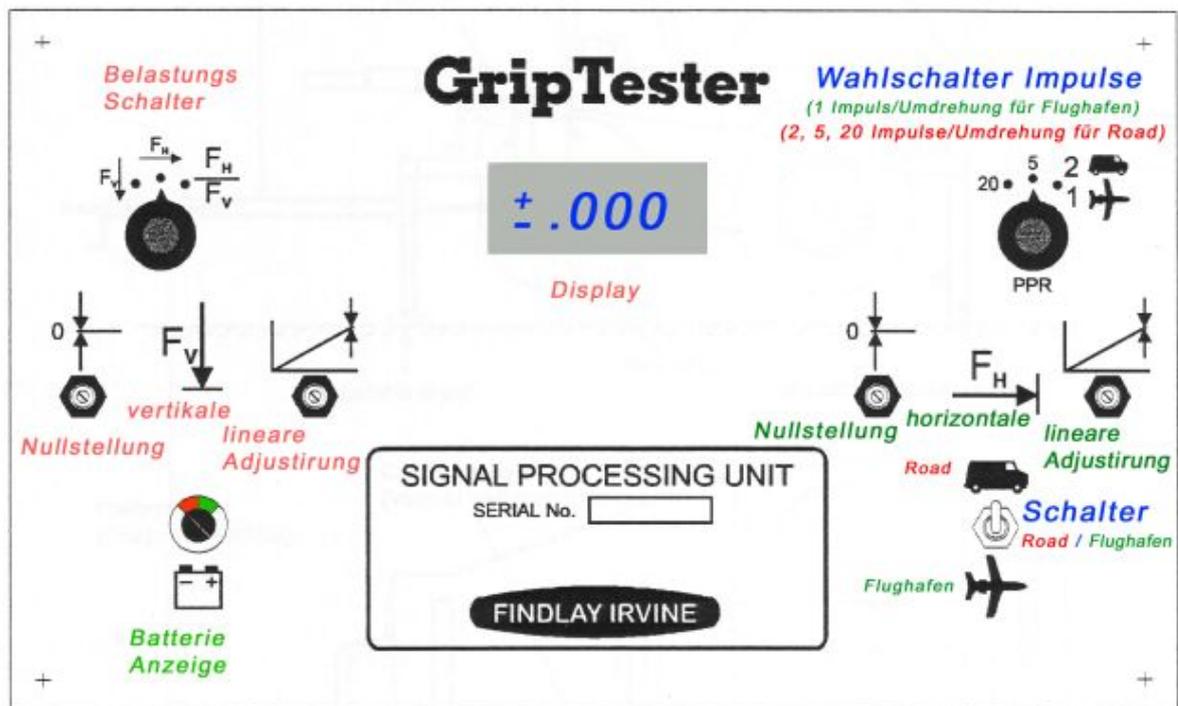


Abb. 4-14: Einstellung Impulse/Umdrehung [43]

Art der Messung	Schalter (Road / Flughafen)	Wahlschalter Impulse	Messung alle (Messabstand)
Flughafenmessung	Flughafen	1 Impuls/Umdrehung	80 cm
Straßenmessungen A	Road	2 Impulse/Umdrehung	40 cm
Straßenmessungen B	Road	5 Impulse/Umdrehung	16 cm
Handmessungen	Road	20 Impulse/Umdrehung	4 cm

Tab. 4-2: Einstellung Impulse/Umdrehung [43]

### 4.3.3 Messdurchführung

#### Einsatzbedingungen aus RVS 11.06.71

Für die Griffigkeitsmessungen sind die nachfolgenden Randbedingungen einzuhalten, um die Einflüsse von Witterung und Straßenzustand möglichst gering zu halten und damit die Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messungen zu gewährleisten [47]:

Lufttemperatur:	5 - 40 °C
Fahrbahnoberflächentemperatur:	5 - 40 °C
Fahrbahnzustand:	nicht sichtbar verschmutzt, trocken, frei von Eis
Wassertemperatur	5 - 25 °C

Werden Messungen bei anderen Bedingungen durchgeführt, sind diese speziell zu kennzeichnen.

### **Vorbereitungen vor der Messung**

Vor jedem Einsatz ist der GripTester auf seine Funktionstauglichkeit zu überprüfen (siehe Kapitel 4.4). Das gesamte Messsystem wird auf sichtbare Schäden untersucht. Werden bei der Schnellüberprüfung (siehe Kapitel 4.4.3) Abweichungen von vorgegebenen Parametern (entsprechend dem Betriebshandbuch) ermittelt, so ist eine Kalibrierung erforderlich. Die Kalibrierung kann vor Ort erfolgen und dauert etwa 15 Minuten.

Des Weiteren sind folgende Schritte zu überprüfen:

- Temperaturmessung
- Kontrolle des Batterieladezustandes
- Kontrollbohrung am Messreifen muss  $\geq 3$  mm sein.
- Den Wasserstand des Wassertanks im Zugfahrzeug kontrollieren und bei Bedarf auffüllen.
- Eingabe der Streckendaten, Wetterbedingungen
- Das Bedienteil einschalten die und richtige Wasserfilmdicke über den Bereichswahlschalter einstellen.
- Starten der Software

### **Messfahrt**

- Im Fahrzeug befindet sich während der Messfahrt der Fahrer, der für die Spurhaltung, Geschwindigkeit und Sicherheit im Straßenverkehr zuständig ist,

weilers der Beifahrer, der die Datenerfassungseinheit und das Bedienteil des Bewässerungssystems bedient.

- Nach dem Einschalten des Bedienteils erscheinen kurz nacheinander die folgenden Meldungen auf dem Display:



Abb. 4-15: Meldungen am Bedienteil bei Aktivierung des Bewässerungssystems [52]

- Die letzte Meldung erscheint nur im AUTO Modus, da das Steuergerät auf Geschwindigkeitsimpulse des GripTester wartet und diese Daten dann an das Bedienteil sendet und anzeigt. Die aktuellen Werte, wie Geschwindigkeit und Wasserdurchflussmenge, erscheinen erst ab einer Geschwindigkeit von 10 km/h, da erst dann das Steuergerät Geschwindigkeitsimpulse empfängt.
- Anfahren und Kontrolle, ob das System funktioniert: km/h-Anzeige am Bedienteil und Laptop bzw.  $\mu$ -Wert am Laptop.
- Sobald sich der GripTester in Bewegung setzt, erscheint am Display des Laptops die Messkurve ( $\mu$ -Werte), was bedeutet, dass ab sofort die Messdaten vom GripTester empfangen werden.
- Auf die gewählte Geschwindigkeit beschleunigen.

- Die Aufzeichnung der Daten kann jetzt, ab einem gewählten Startpunkt, durch Drücken der Starten-Taste im Modul GRIP gestartet werden.
- Die Messaufzeichnung ist durch drücken des Button "Beenden" zu stoppen. Die aktuelle Messdatei wird daraufhin automatisch in der Datenerfassung abgespeichert.
- Nach dem Anhalten des Zugfahrzeuges ist das Bewässerungssystem auszuschalten und der GripTester mittels des Spanngurtes (siehe Abb. 4-16) in die Transportstellung zu bringen, damit der Messreifen nicht beschädigt wird.



Abb. 4-16: Transportvorrichtung

- Werden keine Messungen mehr durchgeführt oder sehr weite Strecken gefahren, ist der GripTester im Fahrzeug zu transportieren. Dazu müssen alle Kabel- und Schlauchverbindungen gelöst werden und der GripTester in das Zugfahrzeug geladen werden.
- Nach der letzten Messung, ist der Tank leer zu pumpen, was über den Schalter „Leerpumpen“ durchgeführt werden kann (siehe Abb. 4-9).

### 4.3.4 Datenerfassung

#### Datenerfassungseinheit

Zur Datenerfassung ist der GripTester über ein Datenkabel mit einem Laptop verbunden, um die gemessenen Werte zu empfangen. Mittels des Programms „Roadmanager“ der Firma Mechatronic werden die gemessenen Reibungswerte erfasst und grafisch dargestellt.

#### Starten des Moduls Grip

Sie können das Modul Grip entweder über den Menüpunkt „RoadManager/Modul/Grip“ oder das Symbol  Grip starten. Dadurch öffnet sich die Symbolleiste für Grip und zusätzlich erscheint in der Menüleiste ein Menüpunkt „Grip“, in dem alle modulbezogenen Funktionen aufgeführt sind [48].



Abb. 4-17: Funktionen Modul Grip [48]

#### Optionsdialog

Der Optionsdialog ist in 2 Bereiche, siehe Abb. 4-18, aufgeteilt:

##### 1. Einstellungen

- GripTester Modell  
Hier kann zwischen Mark1 und Mark2 gewählt werden.
- Serielle Schnittstelle  
Hier wird der Ausgang der seriellen Schnittstelle definiert. Die Software erkennt für gewöhnlich automatisch den Ausgang.
- Betriebsmodus  
Für Messungen mit dem GripTester wird hier immer „Realtime“ eingestellt.

- PPR  
Es gelten folgende Einstellungen:
  - 2 PPR im Zugbetrieb
  - 20 PPR im Schiebetrieb
- Messauflösung  
Hier kann eine beliebige Messauflösung sinnvoll zwischen 1m und 100m eingestellt werden.
- Baud  
Für gewöhnlich wird hier der Wert 19200 eingestellt. Dieser Wert beschreibt die Übertragungsrate, mit der der GripTester die Daten überträgt. Je nach Modell kann es vorkommen, dass hier eine andere Übertragungsrate eingestellt werden muss. Man erkennt die falsche Übertragungsrate z.B. an der falsch ausgegebenen Geschwindigkeit.

## 2. Kalibrierung

Eine Distanzkalibrierung ist bei jedem neuen Laufreifen, bei Ändern des Umfangs und Unregelmäßigkeiten in Weglänge bzw. in der Geschwindigkeit durchzuführen.

Für die Durchführung einer Distanzkalibrierung

- muss zunächst die Streckenlänge eingegeben werden, für die die Überprüfung erfolgen soll. Es empfiehlt sich, hier eine möglichst lange Strecke – wie z.B. 1000 m - auszuwählen.
- Durch „Start“ löst man den Beginn der Distanzkalibrierung aus und fährt zum Endpunkt der ausgemessenen Strecke.
- Der Button „Stop / Berechnen“ ermittelt die Differenz zwischen Sollmessstrecke und zurückgelegter Strecke. Dieser Wert wird im Feld „berechneter Wert“ ausgegeben. Die Einheit ist „dpr“ (distance per rotation), also die Länge einer Radumdrehung.
- Um die Distanzkalibrierung abspeichern zu können, muss im Feld „Radbezeichnung“ eine Bezeichnung eingegeben werden. Der Button „Kalibrierung speichern“ speichert den Wert. Er wird automatisch in die Tabelle oben eingetragen und kann dort durch einfaches Markieren

ausgewählt werden. Standardmäßig ist dort ein Wert von 0,812 dpr eingestellt [48].

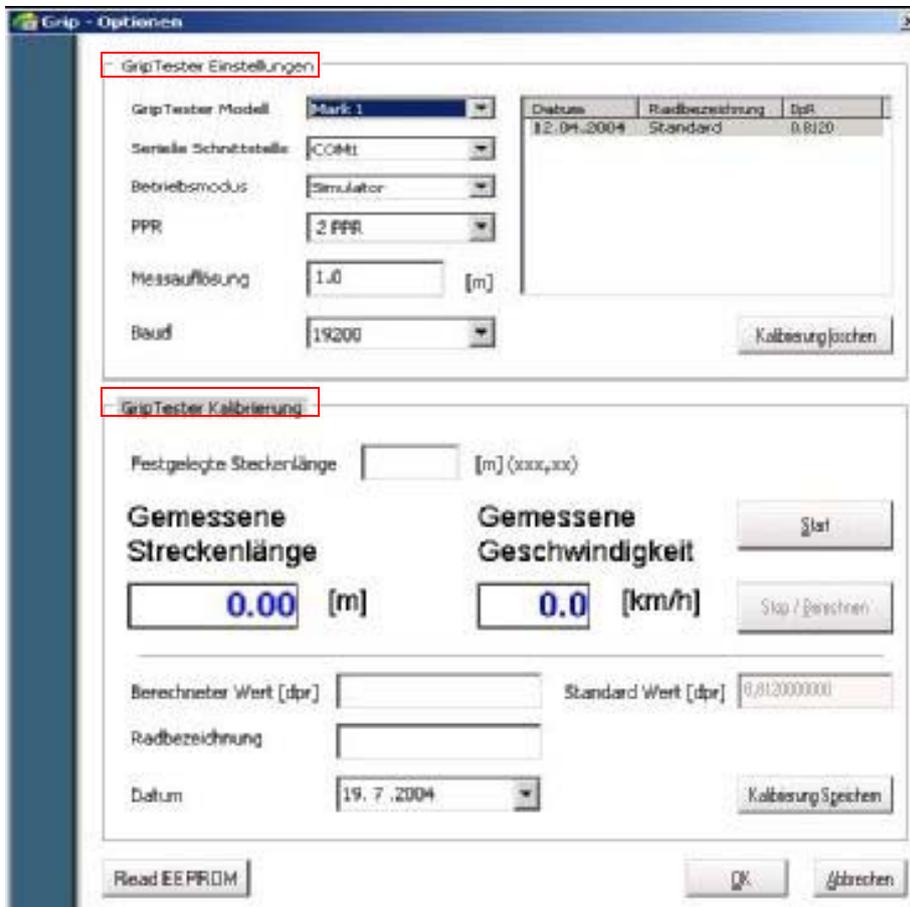


Abb. 4-18: Optionsdialog [48]

### **Bedienungsschritte für die Datenerfassung**

Die Datenerfassung erfolgt in vier Schritten gemäß Abb. 4-19 [48]:

#### Schritt 1: Neue Messung

Um eine neue Messung beginnen zu können, muss man zunächst den Button „Neu“ drücken. Jetzt erhält man die Möglichkeit, Informationen über die Messfahrt in die dafür vorgesehenen Dialogboxen einzutragen.

- Temperatur (Wasser-, Umgebung-, Oberflächen-, Reifentemperatur)
- Messtechniker (Name)
- Wasserfilmdicke und Wasserfluss
- Wetterbedingungen
- Gerät (GT – Nummer)

### Schritt 2: Daten übernehmen

- Nachdem alle Daten eingetragen wurden, können diese mit dem Button „Übernehmen“ abgespeichert werden.

### Schritt 3: Messung starten

- Der Button „Starten“ löst die Messung aus. Dies kann entweder durch klicken auf den Button oder durch drücken der Space Taste geschehen.

### Schritt 4: Messung beenden

- Der Button „Beenden“ stoppt die Messung. Dies kann entweder durch klicken auf den Button oder alternativ durch drücken der Space Taste geschehen.
- Button „Zurücksetzen und „Optionen“  
Der Button „Zurücksetzen“ löscht sowohl die Eingaben in den Feldern als auch alle Kurven im Diagramm. Mit dem Button „Optionen“ gelangt man wieder in den Optionsdialog.
- Button „Datei hinzufügen“ bzw. „Datei entfernen“  
Über die Button „Datei hinzufügen“ bzw. „Datei entfernen“ lassen sich bereits erfasste Messdaten zusätzlich im Diagramm mit abbilden bzw. wieder entfernen. Zum Entfernen markiert man die gewünschte Datei in der Tabelle Messdaten oder die entsprechende Kurve im Diagramm. Diese Funktion ermöglicht einen direkten Datenvergleich während der Fahrt. So kann man sofort sehen, ob die Messfahrten zueinander passen und mögliche Fehler ausschließen. Die Datei „Aktuell“ beschreibt die Aktuelle Messdatei. Sie darf unter keinen Umständen gelöscht werden!

### 3D-Ansicht mit Modul GRIP

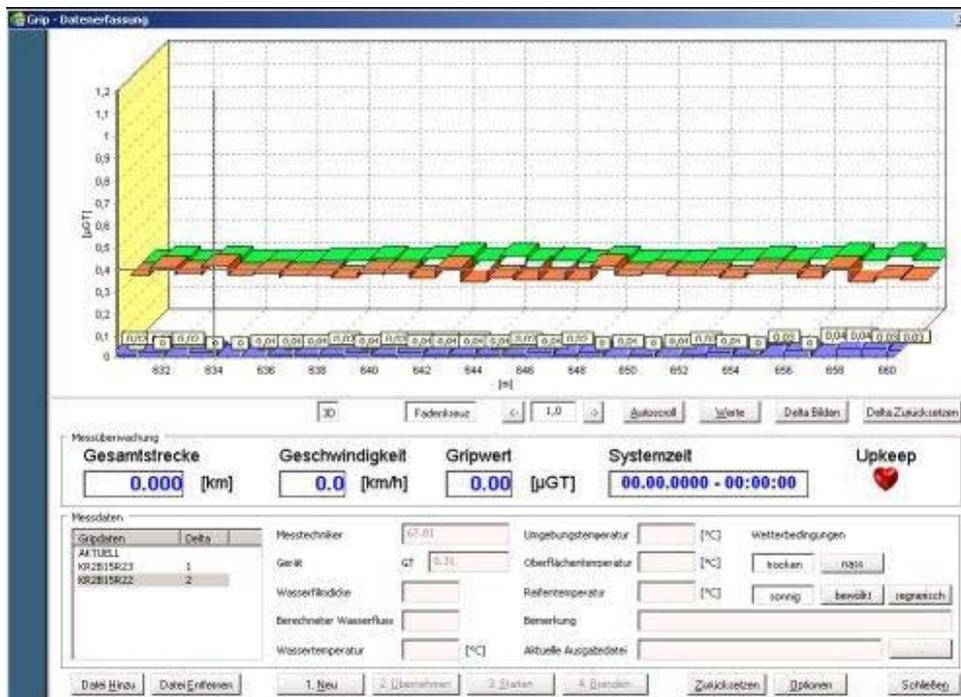


Abb. 4-19: Dialog Datenerfassung [48]

- Der Button „3D“ ermöglicht das Wechseln von der 3D-Ansicht zur 2D-Ansicht. Je nach Datenmenge ist die eine oder andere Ansicht übersichtlicher.
- Über den Button „Fadenkreuz“ lässt sich der Mauzeiger in ein Fadenkreuz verwandeln. Dadurch lassen sich Streckenabschnitte besser zuordnen.
- Die Pfeile „→“ und „←“ ermöglichen das Verschieben der jeweils markierten Datenreihe um den angezeigten Wert. Die Messkurven können auch verschoben abgespeichert werden [48].
- Der Button „Autoscroll“ bewirkt, dass das Diagramm während der Messfahrt automatisch weiterbewegt wird, so dass man immer die aktuellen Messwerte graphisch sehen kann. Hat man eine Datenreihe markiert, kann man sich für diese die einzelnen Messwerte über den Button „Werte“ anzeigen lassen. Nochmaliges klicken dieses Buttons entfernt die Werte wieder.

Wurden mehrer Messdaten in das Diagramm eingefügt, lassen sich jeweils immer zwei miteinander vergleichen. Dazu markiert man die zwei Reihen durch anklicken

der Messkurve mit der rechten Maustaste. Im Feld „Messdaten“ erhalten diese Datenreihen nun die Werte „1“ und „2“. Klickt man jetzt auf „Delta bilden“, wird die Differenz der 2 Datenreihen gebildet (siehe Abb. 4-19). Dies kann unter Umständen etwas Zeit in Anspruch nehmen – je nach Anzahl der Messwerte. Durch „Delta zurücksetzen“ wird die abgebildete Differenz wieder aus dem Diagramm gelöscht. Anklicken und Ziehen der Datenreihen mit der rechten Maustaste ermöglicht das Bewegen im Diagramm. Das Aufziehen von Kästchen mit der linken Maustaste vergrößert bzw. verkleinert den Maßstab [48].

#### 4.3.5 Auswertung der Daten

Die Messdaten werden als GRT-Datei (siehe Abb. 4-20) am PC-Laptop abgespeichert. In der ersten Zeile stehen die eingegebenen Daten. In den folgenden Zeilen befinden sich an erster Stelle, getrennt durch einen Strichpunkt, der Messabstand in Meter, die nächste Stelle kennzeichnet den Reibungsbeiwert und die letzten Stellen die Messgeschwindigkeit in km/h.

5.0;135;eigach;0,5;Nullmessung 60 km/h;19;18;;28;25;0;0;
5.0;0.51;58.98;
10.0;0.54;58.03;
15.0;0.56;58.03;
20.0;0.56;58.98;
25.0;0.59;58.03;
30.0;0.61;58.03;

Abb. 4-20: GRT-Datei

Zur weiteren Bearbeitung bzw. Auswertung kann die GRT-Datei in ein Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Excel) importiert werden. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

- Importieren der GRT-Datei

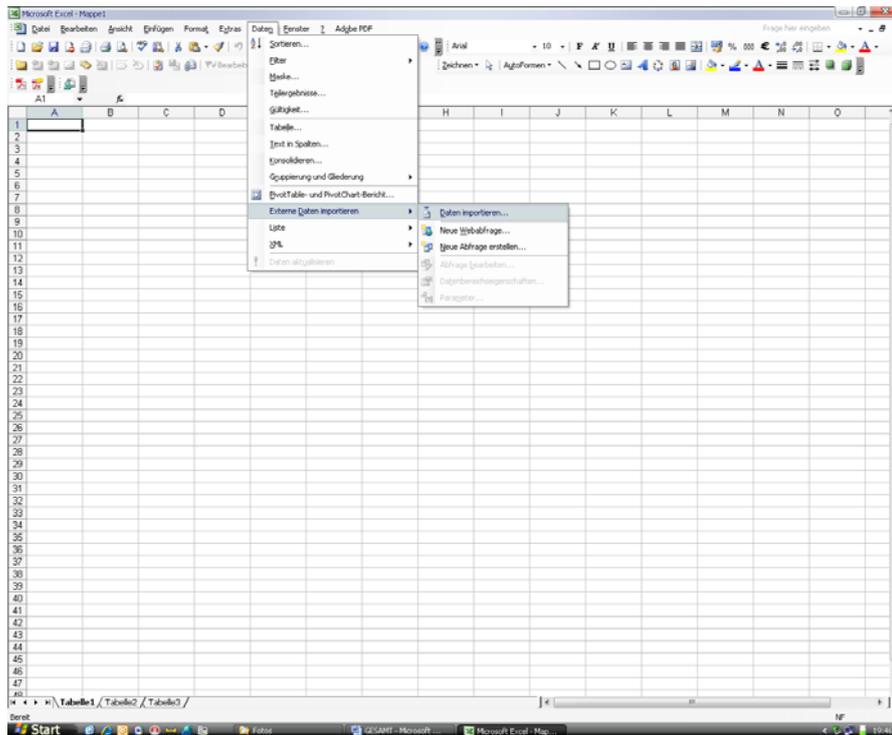


Abb. 4-21: GRT-Datei importieren

- Semikolon auswählen

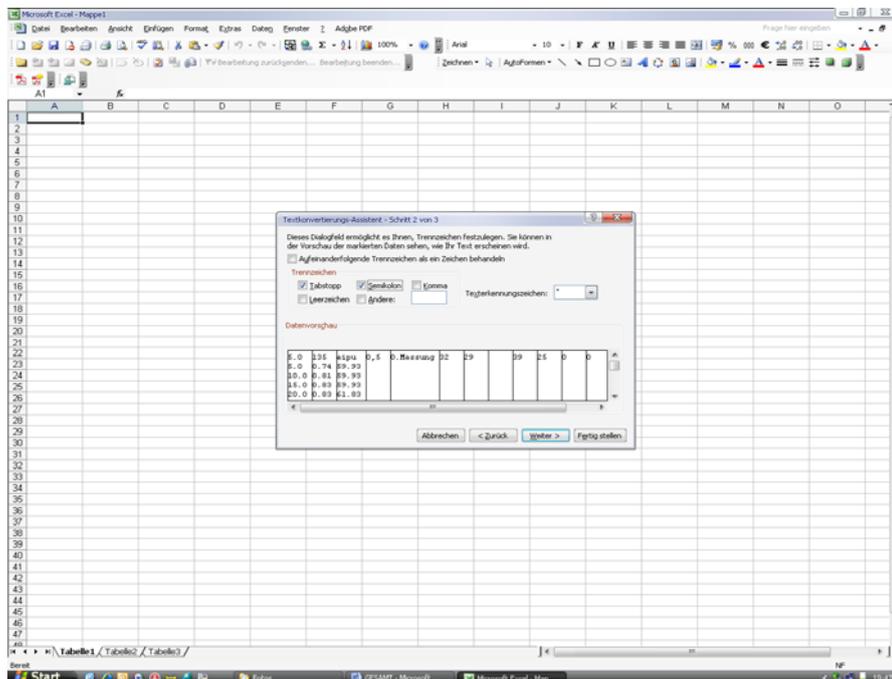


Abb. 4-22: Auswahl Semikolon

- Unter „Weitere“ Dezimaltrennzeichen „•“ angeben

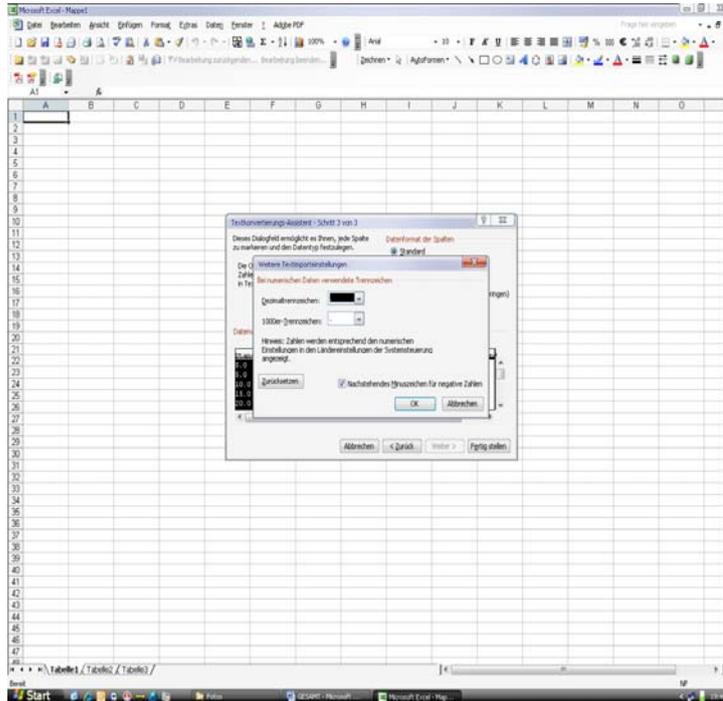


Abb. 4-23: Trennzeichen angeben

Mit den importierten Messdaten können Diagramme wie in Abbildung 4-24 dargestellt werden.

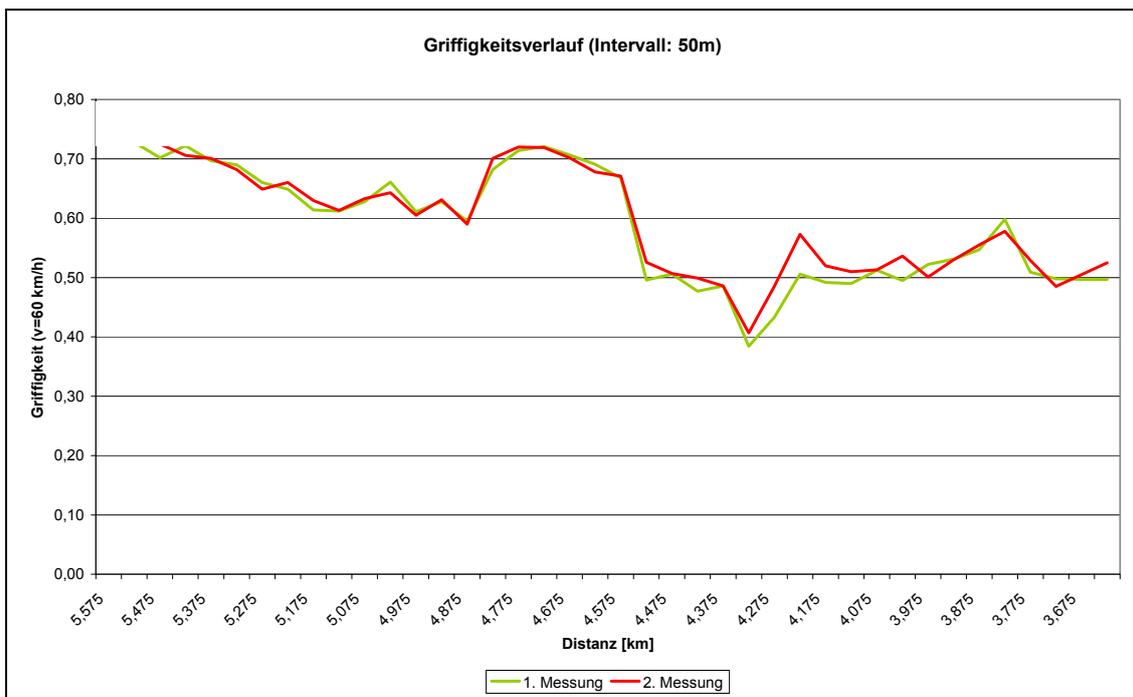


Abb. 4-24:  $\mu$ -km Diagramm in EXCEL

## 4.4 Kalibrierung des Griptesters

### 4.4.1 Allgemeines

Um den Betrieb und die richtige Durchführung der Messung sicherzustellen, sind drei Schritte durchzuführen:

- Kontrolle der Facts
- Schnellüberprüfung
- Kalibrierung

Bei der Schnellüberprüfung wird die Dehnung der Dehnmessstreifen am unbelasteten Messrad in horizontaler und vertikaler Richtung gemessen. Dazu wird das Messrad des GripTester hochgehoben, damit das Messrad keinen Kontakt mit dem Boden hat. Die Anzeige am Display des GripTester darf eine vorgegebene Differenz [46] nicht überschreiten. Erfolgt eine Überschreitung, muss eine Kalibrierung durchgeführt werden.

Eine Kalibrierung sollte bei regelmäßiger Verwendung des Messgerätes einmal im Monat, bzw. vor Beginn einer Messung nach längeren Einsatzpausen durchgeführt werden. Um die Kalibrierung durchführen zu können, muss die Einwirkung des Eigengewichtes des GripTester auf den Dehnmessstreifen des Messrades eliminiert werden. Hierzu wird der GripTester mit Hilfe von standardmäßigen Aufständerungen in die Ausgangslage gebracht (siehe Abb. 4-29) und bei verschiedenen definierten Zugkräften auf die Messradachse der Dehnungsmessstreifen über einen verstellbaren Kleinkondensator justiert.



Abb. 4-29: Aufständerung des GripTester für die Komplettkalibrierung [ISTU-Archiv]

#### 4.4.2 Kontrolle der Facts

Die sogenannte „FACTS-Liste“ ist vor jeder Inbetriebnahme des GripTesters durchzugehen, um sichtbare Fehler bereits vor der ersten Messung zu vermeiden. Dazu muss der GripTester aufgestellt bzw. gekippt werden [46].

##### Free (Frei)

Durch Drehen der Räder wird der Freilauf der Räder, des Messrades sowie der Übertragungskette überprüft.

##### Alignment (Ausrichtung)

Achse und Kette sollten im rechten Winkel zueinander stehen, das heißt, das Kettenrad auf der Antriebsachse sollte sich nicht auf der Welle verschoben haben, die Wasserdüse muss das Wasser direkt vor dem Messrad liefern und das Zahnrad sollte den Abstandssensor abdecken.

##### Chain (Kette)

Das Kettenspiel sollte zwischen 25 und 40 mm um den Mittelpunkt zwischen den Reifen betragen, sonst muss

die Kettenspannung nachjustiert werden. Die Kette sollte leicht mit Kettenöl geölt sein. Es muss darauf geachtet werden, dass kein Öl auf die Reifen gelangt, insbesondere nicht auf den Messreifen.

#### Tyres (Reifen)

Der Reifendruck sollte überall 20 PSI (1,38 bar) betragen und die Reifen müssen frei von Rückständen (z.B. Salz oder Öl) sein. Die Profiltiefe der Antriebsräder muss mindestens 2 mm betragen, die Kontrollbohrung am Messreifen sollte  $\geq 3$  mm sein.

#### Suspension (Federung)

Die Dämpferverbindungen und Federn sollten beim Zusammendrücken sanft zurückfedern und es darf fast kein Seitenspiel in der Federung vorhanden sein [46].

Außerdem muss man überprüfen, dass die farbige Abdeckung des Abstandssensors nicht beschädigt ist.

### **4.4.3 Schnellüberprüfung**

- Den GripTester einschalten und etwa vier Minuten abwarten, da die Belastungsschaltkreise eine entsprechende Aufwärmphase benötigen.
- Den GripTester am Handgriff leicht anheben, sodass das Messrad nicht den Boden berührt.
- Danach muss der Belastungsschalter auf „F<sub>V</sub>“ (siehe Abb. 4-14) gestellt werden und auf dem Display sollte ein Wert von max.  $\pm 0,002$  erscheinen. Ist der angezeigte Wert größer, muss eine Kalibrierung des GripTester durchgeführt werden.
- Anschließend muss der Belastungsschalter auf „F<sub>H</sub>“ (siehe Abb. 4-14) umgestellt werden, wobei auch hier auf dem Display ein max. Wert von  $\pm 0,002$  erscheinen sollte. Ist der angezeigte Wert größer, muss ebenfalls eine vollständige Kalibrierung des GripTester durchgeführt werden.

- Sind die Anzeigen innerhalb der oben angeführten Toleranzen, wird der Belastungsschalter auf  $F_H/F_V$  gestellt, und der GripTester kann zur Messung verwendet werden.

#### **4.4.4 Kalibrierung**

Eine Kalibrierung ist erforderlich:

- wenn mindestens ein Monat seit der letzten Kalibrierung vergangen ist,
- wenn eine zu große Abweichung bei der Schnellüberprüfung auftritt,
- wenn nicht plausible Messergebnisse während der Messung auftreten.

Für die Kalibrierung ist ein trockener, ebener Bereich notwendig. Werkzeug und Kalibriermaterial sind im mitgelieferten Koffer enthalten.

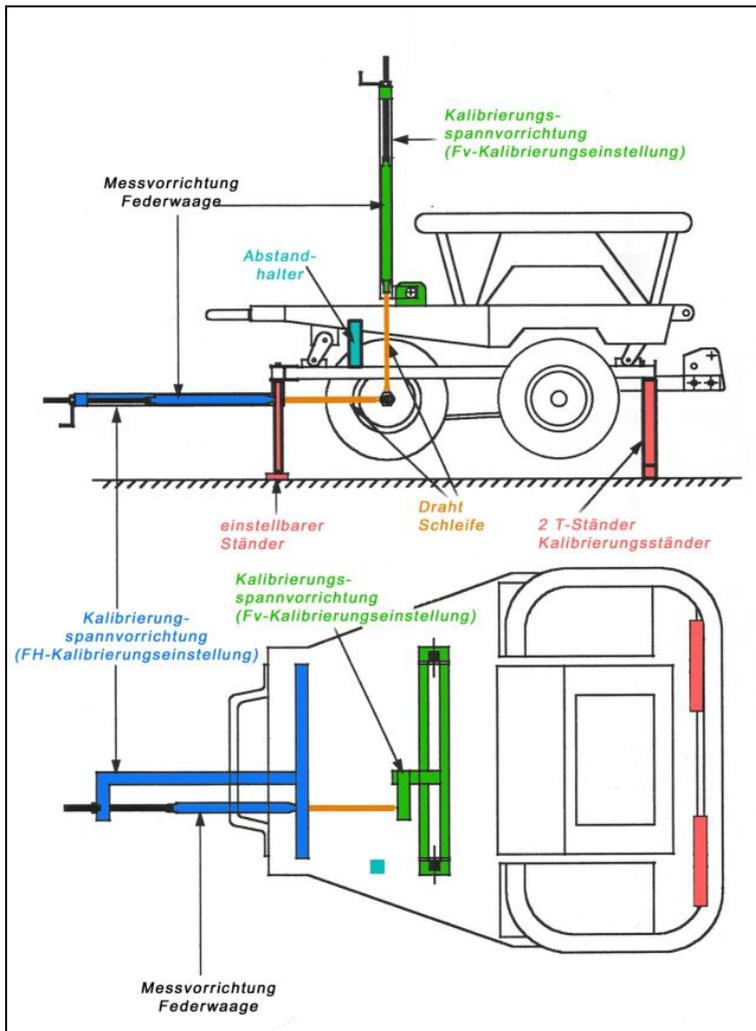


Abb. 4-30: Kalibrierungsanordnung [46]

### Vorbereitung des GripTester zur Kalibrierung

- Der GripTester ist anzuheben und die beiden T-Ständer zur Aufständigung an der Vorderseite unterzustellen (siehe Abb. 4-30).
- Der höhenverstellbare Teleskopständer an der Rückseite des GripTester ist unterzustellen (siehe Abb. 4-30 und Abb. 4-31).
- Den Abstandhalter zwischen Fahrgestellrahmen und Chassis einfügen.
- Den GripTester mit der Wasserwaage horizontrieren.

- Den GripTester einschalten.
- Während die Kalibrierspannvorrichtung senkrecht gehalten wird, muss die Anzeige der Federwaage genau auf Null ausgerichtet sein.

### **Vertikale Kalibrierung ( $F_V$ )**

- Die verwendeten Werte und Einstellungen für die Kalibrierung sind dem GripTester Handbuch [46] zu entnehmen.
- Den Belastungsschalter auf die Schalterstellung „ $F_V$ “ stellen. Auf dem Display soll der Wert  $0 \pm 0,000$  angezeigt werden. Wird ein anderer Wert angezeigt, muss mit der Schraube „vertikale Nullstellung“ der Sollwert eingestellt werden.
- Die Kalibrierspannvorrichtung ist senkrecht am GripTester zu montieren (siehe Abb. 4-32) und mittels zwei Stiften am Rahmen zu befestigen.
- Die Drahtschleife der Kalibrierspannvorrichtung ist durch das dafür vorgesehene Loch am GripTester zu stecken und in die Nut auf der Messradachse (siehe Abb. 4-31) einzuhängen.
- Die Federwaage der Kalibrierspannvorrichtung ist mit der Kurbel auf 17,4 kg zu stellen.
- Anschließend sollte der GripTester leicht gerüttelt werden, um Spannungen im Messsystem zu lösen. Danach ist die Federwaage zu kontrollieren und gegebenenfalls auf 17,4 kg nachzujustieren.
- Auf dem Display muss die Anzeige  $0,400 \pm 0,000$  erscheinen, im Falle einer Abweichung ist eine Nachjustierung notwendig, die mit der Schraube „vertikale lineare Adjustierung“ auf den Wert  $0,400 \pm 0,000$  erfolgen kann.

- Der Belastungsschalter ist auf „F<sub>H</sub>“ zu stellen, das Display muss aufgrund der Aufständering den Wert  $0,000 \pm 0,010$  anzeigen.
- Der Belastungsschalter ist wieder auf F<sub>V</sub> zurück zustellen.
- Die Federwaage ist jetzt auf 8,7 kg einzustellen (halbe Belastungskraft).
- Das Display muss jetzt  $0,200 \pm 0,004$  anzeigen. Ist eine größere Abweichung gegeben, muss die Kalibrierung nochmals von Beginn an durchgeführt werden oder der GripTester beim Vertriebspartner überprüft werden.
- Die Federwaage ist vollständig zu entlasten und das Drahtseil ist aus der Nut der Messradachse zu nehmen.
- Die Kalibrierspannvorrichtung kann nun vom GripTester abmontiert werden.



Abb. 4-31: Vertikale Kalibrierung [ISTU-Archiv]

### **Horizontale Kalibrierung ( $F_H$ )**

- Die verwendeten Werte und Einstellungen für die Kalibrierung sind dem GripTester Handbuch [46] zu entnehmen.
- Den Belastungsschalter auf die Schalterstellung „ $F_H$ “ stellen
- Auf dem Display soll der Wert  $0 \pm 0,000$  angezeigt werden. Wird ein anderer Wert angezeigt, muss mit der Schraube „vertikale Nullstellung“ der Sollwert eingestellt werden.
- Die Kalibrierspannvorrichtung ist waagrecht am GripTester zu montieren (siehe Abb. 4-30) und mit zwei Stiften am Rahmen zu befestigen.
- Die Drahtschleife der Kalibrierspannvorrichtung ist in die Nut der Messradachse einzuhängen (siehe Abb. 4-30).
- Die Federwaage der Kalibrierspannvorrichtung ist mit der Kurbel auf 11,0 kg zu stellen.
- Anschließend sollte der GripTester leicht gerüttelt werden, um Spannungen im Messsystem zu lösen. Danach ist die Federwaage zu kontrollieren und gegebenenfalls auf 11,0 kg nachzujustieren.
- Auf dem Display muss die Anzeige  $0,200 \pm 0,000$  erscheinen, im Falle einer Abweichung ist eine Nachjustierung notwendig, die mit der Schraube „horizontale lineare Adjustierung“ erfolgen kann.
- Die Federwaage ist jetzt auf 5,5 kg einzustellen (halbe Belastungskraft).
- Das Display muss jetzt  $0,100 \pm 0,004$  anzeigen. Ist eine größere Abweichung gegeben, muss die Kalibrierung nochmals durchgeführt oder der Vertriebspartner für eine Wartung kontaktiert werden.

- Die Federwaage ist vollständig zu entlasten und das Drahtseil ist aus der Nut der Messradachse zu nehmen.
- Die Kalibrierspannvorrichtung kann nun vom GripTester abmontiert werden.

### **Kalibrierungsabschluss**

Die Kalibrierung wird mit dem Ausschalten des GripTester, dem Entfernen des Abstandhalters, der beiden T-Ständer, dem Teleskopständer und dem Umschalten des Belastungsschalters auf  $F_H/F_v$  abgeschlossen.

## **5 DURCHGEFÜHRTES MESSPROGRAMM**

### **5.1 Allgemeines**

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden Griffigkeitsmessungen mit dem Messsystem GripTester (GT135) des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung (ISTU) der TU Wien auf dem österreichischen Straßennetz durchgeführt.

Die Messungen waren Teil eines Forschungsprojektes des BMVIT, welches gemeinsam von ISTU und arsenal research durchgeführt wurde. Das Messprogramm wurde in Abstimmung mit dem Messplan des RoadSTAR erstellt.

Es galt Wiederholmessungen durchzuführen, um die Wiederholgenauigkeit des GripTesters bei verschiedenen Auswerteintervallen und Geschwindigkeiten zu ermitteln.

Ziel dieser Diplomarbeit war es, die Veränderung der Wiederholgenauigkeit bei unterschiedlichen Auswerteintervallen zu bestimmen und mit jener des RoadSTAR zu vergleichen.

### **5.2 Messstrecken**

Die Griffigkeitsmessungen wurden auf 11 Messstrecken mit einer Länge von zwei Kilometern (siehe Tab. 5.1) in den oberösterreichischen Bezirken Linz Land, Perg und Freistadt im Juli 2005 durchgeführt. Für die Datenauswertung wurden zusätzlich noch Ergebnisse von Messungen im September bzw. Oktober 2006 auf der Inntalautobahn A12, die mit 4 km Länge und acht verschiedenen Deckschichten für die Untersuchung interessant war, und der Burgenländischen Schnellstraße S31 herangezogen.

Nr.	Messstrecke	Kilometrierung [km]		Deckschicht	Baujahr	Messdatum
		Start	Ende			
1	L564	10,0	8,0	SMA 11	1993/94	28.07.2005
2	L570	9,8	12,2	AB 11	1975-84/2001/2004	21.07.2005
3	L579	6,0	4,0	OBH VS 2	1996/98	12.07.2005
4	L1349	11,0	13,0	BTD 16	1995/97	27.07.2005
5	L1374	3,0	1,0	AB 11	1998	29.07.2005
6	L1403	5,6	3,6	BTD 16	1997	27.07.2005
7	L1404_a	8,0	10,0	AB 11	1996	27.07.2005
8	L1404_b	3,6	5,6	BTD 16	2004/05	27.07.2005
9	L1422	4,0	2,0	AB 8	1995-99	21.07.2005
10	L1423	14,2	12,2	BTD 16	2000-02	21.07.2005
11	L1471	14,0	16,0	OBH 8, AB 11	2004/2001	14.07.2005
12	S31	50,0	52,0	SMA 11	2001	01.09.2006
13	A12 <sup>1)</sup>	6,3	11,3	LSMA 8	2005	16.10.2006
		6,8	7,3	LSMA 11		16.10.2006
		7,3	7,8	SMA 11		16.10.2006
		7,8	8,3	LSMA 11		16.10.2006
		8,3	8,8	ZDA 8		16.10.2006
		8,8	9,2	ZDA 8		16.10.2006
		9,2	9,8	DA 8		16.10.2006
		9,8	10,3	AB 11		16.10.2006

<sup>1)</sup> A12: 4 km Länge

Tab. 5-1: Messstrecken

### 5.3 Messablauf

Auf jeder Messstrecke wurden 5 Messfahrten durchgeführt:

- eine Nullmessung mit 60 km/h,
- sowie zwei Wiederholungsmessungen sowohl mit 60 km/h als auch mit 40 km/h

Die Messungen erfolgten in der rechten Fahrspur und mit einer theoretischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm. Zusätzlich wurden vor jeder Messfahrt Luft-, Fahrbahn- und Messreifentemperatur gemessen und dokumentiert.

Allgemein			Temperatur [°C]			Daten			Sonstiges
Nr.	Messung	Wetter	Luft	Fahr- bahn	Reifen	Speed [km/h]	WFD [mm]	MW [μGT]	Anmerkung
1	0. Messung	sonnig	18	28	19	60	0,5	0,54	
	1. Messung		18	28	19	60	0,5	0,55	
	2. Messung		18	28	19	60	0,5	0,56	
	3. Messung		19	25	19	40	0,5	0,64	
	4. Messung		19	25	19	40	0,5	0,63	
2	0. Messung	sonnig	20	26	24	60	0,5	0,61	Radfahrer
	1. Messung		20	26	21	60	0,5	0,65	Behinderung am Messende
	2. Messung		20	27	22	60	0,5	0,62	
	3. Messung		20	27	22	60	0,5	0,61	
	4. Messung		20	27	21	40	0,5	0,69	
	5. Messung		20	27	21	40	0,5	0,69	
3	0. Messung	sonnig	22	25	24	60	0,5	0,71	Fehlkilometrierung
	1. Messung		23	30	24	60	0,5	0,71	Fehlkilometrierung
	2. Messung		23	30	24	60	0,5	0,71	Fehlkilometrierung
	3. Messung		31	36	33	60	0,5	0,66	Am Folgetag gemessen
	4. Messung		31	36	33	40	0,5	0,80	
	5. Messung		31	36	33	40	0,5	0,79	
4	0. Messung	sonnig	23	32	15	60	0,5	0,51	
	1. Messung		22	30	22	60	0,5	0,51	
	2. Messung		22	30	22	60	0,5	0,53	
	3. Messung		22	30	21	40	0,5	0,62	
	4. Messung		22	30	21	40	0,5	0,61	
5	0. Messung	sonnig	21	32	20	60	0,5	0,54	
	1. Messung		21	29	22	60	0,5	0,57	
	2. Messung		21	29	22	60	0,5	0,57	
	3. Messung		24	30	26	40	0,5	0,65	
	4. Messung		24	30	26	40	0,5	0,66	
6	0. Messung	sonnig	24	35	27	60	0,5	0,58	
	1. Messung		25	35	27	60	0,5	0,59	
	2. Messung		25	35	27	60	0,5	0,6	
	3. Messung		25	35	27	40	0,5	0,63	
	4. Messung		25	35	27	40	0,5	0,62	
7	0. Messung	sonnig	19	26	19	60	0,5	0,52	
	1. Messung		21	27	19	60	0,5	0,51	
	2. Messung		21	27	19	60	0,5	0,54	
	3. Messung		24	29	22	40	0,5	0,61	
	4. Messung		24	29	22	40	0,5	0,62	

Tab. 5-2: Durchgeführte Messfahrten

Allgemein			Temperatur [°C]						Sonstiges
Nr.	Messung	Wetter	Luft	Fahr- bahn	Reifen	Speed [km/h]	WFD [mm]	MW [μGT]	Anmerkung
8	0. Messung	sonnig	22	33	23	60	0,5	0,64	
	1. Messung		22	33	23	60	0,5	0,67	
	2. Messung		22	33	23	60	0,5	0,68	
	3. Messung		20	33	23	40	0,5	0,73	
	4. Messung		20	33	23	40	0,5	0,74	
9	0. Messung	sonnig	16	19	15	60	0,5	0,57	
	1. Messung		16	19	17	60	0,5	0,63	
	2. Messung		16	19	17	60	0,5	0,62	
	3. Messung		17	23	21	40	0,5	0,69	
	4. Messung		17	23	21	40	0,5	0,72	
10	0. Messung	bewölkt	20	25	20	60	0,5	0,62	
	1. Messung		20	25	21	60	0,5	0,61	
	2. Messung		20	25	21	60	0,5	0,61	
	3. Messung		20	22	20	40	0,5	0,70	leichter Nieselregen
	4. Messung		20	22	20	40	0,5	0,70	Regenbeginn
11	0. Messung	sonnig	23	30	24	60	0,5	0,66	Nullmessung, Messauflösung 5m
	1. Messung		23	30	24	60	0,5	0,68	
	2. Messung		23	30	24	60	0,5	0,67	Ausweichen
	3. Messung		23	30	24	60	0,5	0,67	
	4. Messung		31	34	32	60	0,5	0,72	Nullmessung, höher als Vortag!
	5. Messung		31	36	33	40	0,5	0,74	
	6. Messung		31	36	33	40	0,5	0,72	
12	0. Messung	sonnig	21	30	23	60	0,5	0,70	
	1. Messung		21	30	19	60	0,5	0,70	
	2. Messung		21	31	24	60	0,5	0,70	
	3. Messung		21	31	19	40	0,5	0,77	
	4. Messung		21	31	25	40	0,5	0,80	
13	0. Messung	sonnig	23	27	19	60	0,5	0,72	Messauflösung 1m
	1. Messung		23	27	19	60	0,5	0,74	
	2. Messung		23	27	19	60	0,5	0,71	
	3. Messung		21	28	23	40	0,5	0,81	
	4. Messung		21	28	23	40	0,5	0,82	

Tab. 5-2: Durchgeführte Messfahrten (Fortsetzung)

## 6 STATISTISCHE AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

### 6.1 Allgemeine statistische Grundlagen

Als Grundlage für die Auswertung der Messergebnisse dient die *DIN ISO 5725-2* [49] „Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen; Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederholpräzision und Vergleichspräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens“.

Die DIN ISO 5725 benutzt die beiden Ausdrücke „Richtigkeit“ und „Präzision“, um die Genauigkeit eines Messverfahrens zu beschreiben. „Richtigkeit“ bezieht sich auf das Ausmaß der Annäherung zwischen dem Mittelwert einer großen Anzahl von Ermittlungsergebnissen und dem wahren oder richtigen Wert. „Präzision“ bezieht sich auf das Ausmaß der gegenseitigen Annäherung von Ermittlungsergebnissen.

Eine Betrachtung der Präzision ist erforderlich, weil Untersuchungen an vermutlich identischem Material unter vermutlich identischen Bedingungen im Allgemeinen nicht zu identischen Ergebnissen führen. Dies ist auf unvermeidliche Zufallsabweichungen zurückzuführen, die jedem Messverfahren eigen sind, da die das Ermittlungsergebnis beeinflussenden Faktoren nicht alle vollständig beherrscht werden können. Beispielsweise kann die Differenz zwischen einem Ermittlungsergebnis und einem vorgegebenen Wert im Rahmen unvermeidbarer Zufallsabweichungen liegen. In einem solchen Fall kann dann eine tatsächliche Abweichung von einem solchen vorgegebenen Wert nicht festgestellt werden. In ähnlicher Weise wird ein Vergleich der Ermittlungsergebnisse von zwei Materialien keinen wesentlichen Beschaffenheitsunterschied anzeigen, wenn deren Unterschied der dem Messverfahren eigenen Schwankung zugeordnet werden kann.

Viele unterschiedliche Faktoren können (abgesehen von Streuungen zwischen vermeintlich identischen Proben) zu den Schwankungen der Ergebnisse eines Messverfahrens beitragen, dazu gehören:

- a) der Bearbeiter,
- b) die verwendeten Geräte,
- c) die Kalibrierung der Geräte,
- d) die Umgebung (Temperatur, Feuchte, Luftverschmutzung usw.),
- e) der Zeitabstand zwischen den Messungen.

Die Streuung zwischen den Ergebnissen von Messungen, die durch verschiedene Bearbeiter und/oder mit verschiedenen Geräten durchgeführt wurden, wird meist größer sein, als die Streuung zwischen (den Ergebnissen von) Messungen, die in kurzem Zeitabstand durch einen einzigen Bearbeiter mit demselben Gerät ausgeführt wurden.

„Präzision“ ist die allgemeine Benennung für die Streuung zwischen (den Ergebnissen von) wiederholten Messungen. Zwei Präzisionsbedingungen werden für zahlreiche Fälle benötigt, nämlich „Wiederholbedingungen“ und „Vergleichbedingungen“, um die Streuung eines Messverfahrens zu beschreiben. Unter Wiederholbedingungen werden die obigen Faktoren a) bis e) als unverändert betrachtet, die nicht zur Streuung beitragen, während sie unter Vergleichbedingungen variieren und zur Streuung der Ermittlungsergebnisse beitragen [50].

### 6.1.1 Mittelwert $y_{ij}$

Die beiden praktisch wichtigsten Maßzahlen sind der Mittelwert, der die durchschnittliche Größe der Stichprobenwerte kennzeichnet, und die Varianz, die misst, wie stark diese Werte streuen [51].

Der Mittelwert  $y_{ij}$  einer Stichprobe ist definiert als das arithmetische Mittel der Stichprobenwert und ergibt sich wie folgt

$$y_{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{k=1}^{n_{ij}} y_{ijk}$$

Gleichung 6-1

$n_{ij}$  Anzahl der Wiederholmessungen je Zelle  
 $y_{ijk}$  Messergebnisse je Zelle  
 $y_{ij}$  arithmetischer Mittelwert je Zelle

### 6.1.2 Standardabweichung $s_{ij}$

Um den Unterschied mehrerer Mittelwerte zu erfassen, ist eine weitere Maßzahl notwendig – die Varianz. Sie wird mit  $s^2$  bezeichnet und ist das Quadrat der Standardabweichung  $s_{ij}$ , welche durch die Formel

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n_{ij} - 1} \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - y_{ij})^2} \quad \text{Gleichung 6-2}$$

- $n_{ij}$  Anzahl der Wiederholmessungen je Zelle
- $s_{ij}$  Standardabweichung je Zelle
- $y_{ijk}$  Messergebnisse je Zelle
- $y_{ij}$  arithmetischer Mittelwert je Zelle

definiert ist. Die Begriffe Varianz oder Streuung einerseits und Standardabweichung andererseits werden leider in der Praxis häufig durcheinander gebracht.

Die theoretische Standardabweichung  $\sigma$  ist der Wert, dem die empirische Standardabweichung  $s$  zustrebt, wenn  $n$  gegen unendlich geht.

### 6.1.3 Wiederholstandardabweichung $s_r$

Die Wiederholstandardabweichung  $s_r$  ist jene Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, die unter Wiederholbedingungen gewonnen wird. Sie ist ein Maß für die Breite der Verteilung von Ermittlungsergebnissen unter Wiederholbedingungen und wird nach folgender Gleichung, für jedes Messniveau getrennt, ermittelt [49]:

$$s_{rj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1) s_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1)}} \quad \text{Gleichung 6-3}$$

- $n_{ij}$  Anzahl der Ermittlungsergebnisse je Labor und Merkmalsniveau
- $s_{ij}^2$  Varianz innerhalb einer Zelle eines Merkmalsniveau
- $s_{rj}$  Wiederholvarianz eines Merkmalsniveaus

Die Wiederholgenauigkeit  $s_r$  wird im Rahmen von Ringversuchen ermittelt. Die Wiederholstandardabweichung eines einzelnen Messgerätes wird mit  $s_w$  bezeichnet.

## **6.2 Auswertung der Messergebnisse**

### **6.2.1 Datenbasis**

Auf den 13 Messstrecken wurden die Reibungsbeiwerte in einem 5-m-Intervall aufgezeichnet. Nur auf der A12 wurden ein 1-m-Intervall gewählt, um hier die Übergänge zwischen den Deckschichten besser lokalisieren zu können. Für die weitere Auswertung wurden die Abschnittslängen 5 m, 10 m, 50 m und 100 m untersucht.

Am Beispiel der Messstrecke L1403 wurden die Ergebnisverläufe der einzelnen Griffigkeitsmessungen für die unterschiedlichen Intervalle verglichen. Bei den Messschrieben der Messstrecke L1403 sieht man, dass die einzelnen Messfahrten, je größer das Messintervall wird, immer besser miteinander korrelieren und Spitzen durch größere Abschnittsbildung wegfallen (siehe Abb. 6-1 bis 6-4). Im Anhang sind die Ergebnisverläufe aller Messstrecken dargestellt.

**Messwerte bei 60 km/h**

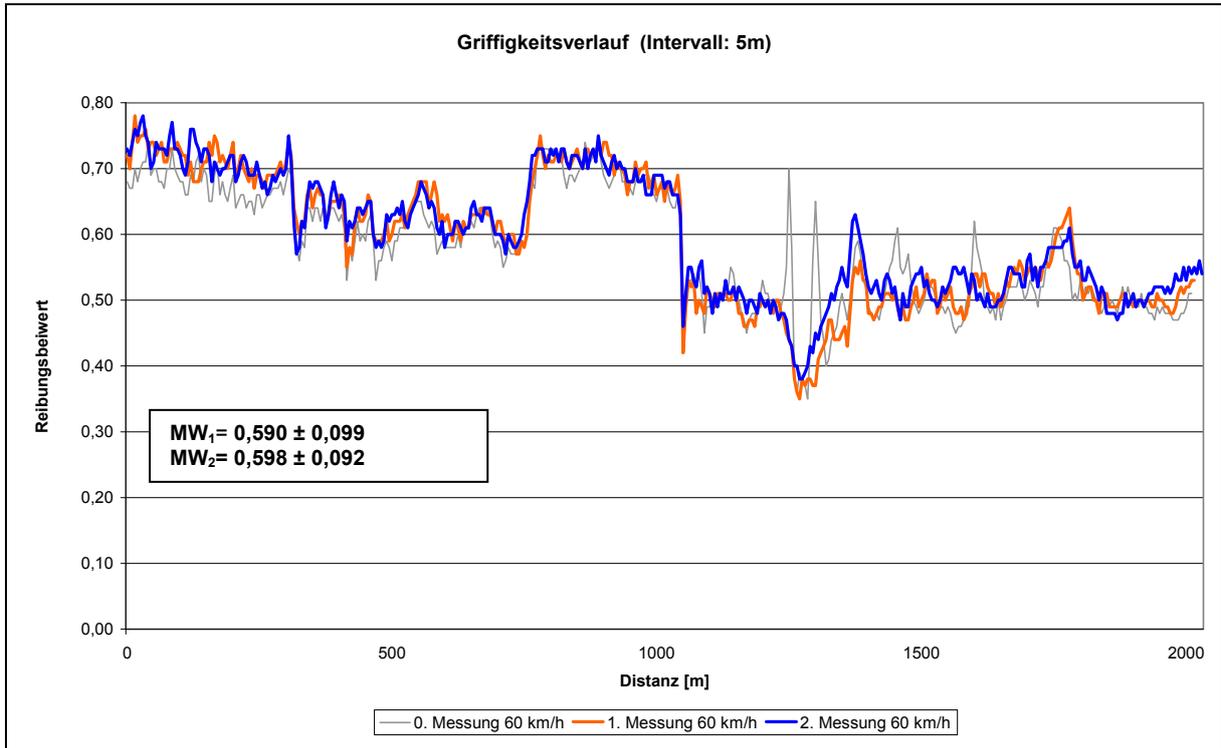


Abb. 6-1: Reibungsbeiwerte mit 60 km/h im 5 m Intervall

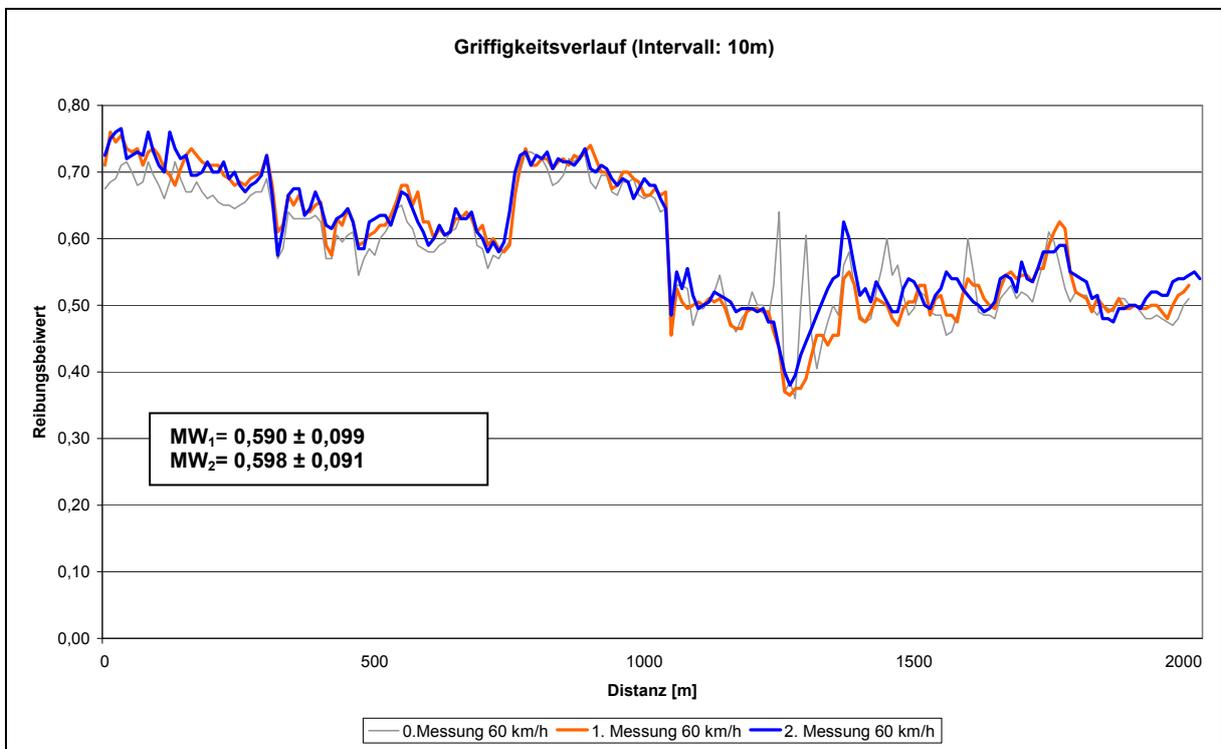


Abb. 6-2: Reibungsbeiwerte mit 60 km/h im 10 m Intervall

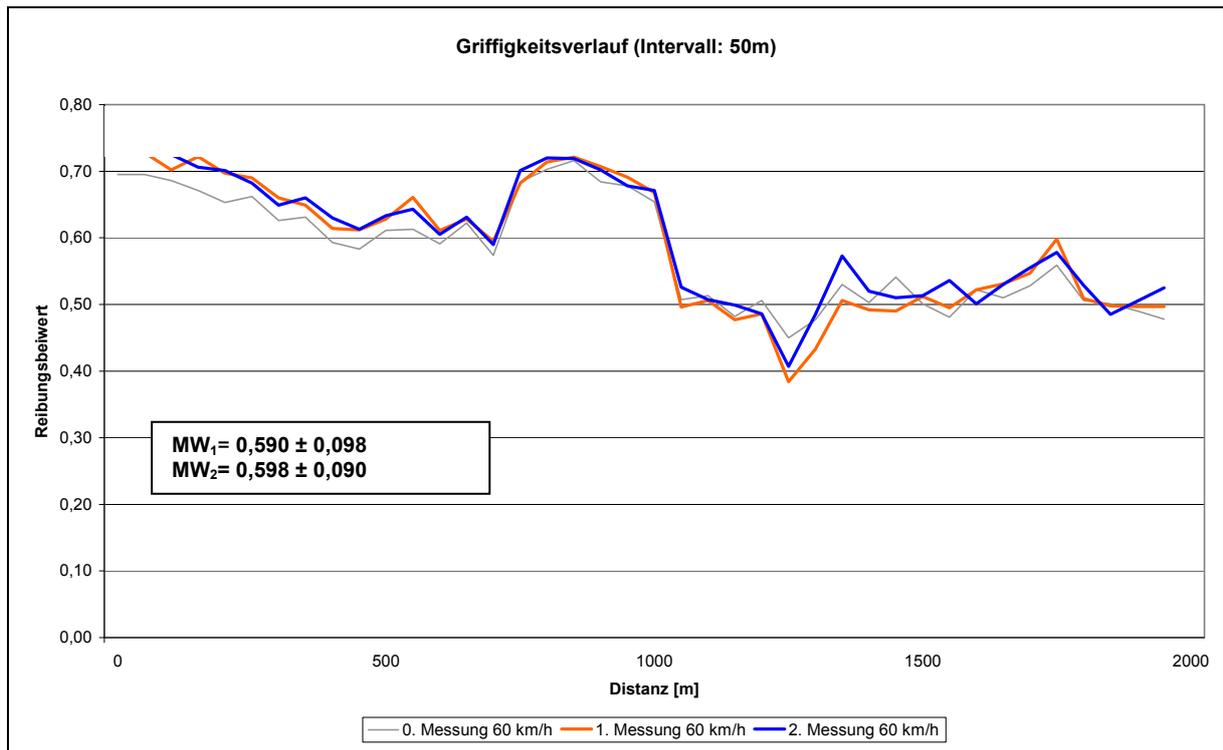


Abb. 6-3: Reibungsbeiwerte mit 60 km/h im 50 m Intervall

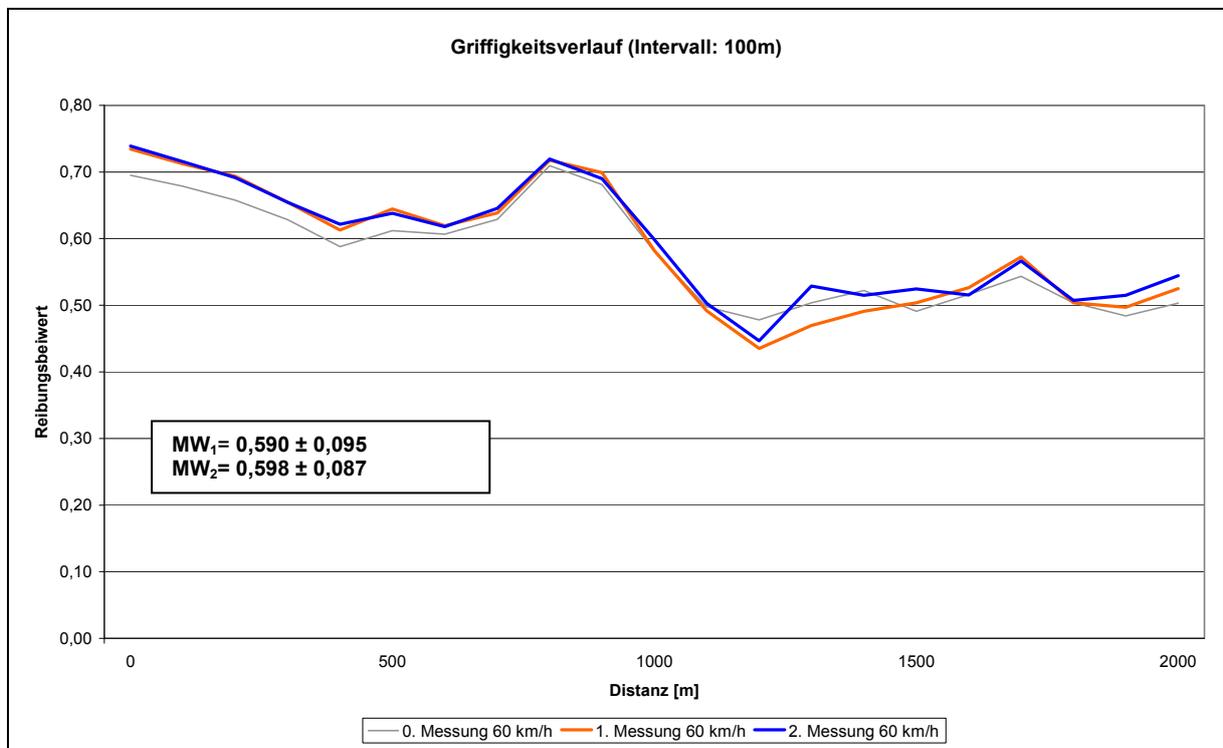


Abb. 6-4: Reibungsbeiwerte mit 60 km/h im 100 m Intervall

### 6.2.2 Ermittlung der Wiederholstandardabweichung

Bei der Auswertung wurde vorerst jede einzelne Messstrecke für sich betrachtet und in weiterer Folge alle Messstrecken zusammengefasst.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 6-7 bis Abb. 6-9) sind die Ergebnisse der Wiederholstandardabweichung jeder Messstrecke sowohl mit 60 km/h als auch mit 40 km/h mit dem GripTester GT 135 der TU Wien für die Auswertintervalle 5 m, 10 m, 50 m, 100 m dargestellt. In Abb. 6-7 wurden alle 3 Messungen mit 60 km/h zur Ermittlung der Wiederholstandardabweichung herangezogen. Da die Nullmessung (Reinigungsfahrt) im Regelfall von den folgenden deutlich abwich, wurde die Wiederholstandardabweichung auch nur für die 1. + 2. Messung mit 60 km/h berechnet. Wie beim Vergleich der Abbildungen 6-7 und 6-8 zu sehen ist, verbessert sich die Wiederholbarkeit wesentlich, wenn man die Nullmessung weglässt, vor allem für die Strecken L579 und L1423. In Abb. 6-9 ist die Wiederholstandardabweichung für die 1. + 2. Messung mit 40 km/h dargestellt.

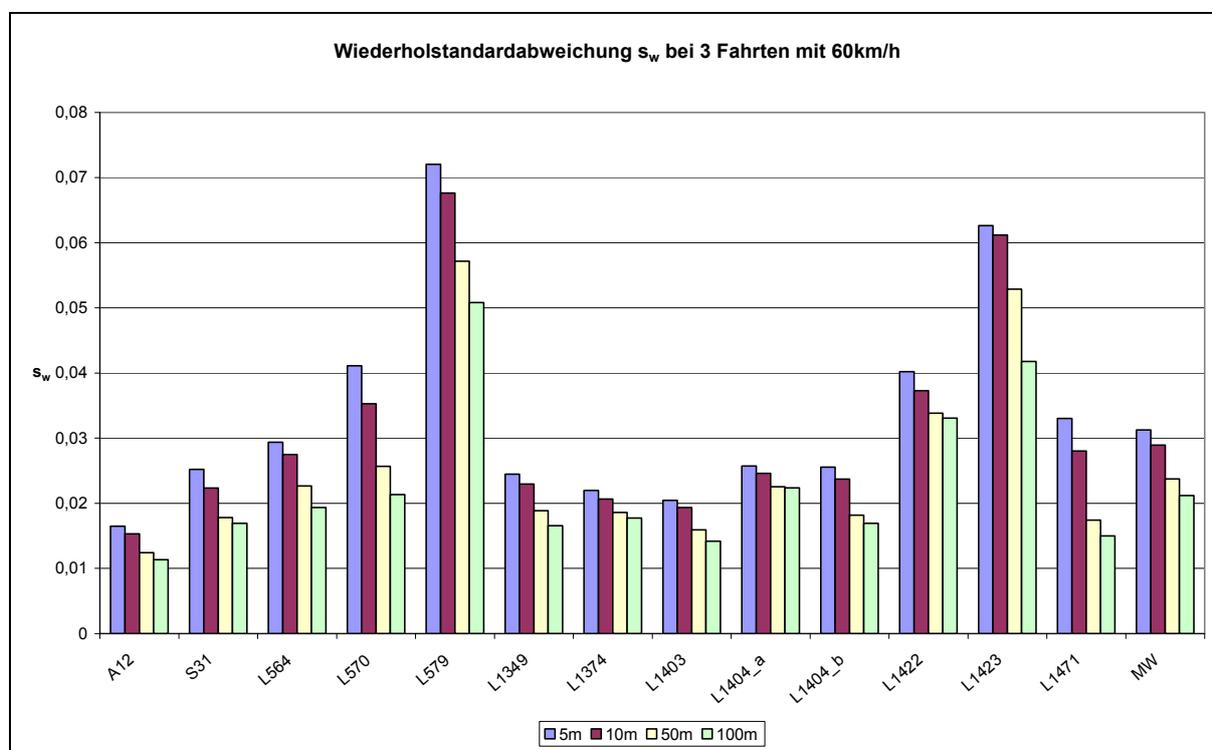


Abb. 6-7: Wiederholstandardabweichung  $s_w$  mit 60 km/h

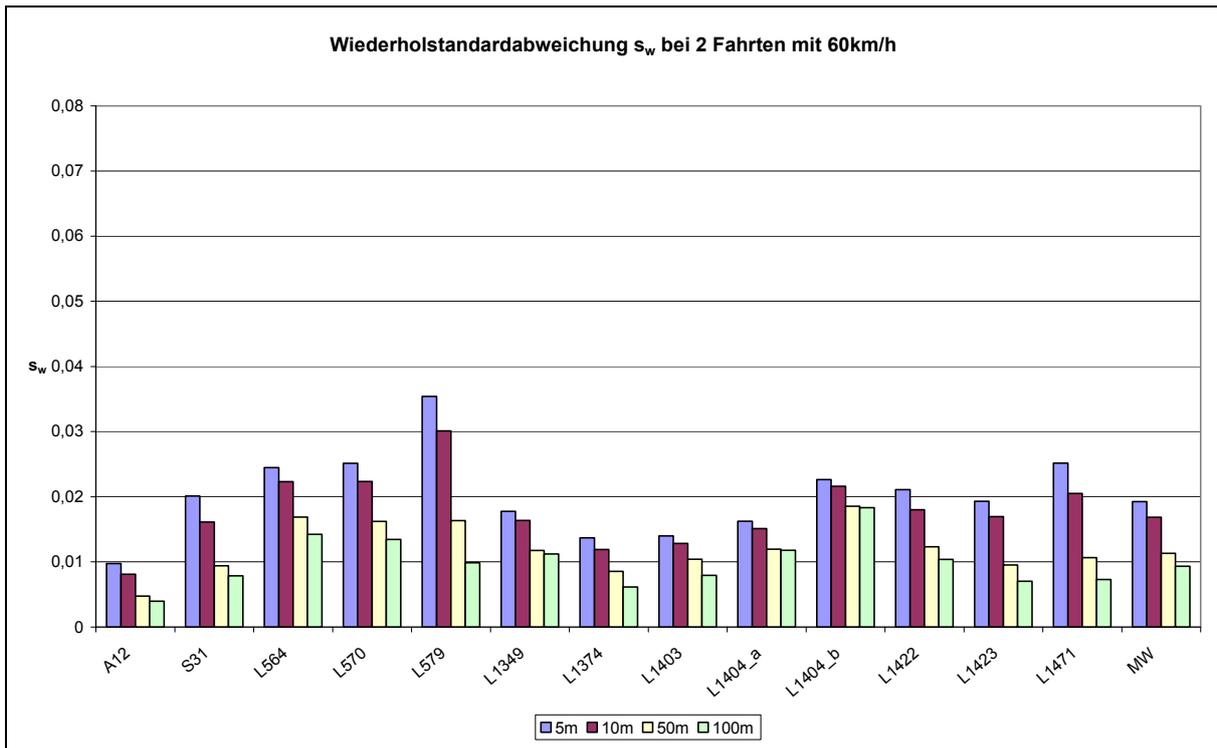


Abb. 6-8: Wiederholstandardabweichung  $s_w$  bei 2 Fahrten mit 60 km/h (ohne Nullmessung)

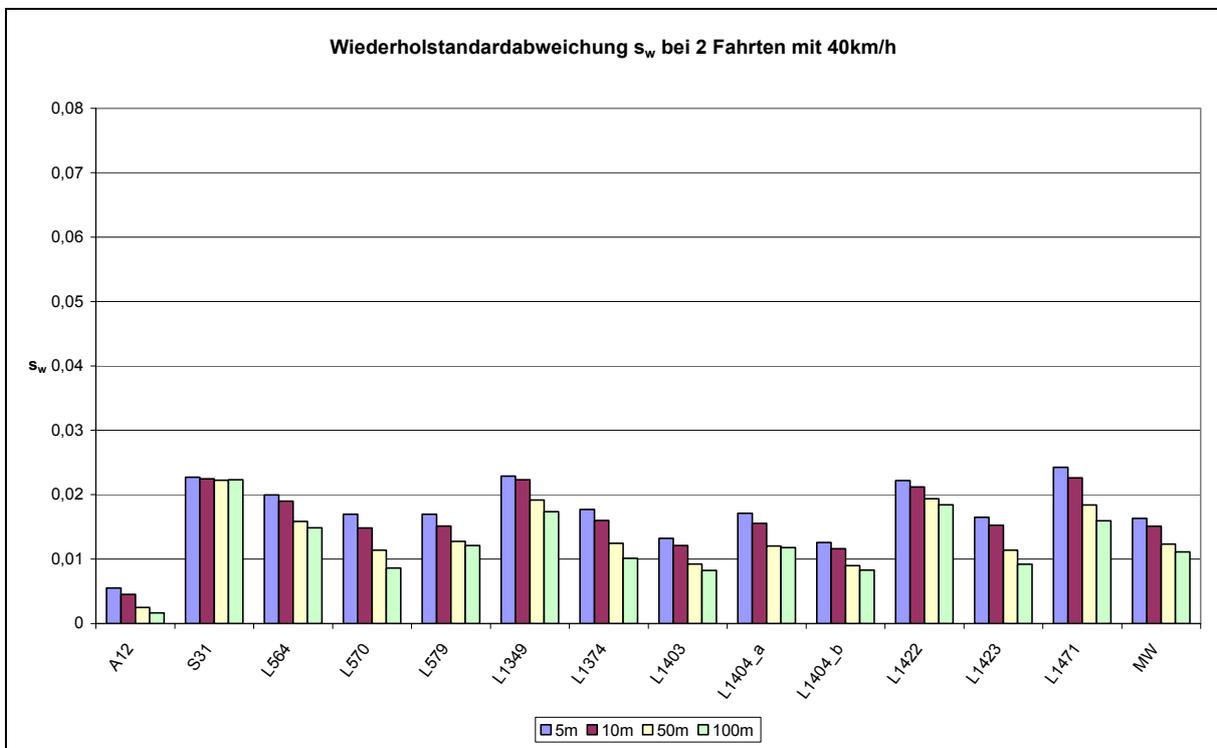


Abb. 6-9: Wiederholstandardabweichung  $s_w$  bei 2 Fahrten mit 40 km/h

Vergleicht man die Wiederholstandardabweichung  $s_w$  für die einzelnen Intervalle und nimmt das 50 m Intervall als Referenz sieht man, dass sich diese auffällig von einander (siehe Tab. 6-1) unterscheiden.

Wiederholstandardabweichung $s_w$ aller Messfahrten				
km/h	Intervall			
	5 m	10 m	50 m	100 m
60	0,0193	0,0169	0,0113	0,0093
Unterschied [%]	+70	+50		-17
40	0,0163	0,0151	0,0124	0,0111
Unterschied [%]	+31	+22		-10

Tab. 6-1: Veränderung der Wiederholgenauigkeit

Die Präzision bei einem kurzen Auswertintervall ist bei 40 km/h besser als bei 60 km/h. Ab einem Intervall von 50 m macht die Messgeschwindigkeit keinen wesentlichen Unterschied bei der Präzision aus.

## 6.3 Vergleich der Messgenauigkeit GripTester - RoadSTAR

### 6.3.1 Messgenauigkeit RoadSTAR

Zur Festlegung der Messgenauigkeit der Griffigkeitsmesseinrichtung am Messsystem RoadSTAR wird die Wiederholbarkeit herangezogen. Dafür wurden auf 15 unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen je 3 Messungen auf einer mindestens 2 km langen Messstrecke unmittelbar hintereinander durchgeführt, wobei nur die 2. und 3. Messung zur Bestimmung der Messgenauigkeit herangezogen wurden. Für jede Messstrecke wurden die auf 50 m gemittelten Messwerte der Erst- und Wiederholungsmessung einander gegenübergestellt, sodass die Differenzen der Mittelwerte der beiden Messfahrten erkennbar wurden. Zudem wurde die doppelte Standardabweichung der Differenzen der gemittelten 50 m-Messwerte der beiden Messfahrten berechnet und ausgewiesen. Folgende Genauigkeit wurde – bei Einhaltung der gleichen Messspur – erreicht. Dabei wurden bei 2 Strecken diese Grenzwerte je einmal überschritten [36].

Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$\Delta\mu \leq 0,03$
doppelte Standardabweichung der Differenzen der Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$2\sigma \leq 0,05$

Tab.6-2: Messtoleranz für den RoadSTAR [36]

### 6.3.1 Messgenauigkeit GripTester

Nach dem selben Verfahren wie für den RoadSTAR wurde die Wiederholgenauigkeit für den GripTester ermittelt.

In den Tabellen 6-3 und 6-4 ist die Wiederholbarkeit für den GripTester je Messstrecke für 40 bzw. 60 km/h dargestellt. Die rot markierten Zellen zeigen eine Überschreitung der Grenzwerte von Tab. 6-2 an.

Beim Vergleich der Tabellen 6-3 und 6-4 mit der Tabelle 6-2, „Messgenauigkeit RoadSTAR“, sieht man, dass die Differenz der Mittelwerte einmal und die zulässige doppelte Standardabweichung, zweimal bei 60 km/h und dreimal bei 40 km/h, überschritten wurde.

Das Kriterium  $\Delta\mu \leq 0,03$  stellte für den GripTester also kein Problem dar. Der Grenzwert  $2\sigma \leq 0,05$  wird allerdings teilweise (fünfmal) überschritten.

Strecke [2km]	Griffigkeitswerte bei 40 km/h bei 50 m Intervallen					
	Fahrt 1		Fahrt 2		$\Delta MW^{1)}$	$2\sigma^{2)}$
	1. MW	$\sigma$	2. MW	$\sigma$		
L564	0,639	0,035	0,630	0,033	0,009	0,051
L570	0,693	0,060	0,694	0,056	0,001	0,041
L579	0,802	0,040	0,791	0,050	0,011	0,044
L1349	0,618	0,073	0,610	0,069	0,008	0,072
L1374	0,647	0,039	0,656	0,035	0,009	0,050
L1403	0,627	0,099	0,621	0,096	0,006	0,034
L1404_a	0,726	0,044	0,742	0,038	0,016	0,027
L1404_b	0,610	0,033	0,614	0,032	0,004	0,031
L1422	0,690	0,055	0,716	0,055	0,026	0,038
L1423	0,703	0,065	0,698	0,058	0,005	0,041
L1471	0,736	0,094	0,723	0,086	0,013	0,058
S31	0,767	0,034	0,735	0,030	0,032	0,032
A12 <sup>3)</sup>	0,737	0,036	0,737	0,036	0,000	0,010

<sup>1)</sup> Differenz der Mittelwerte der Fahrten 1 und 2

<sup>2)</sup> doppelte Standardabweichung der Differenzen der Einzelmesswerte der Fahrten 1 und 2

<sup>3)</sup> Streckenlänge 4 km

Tab. 6-3: Messgenauigkeit mit 40 km/h

Strecke [2km]	Griffigkeitswerte bei 60 km/h bei 50 m Intervallen					
	Fahrt 1		Fahrt 2		$\Delta MW^{1)}$	$2\sigma^{2)}$
	1. MW	$\sigma$	2. MW	$\sigma$		
L564	0,548	0,072	0,564	0,061	0,016	0,049
L570	0,634	0,077	0,619	0,072	0,015	0,057
L579	0,708	0,073	0,710	0,073	0,002	0,062
L1349	0,514	0,059	0,528	0,060	0,014	0,036
L1374	0,570	0,039	0,569	0,042	0,001	0,031
L1403	0,590	0,081	0,598	0,090	0,008	0,038
L1404_a	0,668	0,044	0,684	0,041	0,016	0,022
L1404_b	0,510	0,046	0,533	0,048	0,023	0,043
L1422	0,626	0,082	0,621	0,092	0,005	0,044
L1423	0,613	0,068	0,612	0,067	0,001	0,037
L1471	0,680	0,093	0,670	0,096	0,010	0,031
S31	0,668	0,044	0,666	0,041	0,002	0,035
A12 <sup>3)</sup>	0,695	0,043	0,697	0,039	0,002	0,018

<sup>1)</sup> Differenz der Mittelwerte der Fahrten 1 und 2

<sup>2)</sup> doppelte Standardabweichung der Differenzen der Einzelmesswerte der Fahrten 1 und 2

<sup>3)</sup> Streckenlänge 4 km

Tab. 6-4: Messgenauigkeit mit 60 km/h

## 6.4 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Wiederholgenauigkeit sehr von der Länge des Auswertintervalls abhängig ist. Die Veränderung kann bei Erhöhung des Auswertintervalls eine deutliche Verbesserung der Wiederholgenauigkeit ausmachen (siehe Tab. 6-1).

In Österreich wurde die Messgenauigkeit für das Standardgriffigkeitsmessverfahren RoadSTAR für 50-m-Mittelwerte und 2-km-Messabschnittslänge festgelegt. Mit dem GripTester wurden bei zwei unterschiedlichen Messgeschwindigkeiten diese Grenzwerte zum Großteil eingehalten.

Anhand der Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass die Messgenauigkeit des GripTesters für 50 m-Mittelwerte von der Messgeschwindigkeit nahezu unabhängig ist.

In der derzeit gültigen RVS 11.06.71 [47] für den GripTester wurden folgende Grenzwerte für die Wiederholungsmessung festgelegt:

Differenz der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50m-Messwerte)	$\Delta\mu \leq 0,03$
doppelte Standardabweichung der Differenzen der Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung (50 m-Messwerte)	$2\sigma \leq 0,06$

Tab. 6-5: Messtoleranz für den GripTester [47]

Diese Grenzwerte wurden bei den 13 Messstrecken nur dreimal, zweimal bei 40 km/h und einmal bei 60 km/h, überschritten.

## 7 Zusammenfassung

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit bestand darin, die Messanweisung für das Messsystem GripTester aufgrund der neuen Erfassungssoftware „Roadmanager“ von der Firma Mechatronic zu aktualisieren. Weiters sollte die Messgenauigkeit des GripTester für verschiedene Auswertintervalle untersucht werden und mit jener des RoadSTAR verglichen werden.

Eingangs wurde der Mechanismus der Reibung als allgemeine Grundlage dieser Diplomarbeit erläutert. Im Anschluss wurden die wesentlichen Einflussfaktoren Textur, Gestein, Deckenart, Witterung, Reifen, Verkehr und Wasserfilmdicke auf die Griffigkeit bzw. den Reibungsbeiwert  $\mu$  einer Fahrbahnoberfläche dargestellt.

Ein besonderes Augenmerk galt dem Einflussfaktor Wasserfilmdicke, da dieser ein wesentlicher Faktor in punkto Verkehrssicherheit ist.

In weiterer Folge wurde anhand eines Berichtes der Firma ASFINAG eine Unfallanalyse auf der Autobahn A2 gezeigt. Hier wurde ein Zusammenhang zwischen Unfallhäufigkeit und nasser Fahrbahn verdeutlicht. Anschließend wurden die derzeitigen Richtlinien und Vorschriften zur Griffigkeitsmessung in Österreich erläutert.

Zur Ermittlung der Wiederholgenauigkeit wurden Messungen auf Landesstraßen in OÖ, einer Autobahn in Tirol und einer Bundesstraße im Burgenland durchgeführt. Es wurden jeweils eine Reinigungsfahrt sowie eine Erst- und Wiederholungsmessung mit 60 km/h und 40 km/h durchgeführt, um einen eventuellen Einfluss der Messgeschwindigkeit herauszufinden.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgte nach der DIN ISO 5725-2 [49]. Die Messgenauigkeit des GripTester lag zum Großteil innerhalb der zulässigen Grenzwerte des RoadSTAR gemäß RVS 11.06.65 [36].

In der neuen RVS 11.06.71 [47] wurde die zulässige Toleranzgrenze der doppelten Standardabweichung erhöht. Von den 13 Messstrecken wurden mit der Standardmessgeschwindigkeit von 60 km/h nur auf einer Strecke die zulässigen Grenzwerte überschritten.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] RVS 13.01.15: Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR, Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien 2006
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Ergänzende Vertragsbestimmungen, Griffigkeitsanforderungen für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt und Beton, Fassung Dezember, Wien 2004
- [3] RVS 08.17.02: Betondecken – Deckenherstellung, Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien 2007
- [4] RVS 08.16.01: Technische Vertragsbedingungen - Anforderungen an Asphaltsschichten, Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Jänner 2007
- [5] Kummer H.W.: Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn, Internationales Kolloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Berlin 1968
- [6] Bachmann Th.: Wechselwirkung im Reibungsprozess zwischen Reifen und Fahrbahn, Bericht aus dem Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TH Darmstadt. Fortschritts-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 286, Düsseldorf 1996
- [7] Kummer H. W.: Unified theorie of rubber and tire friction, Pennsylvania State University, Engineering Research Bulletin B-94, Univ. Park, Pennsylvania 1966
- [8] Form T.: Fahrwerk, Institut für Regelungstechnik, TU Braunschweig 2007
- [9] Wohanka U.: Ermittlung von Reifenkennfeldern auf definiert angenästen Fahrbahnen, Schriftenreihe des Instituts für Verbrennungsmotoren und Krafffahrwesen der Universität Stuttgart, 2001
- [10] Vivek Subramaniam: Automobilsensorik, Universität Stuttgart 2006
- [11] Schulze K. H.: Griffigkeit und Rauheit, Handbuch des Straßenbaues, Band 1, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1979
- [12] Augustin A. und Pippich J.: Zerstörungsfreie Bestimmung von Kenngrößen der Straßenoberfläche, Bundesministerium für Bauten und Technik, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 174, Wien 1981
- [13] Litzka J. Und Friedl E.: Untersuchungen über den maßgebenden Reibungsbeiwert, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 376, Wien 1988

- [14] Kalender U.: Abfluss des Regenwassers von ideal ebenen Fahrbahnoberfläche, Dissertation TU Berlin, 1972
- [15] Zipkes E.: Griffigkeit – Bremsspur – Kraftübertragung, ISETH Mitt. Nr. 56, Zürich 1984
- [16] FGSV: Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln 2003
- [17] Bühlmann F.: Einfluß der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen, ISETH Mitt. Nr. 55, Zürich 1985
- [18] Wieden P.: Neue Erkenntnisse zum Problem Polierbarkeit und Griffigkeit von Straßenbaustoffen, Straße und Autobahn, Heft 5, 1981
- [19] Weiss W.: Einfluß verschiedenartiger Zuschlagstoffe auf die Dauerhaftigkeit und Griffigkeit in bituminösen Fahrbahndecken, Bundesministerium für Bauten und Technik, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 128, Wien 1979
- [20] Internationale Kommission XIII/ATR-FG-VSS: Griffigkeitseigenschaften der Fahrbahn, Berichte der Kommission XIII, Heft 13, 1981
- [21] Kalender U.: Wechselwirkung Reifen/Fahrbahnoberfläche auf den Kraftschluss bei Nässe und hohen Fahrgeschwindigkeiten bei Verwendung neuester Reifentypen – Teil 2, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 498, Bonn 1987
- [22] Universität Duisburg: [www.uni-duisburg-essen.de/imperia/md/content/mechatronik/lehre/fahrdynamik\\_kap43.pdf](http://www.uni-duisburg-essen.de/imperia/md/content/mechatronik/lehre/fahrdynamik_kap43.pdf)
- [23] Mayer G.: Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen, Teil 2: Signifikante Griffigkeitswerte aus Verkehrssicherheitssicht, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841, Bonn 2002
- [24] Zieger M.: Polierversuch Teil III, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 385, Wien 1990
- [25] Scharschnig H.: Witterungsbedingungen –Verkehrsverhalten, - Verkehrssteuerung, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Schriftenreihe Straßenforschung, Heft 363, Wien 1988
- [26] Ressel W.: Aquaplaning und Verkehrssicherheit auf Autobahnen, Universität Stuttgart 2004
- [27] RVS 03.03.23: Linienführung, , Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien 1997
- [28] Domhan M.: Probleme der optischen Führung bei Nacht und Nässe, Straßenverkehrstechnik, Heft 5, S. 153-157, 1982

- [29] Engels K.: Beitrag zur Ermittlung eines geschlechtsspezifischen Verkehrsunfallrisikos, Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Straßenverkehr, Köln 1982
- [30] Satterthwaite S.: An assessment of seasonal and weather effects on the frequency of road accidents in California, in Accident Analysis and Prevention No. 2, 1976, S. 87-96
- [31] Campell M. E.: The wet-pavement accident problem, breaking through, in Traffic Quarterly 25, S. 209-214, 1975
- [32] Hoffmann G.: Witterungsbedingte Veränderungen der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufes auf innerstädtischen Autobahnen und Hauptverkehrsstraßen, Schlußbericht, Forschungsauftrag des Bundesministers für Verkehr, Bonn, FA 3096 G 78F und FA 3117 G 80F, 1983
- [33] Giannini F. et Boccassini F.: Recherches sur le relations existant entre les types de dextur des couches de roulement, les conditions hydrologiques et les accidents, Symposion sur le Drainage de Route, Berne 1978
- [34] Knoflacher H.: Ergebnisse und Erfahrungen der Unfallauswertung, aus Berichte des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Berlin, Heft 2, 1970
- [35] ASFINAG: Unfallanalysen und Sicherheitsüberprüfung des Unfallhäufungsbereiches A2-Wechsel, Wien 2006
- [36] RVS 11.06.65 Blatt 11: Griffigkeitsmessung mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (System RoadSTAR), Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien 2002
- [37] ÖNORM EN 13036-4: Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren, Teil 4: Verfahren zur Messung der Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2003
- [38] ÖNORM EN 13036-3: : Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren, Teil 3: Messung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2003
- [39] arsenal research: Leistungskatalog Straßenzustandserfassung, Wien [http://www.arsenal.ac.at/roadstar/products\\_mob\\_roadstar\\_de.html](http://www.arsenal.ac.at/roadstar/products_mob_roadstar_de.html)
- [40] arsenal research: Straßenzustandserfassung mit dem RoadSTAR, Research Report, Wien 2002
- [41] Mechatronic GmbH: Produktbeschreibung – GripTester, [www.mechatronic.de](http://www.mechatronic.de), Darmstadt 2003

- [42] Pilles J.: Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung der Straßengriffigkeit mit dem GripTester, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU- Wien, Wien 2002
- [43] Janisch G.: Untersuchungen zur Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse des GripTesters, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU- Wien, Wien 2002
- [44] Findlay Irvine Ltd.: Technische Beschreibung GripTester, [www.findlayirvine.com](http://www.findlayirvine.com), 2003
- [45] Eigl W.: Ringversuch Griffigkeitsmessung, Erfassung der Messgenauigkeit des Messsystems GripTester, Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU- Wien, Wien 2003
- [46] Findlay Irvine Ltd.: GripTester Maintenance Manual, Midlothian 1996
- [47] RVS 11.06.71: Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester, Forschungsgesellschaft Straße, Schiene und Verkehr (FSV), Wien 2008
- [48] Mechatronic GmbH: Benutzerhandbuch-Roadmanager-Modul Grip, Darmstadt 2004
- [49] DIN ISO 5725-2: Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichspräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens, Ausgabe Dezember 2002
- [50] DIN ISO 5725-1: Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe, Ausgabe November 1997
- [51] Kreyszig E.: Statistische Methoden und Ihre Anwendung, Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen 1975
- [52] Mechatronic GmbH: Bedienungsanleitung GT-BW-01 Bewässerungssystem, Version 1.1, Darmstadt 1996
- [53] Allgemeines Bürgerliches Gesetzbuch (ABGB): <http://www.ris.bka.gv.at/bundesrecht/>, Wien, Stand 1.11.2008
- [54] Larcher G.: Die Haftung des Straßenerhalters für mangelnde Fahrbahngriffigkeit und der Versuch einer Haftungsüberwälzung, Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung, TU Wien, Heft 13, Wien 2002

## 9 ANHANG

Im Anhang sind die Messschriebe des GripTester GT 135 der ausgewerteten Messfahrten (Tab. 5-2) mit 60 km/h und 40 km/h, im 50 m-Intervall dargestellt.

