

**TU**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

# **Präzisionsmessungen zur Griffigkeitsmessung mit den GripTester Modellen MK1 und MK2**

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

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab und

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Lukas Kirchmaier,

Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßenwesen

eingereicht an der Technischen Universität Wien,

Fakultät für Bauingenieurwesen,

von

Josef Spitzer

0026615

Stifterstrasse 22, 3100 St. Pölten

Wien, im März 2010

## Kurzfassung

Josef Spitzer: Präzisionsmessungen zur Griffigkeitsmessung mit den GripTester Modellen MK1 und MK2

Einleitend werden in dieser Arbeit die wichtigsten Einflussgrößen auf den Reibungsbeiwert zwischen Reifen und Straße dargestellt. Dabei wird auf die einzelnen Faktoren eingegangen, und alle mitwirkenden Größen werden diskutiert.

Anschließend wird das Messsystem GripTester mit seinen beiden Entwicklungstypen MK1 und MK2 vorgestellt. Es werden die Unterschiede herausgearbeitet und die wichtigsten Neuerungen im Detail besprochen. Darauf aufbauend wird das Messprinzip erläutert und die mechanischen Grundlagen angegeben.

Im weiteren Verlauf wird der normative Hintergrund zur Griffigkeitsmessung mit dem System GripTester vorgestellt, wobei vor allem auf die Anforderung zur Qualitätssicherung Bezug genommen wird.

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt darauf, das Messgerät GripTester MK2 für den laufenden Betrieb des Labors des Forschungsbereiches für Straßenwesen der TU Wien vorzubereiten. Dazu wurden umfangreiche Messungen, die Aufschlüsse über das Handling, die Messdurchführung und die Datenauswertung ergeben sollten durchgeführt. Im Zuge dessen wurde eine Arbeitsanweisung für den GripTester MK2 erstellt, welche im „Anhang A“ dieser Arbeit beigefügt ist.

Ein weiteres wesentliches Ziel dieser Arbeit war unterschiedliche Reibungsbeiwerte der beiden Entwicklungsstufen MK1 und MK2 des GripTesters zu erfassen und diese Werte miteinander zu korrelieren. Das vorhandene unterschiedliche Messniveau der beiden Modelle MK1 und MK2 wurde statistisch abgesichert ermittelt und ein Faktor für die Umrechnung der Messergebnisse zwischen den zwei Modellen errechnet. Damit kann der mit dem Modell MK1 erarbeitete Bewertungshintergrund auch für das neue GripTester – Modell MK2 herangezogen werden.

## Summary

Josef Spitzer: precision experiments of road grip measurement with the GripTester models MK1 and MK2.

In the introduction of this master's thesis all basics about friction and texture of road surfaces are described. Hence, all the influencing factors are demonstrated and discussed.

Subsequently, the measurement system "GripTester" and its first and latest model types MK1 and MK2 are introduced. The differences between these two models are elaborated and the innovations are specified. Furthermore the measurement principles are explained and the effective mechanical principles are indicated.

In the course of this master's thesis the background for the existing Austrian technical standard for measurements with the "GripTester" are presented emphasizing on the quality management procedure.

The main focus of this thesis is on the implementation of the measurement instrument into the daily routine of the laboratory at the Institute of Transportation at Vienna University of Technology. Therefore an extensive measurement program has been accomplished, which should provide information about handling, measurement performance and data evaluation. For this reason a working instruction has been developed for the GripTester MK2 which can be found in "Annex A".

One important aim of this master thesis was, to identify a correlation between the different friction coefficients measured by the older type MK1 and the latest model MK2. A statistically reliable relationship between two measuring instruments was established. Thus the assessment background of road friction established with the model MK1 can also be used for the latest model MK2.

## **Vorwort**

Ich möchte mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab herzlich bedanken, der meine Diplomarbeit am Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßenwesen engagiert betreute.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Lukas Kirchmaier für seine ausgezeichnete Betreuung und das angenehme und kollegiale Arbeitsklima bedanken.

Den größten Dank möchte ich aber meinen Eltern Helga und Friedrich und auch meinen Brüdern Friedrich und Niklas aussprechen, die mich zu jeder Zeit gefördert und immer größtes Verständnis für meine Tätigkeiten an der TU Wien gezeigt haben.

Abschließend möchte ich mich noch bei meiner Partnerin Silvana für ihr Interesse an meiner Arbeit und für die wertvolle Unterstützung in schwierigen Phasen meines Studiums bedanken. Danke, dass du mir in den entscheidenden Momenten immer zur Seite gestanden bist und nie an mir gezweifelt hast.

Josef Spitzer

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>3</b>
<b>1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2. GRIFFIGKEIT UND TEXTUR VON FAHRBAHNOBERFLÄCHEN .....</b>	<b>6</b>
2.1 Begriffsbestimmung .....	6
2.2 Einflussparameter .....	7
2.2.1 Fahrzeug .....	9
2.2.2 Zwischenmedium .....	11
2.2.3 Reifen .....	12
2.2.4 Straßenoberfläche / Fahrbahn .....	13
2.2.4.1 Textur .....	13
2.2.4.2 Straßenbaustoff .....	14
2.2.5 Anforderung an die Griffigkeit in Österreich .....	14
<b>3. MESSSYSTEM GRIPTESTER .....</b>	<b>17</b>
3.1 Allgemeines .....	17
3.2 Arbeitsanweisung MK2 .....	17
3.3 Kurzbeschreibung .....	18
3.4 Technische Daten .....	22
3.5 Messprinzip .....	27
3.6 Datenerfassung .....	31
3.7 Anwendungsbereich .....	31
3.8 Qualitätssicherung .....	32
<b>4. DURCHGEFÜHRTES MESSPROGRAMM .....</b>	<b>35</b>
4.1 Beschreibung des Messprogramms .....	35
4.2 Messstrecken .....	36
4.2.1 Schiebebetrieb .....	36
4.2.2 Zugbetrieb .....	43
4.3 Auswertung der Messdaten .....	44
4.3.1 Mittelwert .....	44
4.3.2 Standardabweichung .....	46
4.3.3 Messniveaumittelwert .....	46
4.3.4 Wiederholstandardabweichung .....	46
4.3.5 Vergleichsstandardabweichung .....	46
4.3.6 Funktionale Abhängigkeit der Standardabweichung .....	47
4.3.7 Wiederholgrenze .....	47
4.3.8 Vergleichgrenze .....	48
4.3.9 Vertrauensbereich .....	48
4.3.10 Regressionsanalyse .....	48
<b>5. MESSERGEBNISSE .....</b>	<b>51</b>
5.1 Schiebebetrieb .....	51
5.1.1 Wiederholbarkeit des Modells MK2 .....	51
5.1.2 Untersuchungen bei veränderten Messbedingungen .....	52
5.1.3 Messungen im Kreisbogen mit dem Modell MK2 .....	55
5.1.4 Vergleichbarkeit MK1 – MK2 .....	58
5.2 Zugbetrieb .....	62
5.2.1 Wiederholbarkeit des Modells MK2 .....	62
5.2.2 Vergleich MK1 – MK2 .....	63
5.3 Umrechnungsfunktion GripTester – RoadSTAR .....	66

<b>6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b> .....	<b>67</b>
6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung .....	67
6.2 Versuchsprogramm .....	68
6.3 Ergebnisse .....	68
6.4 Ausblick .....	69
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>71</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>73</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>75</b>
<b>ANHANG A: ARBEITSANWEISUNG GRIPTESTER MK 2</b> .....	<b>I</b>
<b>ANHANG B: LAGEPLÄNE / MESSSTRECKEN ÜBERSICHT</b> .....	<b>II</b>
<b>ANHANG C: DETAILERGEBNISSE MESSUNGEN</b> .....	<b>VI</b>

# ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

$\alpha$	Anstieg der Geraden (Parameter)
$\beta$	Konstante
$\Delta\mu_{GT}$	Wiederholbedingungen
$\mu$	Reibungsbeiwert
$\mu_{RS}$	Reibwert ermittelt mit dem Messsystem RoadSTAR
$\mu_{GT}$	Reibwert ermittelt mit dem Messsystem GripTester
$\mu_{GT,MK1,60}$	Reibwert ermittelt mit dem Messsystem GripTester MK1 bei 60 km/h
$\mu_{GT,MK2,60}$	Reibwert ermittelt mit dem Messsystem GripTester MK2 bei 60 km/h
$\sigma$	Standardabweichung
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit des Rades
AB	Asphaltbeton
BTD	bituminöse Tragdeckschicht
DMS	Dehnmessstreifen
$F_H$	„Halte-Kraft“ (Horizontalkraft)
$F_V$	Gewichtskraft (Vertikalkraft)
i	Zuordnungsindex für ein einzelnes Messgerät (z.B. GripTester MK1)
j	Zuordnungsindex für ein einzelnes Messniveau (z.B. 50-m-Abschnitt)
k	Zuordnungsindex für ein einzelnes Ermittlungsergebnis eines Messgerätes
$m_j$	Messniveaumittelwert
MW	Mittelwert
$M_{y,III}$	Moment infolge Seitenkräfte
$M_{y,II}$	Moment infolge vertikale Kraft
OBH	bituminöse Oberflächenbehandlung
q	Vertrauensgrenzen
$R^2$	Bestimmtheitsmaß
$R_{Fh}$	Resultierende horizontalen Kräfte
$R_{Fv}$	Resultierende vertikale Kräfte
$R_S$	Resultierende der Seitenkräfte
r	Radius des Rades
$r$	Wiederholgrenze
R	Vergleichsgrenze
S	Schlupf [%]
SMA	Splitmastixasphalt
SPU	Signal Processing Unit
$S_{Rj}$	Vergleichsstandardabweichung
$s_{rj}$	Wiederholungsstandardabweichung
v	Geschwindigkeit des frei rollenden Rades (Fahrgeschwindigkeit)
Y	abhängige Variable
X	erklärende Variable

# 1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche ist eine der wichtigsten Fahrbahneigenschaften für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit. Sie charakterisiert die mögliche Kraftübertragung der Längskräfte (Antriebs- und Bremskräfte) und der Seitenkräfte (Kurvenfahrt) in der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn. Da der Nutzer die zu erwartende Griffigkeit nur in Extremfällen (Schneefahrbahn) durch Beobachtung erkennen kann, müssen Mindestanforderungen an die Griffigkeit der Fahrbahn gestellt werden, um eine sichere Fahrt zu ermöglichen.

Auch im Hinblick auf alle in der modernen Fahrzeugindustrie verwendeten Regelsysteme (Anti-Blockier-Systeme, Elektronische Stabilitätsprogramme, Bremsassistenten, etc.) ist ein definierter Sollwert für die Griffigkeit eine bestimmende Größe, damit diese Systeme optimal können.

Seit 1965 wurden in Österreich Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser durchgeführt. Das heute meist angewendete System wurde 1991 vom „Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart“ in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern von arsenal research konzipiert. Es handelt sich dabei um das dynamische Messsystem RoadSTAR und es erfasst die wichtigsten Oberflächeneigenschaften (Griffigkeit, Textur, Querebenheit, Längsebenheit) sowie Trassierungsparameter (Längsneigung, Querneigung, Kurvenradius) (KLUGER-EIGL, 2009).

Aufgrund seiner Bauart - die Messvorrichtung ist in einem LKW implementiert - ist das Haupteinsatzgebiet des Messsystems RoadSTAR das höherrangige Straßennetz.

Da aber in einigen Fällen (z.B. Untersuchungen im Stadtgebiet) der RoadSTAR nicht zur Anwendung kommen kann, hat sich in Österreich ein zweites dynamisches Messsystem etabliert. Dabei handelt es sich um das von der schottischen Firma Findlay Irvine entwickelte Prüfgerät GripTester. Seit 1996 wurden Messungen mit dem GripTester für wissenschaftliche Zwecke durchgeführt und im Jahr 2009 wurde das System in den Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS 11.06.71 [FSV 2009]) verankert. Aufgrund seiner Kompaktheit kann dieses System auch unter sehr beengten Verhältnissen (z.B. Parkgaragen) eingesetzt werden.

Da der Hersteller das Produkt ständig weiterentwickelt, wurde im Jahr 2008 eine neue Version des GripTesters vom Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßenbau erworben. Dabei handelt es sich um das Nachfolgemodell MK2.

Ziel dieser Arbeit war, den GripTester MK2 in den Laborbetrieb des Instituts für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Straßenwesen einzuführen. Dabei sollte einerseits eine Arbeitsanweisung für das Modell MK2 erstellt werden und andererseits folgende Forschungsfragen geklärt werden.

- Ist der Einsatz des neuen Messsystems GripTester MK2 nach der aktuellen österreichischen Norm möglich oder müssen Änderungen vorgenommen werden?
- Können die Messdaten, die das Messgerät MK1 liefert, mit den Daten des GripTesters MK2 verglichen werden, oder ist ein Umrechnungsfaktor zu berücksichtigen? Ist eine Abhängigkeit der Vergleichbarkeit vom verwendeten Deckenaufbau feststellbar?
- Kann die von KLUGER-EIGL [2009] abgeleitete Umrechnungsformel zwischen Griffigkeitsbeiwerten des Systems RoadSTAR und jenen des GripTesters für den MK2 herangezogen werden, oder muss diese überarbeitet werden?
- Sind Messungen mit dem MK2 in einem Kreisbogen und bei beengten Verhältnissen möglich? Gibt es Anwendungsgrenzen?
- Wie hoch ist der Einfluss von verschiedenen äußeren Bedingungen auf das Messergebnis? Im Speziellen der Einfluss des zwischen Meßrad und Straßenoberfläche aufgetragenen Wasserfilms, der Geschwindigkeit und der zwei für die Auswertung von GripTestermessungen verfügbaren Softwarepakete „Roadmanager“ und „Roadbase“.

## 2. GRIFFIGKEIT UND TEXTUR VON FAHRBAHNOBERFLÄCHEN

### 2.1 Begriffsbestimmung

Mit dem Begriff „Griffigkeit“ werden im Allgemeinen alle für die Reibungsmechanismen verantwortlichen Faktoren zwischen Straße und Rad beschrieben. Als Reibung (auch Friktion) definiert man die Gesamtheit der Kräfte an der Grenzfläche zweier Körper, die ihre gegenseitige Bewegung hemmen oder verhindern (wikipedia.org, 2009).

Der Reibungsbeiwert  $\mu$  – auch Reibungswert, Reibungswiderstand, Reibwert oder Kraftschlussbeiwert genannt – ist definiert als der Quotient aus den durch Kraftschluss auf die Fahrbahn übertragenen Horizontalkräften und den gleichzeitig wirkenden Normalkräften [FGSV, TP Griff-StB, 2001].

Zur besseren Verständlichkeit von Reibung soll folgendes Beispiel aus wikipedia.org dienen:

Ein Mensch sitzt auf einem Holzbrett, das auf dem Boden liegt. Das Holzbrett wird mit ihm gezogen:

Eine senkrechte Kraft (Gewicht von Mensch und Holz) hat eine entsprechende maximale waagerechte Reibungs-Kraft zur Folge, die den Klotz in seiner Position festhält („Haftreibung“). Diese „Halte-Kraft“ ( $F_H$ ) wird ins Verhältnis gesetzt zur Gewichtskraft ( $F_V$ ). Dieses Verhältnis nennt man „Reibungsbeiwert“ oder „Reibungskoeffizient“. z. B. bedeutet „ $\mu = 0,2$ “, dass bei einer Gewichtskraft von 1.000 N (Masse 100 kg) eine (maximale) Reibungskraft von 200 N wirkt. Die Haftreibung sorgt dafür, dass sich das Holzbrett bei weniger als 200 N seitlichem Zug nicht über den Fußboden bewegt. Geht nun der Klotz bei mehr als 200 N Zugkraft ins Gleiten über, so sind nachher in aller Regel weniger als 200 N notwendig, um die Bewegung aufrechtzuerhalten: Die Gleitreibung hat einen niedrigeren Reibungs-Koeffizienten als die Haftreibung. Jetzt genügen z. B. 150 N Zugkraft, damit das Brett samt Last (Mensch) in Bewegung bleibt:  $\mu$  gleich 0,15.

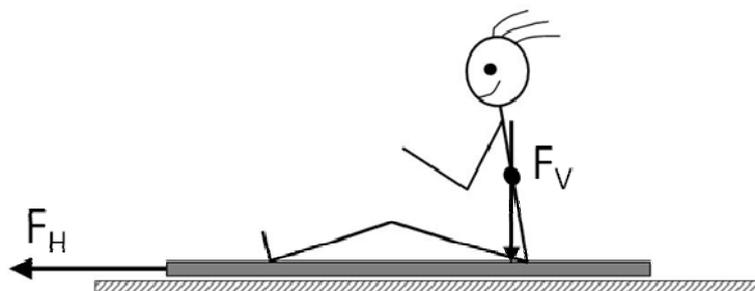


Abbildung 2-1: Reibung [wikipedia.org, 2009]

Die Reibung hat also einen großen Einfluss auf das alltägliche Leben. Ohne Reibung würden wir uns weder die Schuhe binden können noch wäre das Lenken einer Kraftfahrzeugs möglich.

$$\mu = \frac{F_H}{F_V} [-]$$

Formel 2-1

- $\mu$  Reibungsbeiwert
- $F_H$  „Halte-Kraft“ (Horizontalkraft)
- $F_V$  Gewichtskraft (Vertikalkraft)

Der Ansatz der klassischen Reibungsphysik, nämlich dass der Reibungsbeiwert konstant und von der Auflast abhängig ist, trifft auf den Reibungsvorgang zwischen rollendem Rad und Straßenoberfläche hingegen nicht exakt zu [PFEILER, 2004].

Die Höhe der Griffigkeit kann z.B. durch einen vorhandenen Wasserfilm zwischen den vorhandenen Kontaktflächen beträchtlich reduziert werden.

Der Kraftschluss dient der Übertragung von Kräften in der Reifenaufstandsfläche durch Reibung. Er resultiert aus der Wechselwirkung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche, beeinflusst von der Textur, den Reifeneigenschaften, der Anwesenheit und Dicke eines Zwischenmediums (z.B. Wasser) sowie Geschwindigkeit [FGSV, MB Griff: 2003].

Die Textur ist die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche im Wellenlängenbereich von wenigen Mikrometern bis einigen Dezimetern. Je nach Wellenlänge wird zwischen Mikro-, Makro- und Megatextur unterschieden [FGSV, MB Griff: 2003]. Die Textur bestimmt neben der Griffigkeit auch die weiteren praxisrelevanten Gebrauchseigenschaften der Straßenoberfläche wie Sprühhahnenbildung, Reifenrollgeräusch, Reifenverschleiß und Rollwiderstand [HUSCHEK u. MERZOUG, 1996].

Der Schlupfzustand beschreibt die Relativbewegung zwischen dem Reifen und der Fahrbahnoberfläche und tritt immer dann auf, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Rades von der Fahrgeschwindigkeit abweicht. Der Schlupf wird in Prozent angegeben und für längslaufende Räder berechnet [KLUGER-EIGL, 2009]. Dabei ist zwischen drei Bewegungszuständen des Rades zu unterscheiden:

- Das Rad läuft frei ab (0 % Schlupf)
- Das Rad ist blockiert (100 % Schlupf)
- Das Rad läuft im Verhältnis zum zurückgelegten Weg zu langsam (gebremst) oder zu schnell (beschleunigt)

$$S = \frac{v - r \times \omega}{v} \times 100$$

Formel 2-2

- $S$  Schlupf [%]
- $v$  Geschwindigkeit des frei rollenden Rades (Fahrgeschwindigkeit) [m/s]
- $r$  Radius des Rades [m]
- $\omega$  Winkelgeschwindigkeit des Rades [rad/s]

## 2.2 Einflussparameter

Der Reibungsbeiwert zwischen Reifen und Straßenoberfläche wird von zahllosen Parametern zwischen der Fahrbahnoberfläche und dem Reifen beeinflusst. Die wichtigsten

Einflüsse können nach PFEILER [2004] in vier Gruppen eingeteilt werden (siehe Abbildung 2-2):

- *Einflüsse des Reifens:* Profilart, Profiltiefe, Schlupf, Gummizusammensetzung, Luftdruck
- *Einflüsse der Straße:* Oberflächentextur (Makro- und Mikrotextur), Polierfähigkeit, Deckenbauart
- *Einflüsse des Fahrzeugs:* Geschwindigkeit, Radlast, Radstellung, Radlastschwankungen
- *Einflüsse des Zwischenmediums:* Wasserfilm, Eis, Schnee, Schmutzfilm etc.

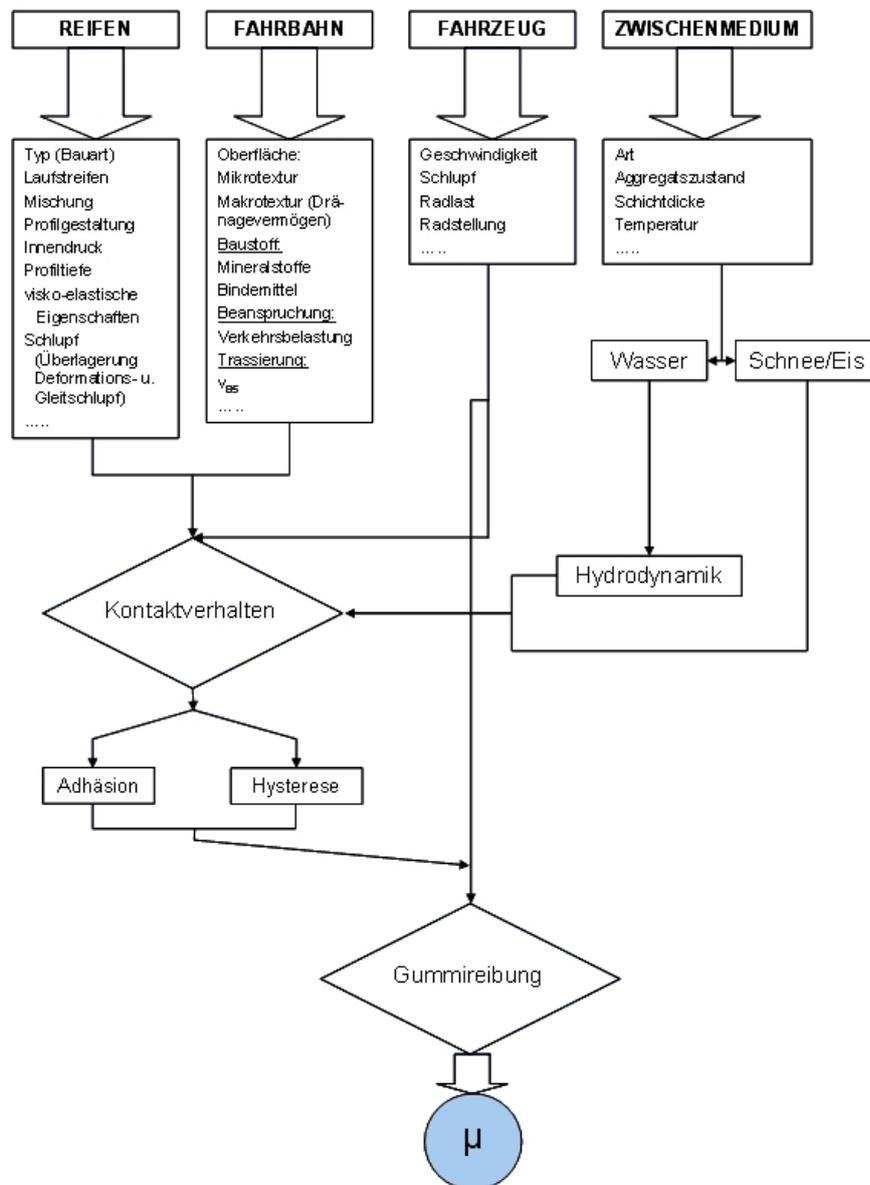


Abbildung 2-2: Einflussfaktoren auf die Fahrbahngriffigkeit [BACHMANN 1998], erweitert nach [PFEILER, 2004]

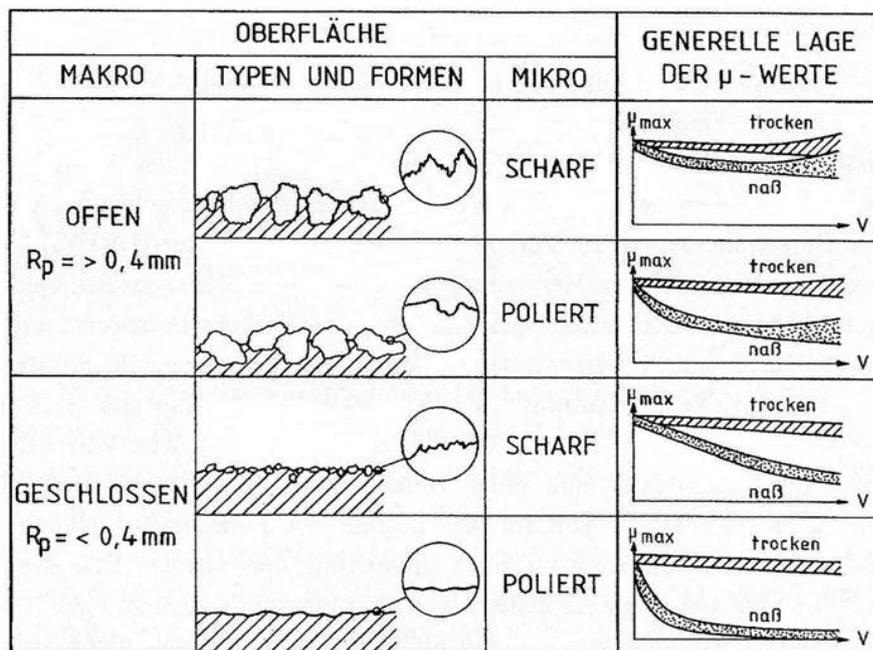
Die einzelnen Parameter hängen teilweise sehr komplex voneinander ab und können je nach Reibungsvorgang unterschiedlich ausgeprägt sein. Daher ist es wichtig, zwischen den Einflüssen der Fahrbahn und des Messsystems zu unterscheiden. Je nachdem, welches Messsystem eingesetzt wird, ergeben sich daher unterschiedliche Reibungsbeiwerte. Diese können teilweise durch Bestimmung von Umrechnungsfaktoren miteinander verglichen werden. Die wichtigsten sind der International Friction Index (IFI) und der European Friction Index (EFI).

In den anschließenden Teilen dieser Arbeit werden jene Parameter kurz zusammengefasst, die für meine Untersuchungen wichtig sind. Für eine detailliertere Behandlung dieser Parameter sei auf KLUGER-EIGL [2009] und PFEILER [2004] hingewiesen.

## 2.2.1 Fahrzeug

### Geschwindigkeit

Aus zahlreichen Messungen und Untersuchungen geht hervor, dass der Reibungsbeiwert auf trockenen Fahrbahnoberflächen weitgehend unabhängig von der Fahrge-  
schwindigkeit ist (siehe Abbildung 2-3). Die erreichbaren Reibungsbeiwerte verlaufen in einem Geschwindigkeitsbereich von 40 km/h bis 100 km/h annähernd konstant auf einem hohen Griffigkeitsniveau [BACHMANN, 1999].



**Abbildung 2-3: Auswirkung der Struktur der Oberfläche auf den Reibungsbeiwert [ZIPKES ,1984]**

Auf nassen Fahrbahnoberflächen nimmt der Reibungsbeiwert bei einer Geschwindigkeitssteigerung generell ab (siehe Abbildung 2-5). Die Stärke der Abnahme ist dabei hauptsächlich von der Fahrbahnoberfläche, dem Bewegungszustand des Rades und der vorhandenen Wassermenge abhängig (siehe Abbildung 2-3). Der Abfall des Reibungsbeiwertes verläuft bei geschlossenen, feinkörnigen Texturen steiler als bei offe-

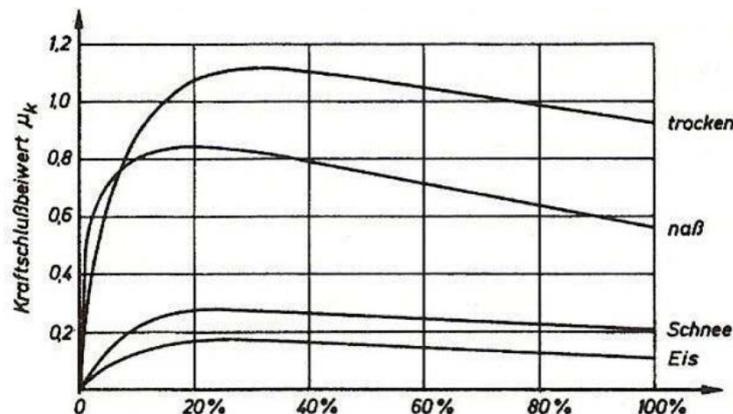
nen, größeren Belägen. Mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit wird es für den Reifen immer schwerer, den Kontakt mit der Fahrbahnoberfläche herzustellen, da sich die verbleibende Zeit zur Abführung des Wassers stark reduziert. Das bedeutet, dass der Reibungsbeiwert erst bei einem vorhandenen Zwischenmedium wie z.B. Wasser eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Geschwindigkeit aufweist [WEHNER, 1970].

Um den Einfluss der Geschwindigkeit bei Griffigkeitsmessungen ausschalten zu können, werden diese in der Regel immer mit einer konstanten Messgeschwindigkeit durchgeführt [KLUGER-EIGL, 2009].

### Schlupf

Neben der Geschwindigkeit hat auch der Bewegungszustand des Rades einen erheblichen Einfluss auf den aktivierbaren Kraftschluss. Der Schlupf setzt sich aus Deformationsschlupf, hervorgerufen durch Verzerrungen und Verschiebungen der Reifenlauf­fläche gegen die Radfelge und Gleitschlupf zusammen. Gleitschlupf entsteht, da jedes Flächenelement der Reifenaufstandsfläche während seiner Verweildauer auf der Fahrbahnoberfläche mit geringer Geschwindigkeit gleitet [SCHULZE, 1994].

Der Schlupf kann Werte zwischen 0 % und 100 % annehmen (siehe Formel 2-2 und Abbildung 2-4). Mit zunehmendem Schlupf wächst der Reibungsbeiwert zunächst linear an, was vor allem auf die Längssteifigkeit des Reifens zurückzuführen ist. In diesem Bereich dominiert der Deformationsschlupfanteil am Gesamtschlupf. Noch vor Erreichen des Maximums kommen bereits Gleitanteile hinzu, die bei weiter steigendem Schlupf immer größer werden und somit für den Abfall der Kurve nach dem Maximum verantwortlich sind. Bei weiterer Steigerung der Brems- bzw. der Antriebskraft tritt Gleiten oder Blockieren des Rades auf, damit sinkt der Reibungsbeiwert erheblich ab [BACHMANN, 1999].



**Abbildung 2-4: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf bei unterschiedlichen Zwischenmedien [REIMPELL, 1971]**

Der maximal aktivierbare Reibungsbeiwert hängt vom Schlupf und vom Zustand der Fahrbahnoberfläche ab. Bei trockener Fahrbahnoberfläche liegt das Maximum der Reibungsbeiwerte zwischen ca. 25 % bis 30 % und erreicht auch bei 100 % Schlupf (blockiertes Rad) noch sehr hohe Werte. Auf einer nassen Fahrbahnoberfläche wird das Maximum der Reibungsbeiwerte zwischen ca. 12 % bis 20 % Schlupf erreicht und fällt mit zunehmendem Schlupf ab [BÜHLMANN, 1985].

Bei der Durchführung von Griffigkeitsmessungen wird der Schlupf meist vom Messsystem vorgegeben [KLUGER-EIGL, 2009].

### 2.2.2 Zwischenmedium

Im Regelfall bewegen sich die Reibungsbeiwerte auf trockener Fahrbahn auf einem sehr hohen Niveau, unabhängig von der Höhe der Geschwindigkeit. Tritt aber ein Zwischenmedium in die Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn ein, ist der Einfluss der Geschwindigkeit erheblich. Das häufigste Zwischenmedium, das die Kontaktfläche beeinträchtigt, ist im Normalfall Wasser, wobei aber auch Schmutz, Schnee oder Eis auftreten können. Vor allem bei Schnee und Eis sind die Reibungsbeiwerte sehr gering und werden von der Geschwindigkeit nicht beeinflusst (siehe Abbildung 2-5). Die prozentuale Angabe auf der Ordinate gibt den Anteil der Gleitreibungsbeiwerte oberhalb der zugehörigen gepunkteten Linie an (DAMES, 1971).

Alle dynamischen Griffigkeitsmesssysteme führen ihre Messungen mit einem Wasserfilm durch, daher ist der Einfluss des Zwischenmediums Wasser von Interesse.

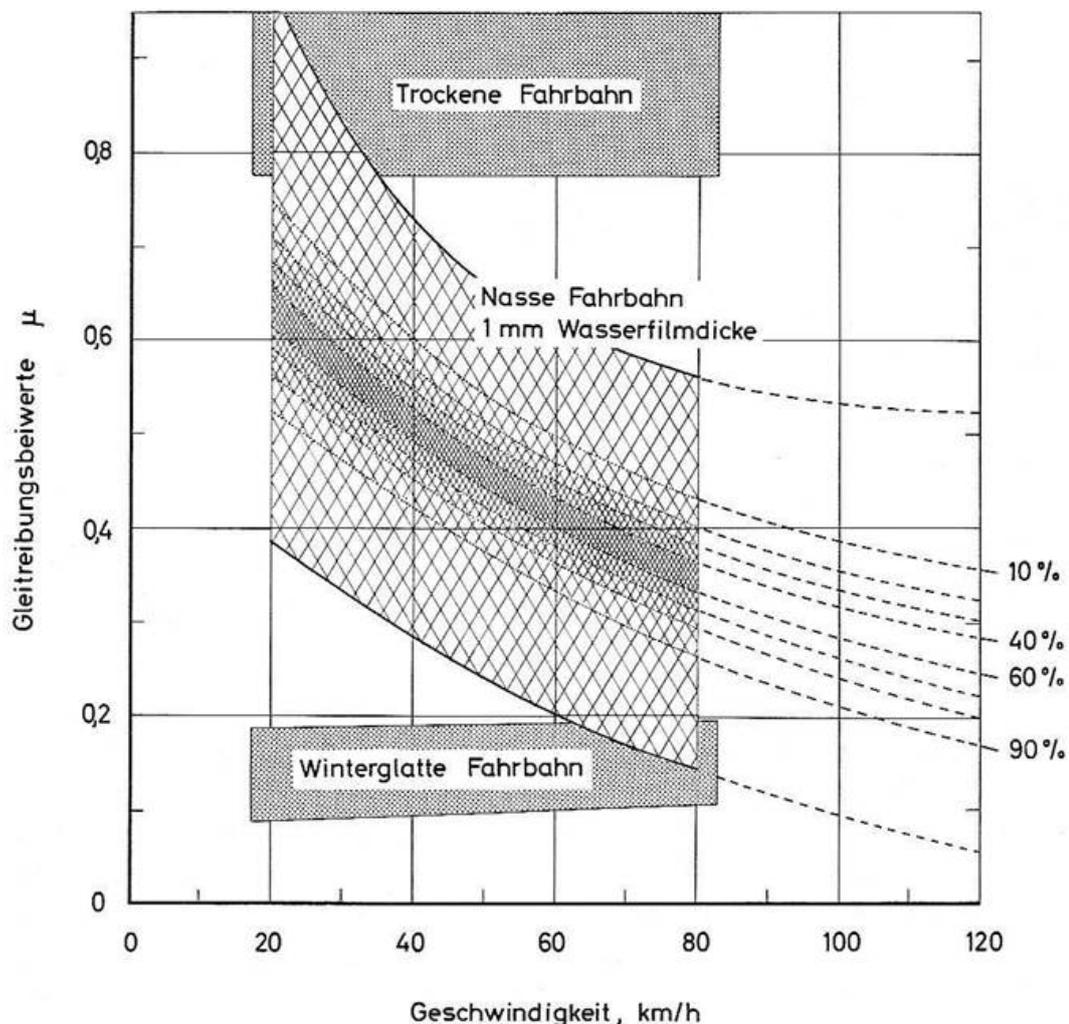


Abbildung 2-5: Variationsbreite und Häufigkeitsverteilung der Gleitreibungsbeiwerte auf trockener, nasser und winterglatte Fahrbahn am blockierten Messrad [DAMES, 1971]

### 2.2.3 Reifen

Der Reifen eines Kraftfahrzeuges soll eine Vielzahl von sich teilweise widersprechenden Anforderungen erfüllen [KALENDER, 1987]:

- Großer Fahrkomfort
- Ausreichende Tragfähigkeit
- Eignung für hohe Geschwindigkeiten
- Gute Haftung auf trockenen und nassen Fahrbahnen
- Geringer Rollwiderstand
- Geringer Abrieb
- Geringe Geräusentwicklung

Die Reifenhersteller müssen daher einen Kompromiss zwischen geringem Rollwiderstand und hohem Haftungsvermögen sowie einer langen Lebensdauer eingehen. Die Reibungseigenschaften auf nassen Fahrbahnen können daher für den Gebrauchswert eines Reifens nicht alleine maßgebend sein [KALENDER, 1987]. Nachfolgend werden die wesentlichsten reifenspezifischen Einflussfaktoren auf den aktivierbaren Reibungsbeiwert kurz erläutert.

Die Bauart der Karkasse (Unterbau), diagonal oder radial, erweist sich für das tangentielle Reibungsverhalten als vernachlässigbar, sofern die Gummimischung und die Laufflächenprofile identisch sind. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Laufflächenprofile grundsätzlich Karkassen spezifisch gestaltet werden. Das typische „offene“ Profil des Radialreifens, welches die Ausbildung von Querrillen ermöglicht, wird beim Diagonalreifen nicht angewandt, weil es bei den größeren Verformungen des Diagonalreifens zu einem wesentlich größeren Reifenverschleiß führen würde [KALENDER, 1987].

Bei der Gummimischung sind zwei Materialeigenschaften von besonderer Bedeutung, nämlich einerseits die Härte des Gummis und andererseits das Deformationsverhalten, auch Hysterese genannt. Reifen mit großem Hysteresevermögen und geringer Härte führen zu größeren Reibungsbeiwerten bei Nässe, allerdings neigen diese Mischungen gleichzeitig zu einem stärkeren Verschleiß [KALENDER, 1987].

Das Profil des Reifens ist in der Regel für die Drainage des Wassers in der Reifenaufstandsfläche, insbesondere auf Fahrbahnoberflächen mit geschlossenen Texturen, maßgebend. [KALENDER, 1987].

Vom Innendruck hängen die Größe der Reifenaufstandsfläche und damit das gegebenenfalls zu verdrängende Wasservolumen ab. Je größer der Innendruck ist, desto kleiner wird die Reifenaufstandsfläche. Durch eine kleinere Aufstandsfläche reduzieren sich die Größe der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn und somit auch der Kraftschluss. Weiters ist zu berücksichtigen, dass sich mit einem abnehmenden Reifennendruck der Reifen leichter verformen kann. Dadurch kommt es zu einem Schließen der Rillen und somit zu einer Verschlechterung des Drainagevermögens. Gleichzeitig vergrößert sich dadurch aber wieder die Reifenaufstandsfläche [KALENDER, 1987].

Für Griffigkeitsmessungen, werden nur mehr standardisierte Messreifen eingesetzt, bei denen die Bauart, die Gummimischung, die Profilgestaltung und der Innendruck genau definiert sind. Dabei haben sich Messreifen ohne Profil oder mit Längsrillen ge-

mäß den Standards der Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) und American Society for Testing and Materials (ASTM) durchgesetzt. Vergleichsmessungen von arsenal research [MAURER, 2007] mit handelsüblichen Pkw-Reifen zeigten, dass der gerillte PIARC-Messreifen die untere Grenze der erreichbaren Reibungsbeiwerte der handelsüblichen Pkw-Reifen bildet und ein glatter Messreifen weitaus niedrigere Werte liefert [KLUGER-EIGL, 2009].

## **2.2.4 Straßenoberfläche / Fahrbahn**

Einen wesentlichen Einfluss auf die Griffigkeit wird durch den zweiten Reibpartner, die Straßenoberfläche, ausgeübt. Die Einflüsse werden in 3 Hauptgruppen eingeteilt [PFEILER, 2004]:

- Bauart der Fahrbahndecke
- Veränderung infolge Witterungseinflüssen
- Einfluss des gewählten Baustoffes

### **2.2.4.1 Textur**

Die Textur (auch Rauheit genannt) bestimmt die wichtigsten Gebrauchseigenschaften einer Fahrbahn, die in der Praxis von Bedeutung sind, nämlich die Griffigkeit, Reifenrollgeräusch oder die Sprühhahnenbildung [PFEILER, 2004]. Je nach Wellenlänge wird nach Mega-, Makro- und Mikrotextur unterschieden.

Nach PFEILER stellen sich die Auswirkungen der einzelnen Texturen wie folgt dar:

#### Megatextur

Die Megatextur (horizontale Ausdehnung der Rauheitselemente von 50 mm bis 500 mm) beeinflusst vor allem die Längsebenheit, das Reifenrollgeräusch, den Rollwiderstand und die Sprühhahnenbildung.

#### Makrotextur

Die Makrotextur (horizontale Ausdehnung der Rauheitselemente von 0,5 mm bis 50 mm) ist für das Drainagevermögen der Straßenoberfläche verantwortlich. Die Hauptaufgabe stellt, vor allem bei höheren Geschwindigkeiten, die Unterstützung des Reifenprofils beim Abführen von Wasser dar.

#### Mikrotextur

Die Mikrotextur (horizontale Ausdehnung der Rauheitselemente  $\leq 0,5$  mm) hat die Aufgabe, einen eventuell vorhandenen Wasserfilm in der Reifenaufstandsfläche zu durchbrechen und dadurch einen trockenen Kontakt zum Profil des Reifens herzustellen.

Geht man von dem Idealfall einer trockenen Fahrbahn aus, dann zeigt sich, dass die Reibungsbeiwerte unabhängig von den Textureigenschaften sehr hoch und praktisch unabhängig von der Geschwindigkeit sind. Mikro- und Makrotextur beeinflussen erst dann das Niveau der Fahrbahngriffigkeit (siehe Abbildung 2-3), wenn eine nasse Oberfläche vorliegt [ZIPKES 1984].

KLUGER-EIGL [2009] hat in seiner Arbeit den Einfluss der Textur auf die Griffigkeit wie folgt zusammengefasst.

- Bei geringen Geschwindigkeiten ( $< 50$  km/h) hängt der Reibungsbeiwert maßgeblich von der Mikrotextur (Grad der Schärfe der Gesteinsoberfläche) ab und ist weitestgehend unabhängig von der Makrotextur (Drainagevermögen)
- Bei höheren Geschwindigkeiten (um 80 km/h) hängt der Reibungsbeiwert stärker von der Makrotextur ab, jedoch in Abhängigkeit von der Mikrotextur. Ein gutes Drainagevermögen der Gesteinsoberflächen hilft das Wasser abzuführen, sodass die Schärfe der Gesteinsoberflächen wirken kann
- Für das Erreichen einer guten Griffigkeit bei Nässe und bei höheren Geschwindigkeiten ist sowohl eine gute Ausbildung der Mikro- als auch der Makrotextur eine grundlegende Voraussetzung. Eine gute Makrotextur ist wertlos, wenn die entsprechende Mikrotextur nicht vorhanden ist.

Im Zuge der Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester wurden im gegenständlichen Fall keine Texturmessungen durchgeführt, da aktuelle Messverfahren nur unzureichende Rückschlüsse von der Textur auf die Griffigkeit erlauben. Mit aktueller Lasertechnologie und einem leistungsfähigen Aufnahmegerät sollte es aber in naher Zukunft eine Möglichkeit geben, um ausreichend genaue Messungen durchführen zu können.

#### **2.2.4.2 Straßenbaustoff**

Um eine dauerhafte Straße gegen alle auftretenden Einwirkungen herzustellen, ist die Auswahl von geeigneten Baustoffen von großer Bedeutung. Neben der Härte der einzelnen Minerale, der Verbandsfestigkeit, Oberflächenrauheit, Kantigkeit, Kornform, Korngröße und Kornverteilung hat vor allem das Polierverhalten starke Auswirkungen auf das Langzeitgriffigkeitsverfahren [KLUGER-EIGL, 2009].

Auch die Bauweise der Deckschicht – Asphalt oder Beton beeinflusst die Griffigkeit entsprechend [PFEILER, 2004].

#### **2.2.5 Anforderung an die Griffigkeit in Österreich**

Die Anforderungen an die Griffigkeit werden in der RVS 08.16.01 „Anforderungen an Asphaltdecken“ [FSV, 2008] für Asphaltdecken und in der RVS 08.17.02 „Betondecken – Deckenherstellung“ [FSV, 2007] für Betondecken geregelt. Sie beziehen sich auf den Zeitpunkt der Abnahme und zum Ende der Gewährleistungsfrist. Anschließend finden Sie die wichtigsten Passagen aus beiden Normen in der aktuellen Fassung.

##### Messsystem und Messanordnung

Die Griffigkeit der fertigen Deckschicht ist mit dem modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser, System RoadSTAR gemäß RVS 1106.65 [FSV, 2002] zu ermitteln. Die Messung ist durchgehend in Längsrichtung in der rechten Radspur des jeweiligen Fahrstreifens mit einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h und einer rechnerischen Wasserfilmdicke von 0,5 mm durchzuführen. Bei Fahrbahnen, die mit mehreren Fertigerbahnen hergestellt wurden, genügt eine Messung pro Fertigerbahn.

##### Zeitpunkt der Messungen

Griffigkeitsmessungen für die Abnahmeprüfung sind bis 12 Wochen nach der Verkehrsfreigabe durchzuführen. Für die Feststellung der Gewährleistungsansprüche sind die Griffigkeitsmessungen 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 zu überprüfen.

Wenn standardisierte Messbedingungen laut RVS 11.06.65 jahreszeitlich nicht eingehalten werden können, ist die Griffigkeitsmessung bis zum 31. Mai des Folgejahres durchzuführen.

#### Anforderungen

Der Grenzwert für die Griffigkeit eines 50-m-Abschnittes ist festgelegt (siehe Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2):

- Für die Abnahmeprüfung mit  $\mu_{RS} = 0,59$  [-] ( $\mu_{RS}$  – Reibwert ermittelt mit dem Messsystem RoadSTAR)
- Für die Gewährleistungsprüfung  $\mu_{RS} = 0,52$  [-]

Unterschreiten die Reibungsbeiwerte von den einzelnen 50-m-Abschnitten den jeweiligen Grenzwert um mehr als  $\mu_{RS} = 0,03$ , ist unmittelbar nach der Erstmessung eine zweite Messung auf dem negativen Abschnitten durchzuführen. 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. Unterschreiten einzelne 50-m-Abschnitte den jeweiligen Grenzwert dann noch immer um mehr als  $\mu_{RS} = 0,03$ , so liegt ein Mangel vor.

#### Mangel bei Abnahme:

Ist das Messergebnis  $\mu_{RS} \leq 0,38$  [-], so sind unverzüglich vom Erhalter im Wege der Verkehrsbehörden verkehrsbeschränkende Maßnahmen zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit zu setzen.

Ist das Messergebnis  $\mu_{RS} \leq 0,45$  [-], so erfolgt grundsätzlich keine Übernahme und der Auftragnehmer hat Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen. Die Übernahme erfolgt erst, wenn ein Reibungswert  $\mu_{RS} > 0,45$  gegeben ist.

Liegt das Messergebnis im Bereich  $0,45$  [-]  $> \mu_{RS} > 0,56$  [-] so sind im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer entweder griffigkeitsverbessernde Maßnahmen vorzunehmen oder ein Qualitätsabzug zu Anwendung zu bringen.

#### Mangel am Ende der Gewährleistungsfrist

Ist das Messergebnis  $\mu_{RS} \leq 0,49$ , so erfolgt grundsätzlich keine Schlussfeststellung und die Gewährleistung hinsichtlich der Griffigkeit ist um zwei Jahre zu verlängern.

Liegt das Messergebnis  $\mu_{RS} \leq 0,45$ , hat der Auftragnehmer im Einvernehmen mit dem Auftraggeber Maßnahmen zur Herstellung einer übernahmefähigen Griffigkeit zu setzen.

#### Anwendungsbereich

Die Anforderungen gemäß RVS 08.16.01 „Anforderungen an Asphaltdecken“ [FSV, 2008] gelten nur für Autobahnen und Schnellstraßen, während die RVS 08.17.02 „Betondecken – Deckenherstellung“ [FSV, 2007] für alle Arten von Straßen gilt.

**Tabelle 2-1: Anforderungen an Asphaltdecken laut RVS 08.16.01 [FSV, 2007]**

Schicht/Mischgutsorte	Ebenheit [mm/4m] <sup>5)</sup>			
	Prüfnorm	RVS 11.06.62		
Trag- und Tragdeckschichten (Alle Mischgutsorten)	Sollwerte	≤ 6		
	Qualitätsabzug	> 6 bis 18		
	Keine Übernahme	> 18		
Deckschicht (alle Mischgutsorten)	Sollwerte	≤ 4		
	Qualitätsabzug	> 4 bis 12		
	Keine Übernahme	> 12		
	Oberflächentextur, Rauhtiefe [mm]			
	Prüfnorm	ÖNORM EN 13036 - 1		
	Sollwerte	≥ 0,4		
	Qualitätsabzug	–		
	Keine Übernahme	< 0,4		
Deckschicht (PA)	Drainverhalten, Ausflusszeit [s], MW des Profils			
	Prüfnorm	RVS 11.066 T.1		
	Sollwerte	≤ 25		
	Keine Übernahme	> 50		
Deckschicht (BBTM, SMA S3, PA)	Maßgeblicher Rollgeräuschpegel LMA [dB]			
	Prüfnorm	RVS 11.06.64		
	Messgeschwindigkeit	100 km/h <sup>1)</sup>	80 km/h <sup>2)</sup>	50 km/h <sup>3)</sup>
	Sollwerte	≤ 100	≤ 96	≤ 87
	Keine Übernahme	–	–	–
Deckschicht (alle Mischgutsorten)	Griffigkeit, Reibungsbeiwert $\mu$ [–] <sup>4)</sup>			
	Prüfnorm	RVS 11.06.65 (60km/h)		
	Sollwerte	≥ 0,59 – 0,03 Toleranz		
	Keine Übernahme	≤ 0,45		

**Tabelle 2-2: Anforderungen an Betondecken laut RVS 08.17.02 [FSV, 2007]**

	Konventionelle Betondecke	Waschbeton	
		GK 8 mm	GK 11 mm
Rautiefe ÖNORM EN 13036-1*)	≥ 0,4 mm	0,8 bis 1,0 mm	1,0 bis 1,3 mm
Profilspitzenanzahl*)	–	Richtwert 60/25 cm <sup>2</sup>	Richtwert 45/25 cm <sup>2</sup>
Rollgeräusch [dB(A)] (s. RVS 11.05.64)	–	≤ 101 bei einer Fahrge- schwindigkeit von 100 km/h bzw. ≤ 90 bei 50 km/h	≤ 102 bei einer Fahrge- schwindigkeit von 100 km/h
Griffigkeit (s. RVS 11.05.65)	Reibungsbeiwert Road STAR bei 60 km/h mind. 0,59 bei der Übernahme und mind. 0,49 am Ende der Gewährleistungsfrist		
*) für die Erst- und Kontrollprüfungen siehe Punkt 8.3.7 und 8.4.2.6 dieser RVS			

## 3. MESSSYSTEM GRIPTESTER

### 3.1 Allgemeines

Das Interesse am Wissen über die aktuelle Griffigkeit der Straße ist schon seit der Entstehung der modernen Fahrbahnen hoch. Deswegen wurden im Laufe des vergangenen Jahrhunderts eine Vielzahl von verschiedenen Messsystemen entwickelt.

In Österreich wurde im Jahr 1965 ein Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) mit blockiertem Messrad angeschafft, der bis zum Jahr 1985 betrieben wurde. Im Jahr 1990 wurde ein neues hochwertiges Griffigkeitsmessgerät in Österreich entwickelt, welches aufbauend auf dem Prinzip des Stuttgarter Reibungsmessers die beiden Messsysteme SRM und SCRIM miteinander verbindet. Das Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Mashine (SCRIM) Messsystem wurde von der englischen Firma WDM Limited unter der Lizenz von UK Transport Research Laboratory (TRL) entwickelt und patentiert. Es handelt sich dabei um einen LKW mit schräglaufendem Messrad.

Das vom Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) in enger Zusammenarbeit mit arsenal research konzipierte Griffigkeitsmessgerät STURM (Bestandteil des Messsystems RoadSTAR) ist noch immer am Austrian Institute of Technology (AIT) im Einsatz und wird bis dato stetig weiterentwickelt [FUCHS, 2002].

Das Messsystem RoadSTAR eignet sich aufgrund seiner Konzeption als LKW vor allem für das hochrangige Straßennetz. Für viele Fragestellungen im innerstädtischen Bereich bzw. auf dem untergeordneten Straßennetz wird nach einem alternativen, kleinen Griffigkeitsmesssystem verlangt. Ein international weit verbreitetes Messsystem, das sich für diese Fragestellung eignet, ist der GripTester der schottischen Firma Findlay Irvine, Ltd..

### 3.2 Arbeitsanweisung MK2

Die Erarbeitung einer Arbeitsanweisung (siehe „Anhang A“) für das Messsystem MK2 wurde vor und im Zuge der ersten Messungen im Schiebe- und Zugbetrieb erledigt. Die Arbeitsanweisung dient dem Labor des Instituts für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Straßenwesen der Qualitätssicherung.

Um die Anweisung erstellen zu können, mussten diverse Punkte im Vorfeld geklärt werden. Dazu zählen:

- Notwendige Änderungen am Messgerät, um es nach österreichischen Verkehrsvorschriften typisieren zu können, um damit im öffentlichen Verkehr Messungen im Zugebetrieb durchführen zu können (Beleuchtung, Sicherungseinrichtung).
- Überprüfen der Eignung des Zugfahrzeugs (Höhe der Anhängerkupplung).
- Art des Einbaus der verschiedenen Komponenten (Sicherung Wassertank, Steuer- und Regelungseinheit, Wheellift).
- Auswahl eines geeigneten Softwareprogramms.

- Übersetzen des Benutzerhandbuches aus dem Englischen ins Deutsche. Im Speziellen für die Kalibrierung des Messsystems.
- Überprüfen des Messgerätes, ob es nach der gültigen österreichischen RVS 11.06.71 [FSV, 2009] eingesetzt werden kann.

Den nötigen Umbau (siehe Abbildung 3-1) des Messgerätes MK2 für eine Typisierung übernahm eine auf Anhänger spezialisierte Firma, die eine Beleuchtungseinheit und eine Sicherungskette montierte und das offizielle Gewicht samt Umbauten von 105 kg ermittelte.



**Abbildung 3-1: Beleuchtung und Sicherungskette GripTester MK2**

Alle anderen Punkte werden in den anschließenden Kapiteln kurz erklärt oder können den Messergebnissen (siehe Kapitel 5) und dem „Anhang A“ entnommen werden.

### 3.3 Kurzbeschreibung

Der Vertriebspartner für das Messsystem GripTester im deutschsprachigen Raum ist die Firma Mechatronic Traffic GmbH. Diese Firma bewirbt das System mit folgendem Text [mechatronic-traffic.de, 2009]:

*Der GripTester ist ein kompaktes Messgerät zur dynamischen Ermittlung des Reibwertes, mit dem auch längere Strecken in kurzer Zeit vermessen werden können.*

*Durch seine robuste Konstruktion hält der GripTester auch rauen Alltagsbedingungen problemlos stand.*

*Zur Durchführung von Messungen kann der GripTester an ein Fahrzeug angehängt oder im Schiebebetrieb eingesetzt werden. Dadurch bietet sich eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten, auch an Stellen, die für andere Systeme nur schwer zugänglich sind:*

- *Fahrbahnmarkierungen*
- *Geh- und Radwege*
- *Innenbereiche (z. B. Bahnhöfe, Einkaufspassagen, etc.)*
- *Enge Kurven*

*Der GripTester liefert zuverlässige, reproduzierbare und präzise Messergebnisse. Die Vergleichbarkeit zu den mit SRT und SCRIM ermittelten Reibwerten wurde im Rahmen europaweiter Versuche nachgewiesen.*

Es handelt sich also um ein dynamisches Messgerät, das zur kontinuierlichen Messung und Aufzeichnung von Reibungsbeiwerten geeignet ist. Das Gerät wurde 1987 von der Firma Findlay Irvine, Ltd. entwickelt und als Modell MK1 auf den Markt gebracht. Seit dem wurde der GripTester aber laufend weiterentwickelt und seit dem Jahre 2003 wird das verbesserte Modell MK2 (siehe Abbildung 3-2) vertrieben.



**Abbildung 3-2: GripTester MK2 [Findlay Irvine, Ltd., 2009]**

Bei dem Folgemodell MK2 wurde das Hauptaugenmerk einerseits auf eine verbesserte Bedienungsfreundlichkeit gelegt, um schneller korrekte Messdaten zu erhalten, andererseits wurde das Messsystem für das Messen von Reibwerten in kleinen Radien erweitert. Dafür wurde die Elektronik weitgehend erneuert und es wurde eine neue Messachse verwendet. Vor allem wurde aber die Kalibrierung des GripTesters wesentlich vereinfacht und kann somit in der Hälfte der Zeit im Hinblick auf das Modell MK1 (siehe Abbildung 3-3) erledigt werden.

Bis heute sind weltweit bereits über 400 GripTester verkauft worden, welche großteils (ca. 300) auf Flughäfen und Helidecks im Einsatz sind. Die Restlichen (ca. 100) kommen auf Straßen zur Anwendung. In Europa werden für die Griffigkeitsmessungen auf Flugbetriebsflächen ca. 120 GripTester und auf Fahrbahnoberflächen von Straßen ca. 70 GripTester verwendet. Von diesen 70 GripTestern ist die Hälfte in Großbritannien, die Übrigen in Belgien, Niederlande, Italien, Deutschland, Frankreich, Portugal, Spanien, Irland, Kroatien, Tschechien und zwei in Österreich (beide im Besitz des Instituts für Verkehrswissenschaften der TU-Wien) in Verwendung [KLUGER-EIGL, 2009].



**MK1**



**MK2**



**Abbildung 3-3: Vergleich der Modelle MK1/MK2 [KLUGER-EIGL, 2009]**

Wie man der Produktbeschreibung und den Abbildung 3-2 Abbildung 3-3 entnehmen kann, handelt es sich also um einen mit rund 100 kg relativ leichten Messanhänger mit 2 Laufrädern und einem mittig angeordneten Messrad. Grundsätzlich sind für die zwei möglichen Betriebsarten (Zugbetrieb und Schiebetrieb) des GripTesters folgende drei Messbedingungen zu erfüllen:

- Eine stetige Wasserzufuhr muss gewährleistet sein
- Ein DataLogger (z.B. PC) zur Aufzeichnung der Reibungsbeiwerte muss zur Verfügung stehen
- Eine konstante Geschwindigkeit muss eingehalten werden.

Beim Zugbetrieb wird das Gerät von einem dafür vorgesehenen Messfahrzeug im Bereich von 30 km/h bis 130 km/h gezogen. Als Zugfahrzeug dient meist ein handelsüblicher, umgerüsteter Transporter, der mit einer speziellen Kupplung und einem Wassertank ausgerüstet sein muss (siehe Abbildung 3-4).



**Abbildung 3-4: Messsystem GripTester MK2**

Die zweite mögliche Betriebsart ist der sogenannte Schiebetrieb. Dabei wird der GripTester mit rund 5 km/h von einer Person angeschoben. Das für die Annäherung der Messspur benötigte Wasser wird von zwei auf das Gerät aufgesetzten Wassertanks bereitgestellt (siehe Abbildung 3-5).



**Abbildung 3-5: GripTester im Schiebetrieb**

Um noch besser auf kleinräumigen Betriebsflächen wie z.B. Gehsteigen, Farbmarkierungen, Kanaldeckel usw. messen zu können, hat Findlay Irvine, Ltd. ein neues Gerät, den micro GripTester entwickelt (siehe Abbildung 3-6). Dieser ist mit einem integrierten Wassertank ausgestattet und hat ein Betriebsgewicht von rund 21 kg.



**Abbildung 3-6: micro GripTester [Findlay Irvine, Ltd., 2009]**

### **3.4 Technische Daten**

Das Messsystem GripTester besteht aus vier wesentlichen Bestandteilen:

- Messanhänger
- Bewässerungssystem
- Datenerfassungseinheit
- Zugfahrzeug im Zugbetrieb

#### Messanhänger GripTester

Das Tragsystem des GripTesters besteht aus einem massiven Rahmen, einer Laufachse und einer Messachse. Auf der Vorderachse befinden sich zwei profilierte Reifen aus dem Kartsport und auf der Hinterachse (= Messachse) befindet sich ein profilloser Messreifen (siehe Abbildung 3-11). Zusätzlich ist eine Rechereinheit (SPU – Signal Processing Unit) verbaut, die dazu dient, die aufgenommenen Messdaten zu verarbeiten und an einen externen Datenlogger zu übertragen.

Durch eine Modifikation der Messachse können mit dem Modell MK2 im Gegensatz zum Modell MK1 auch Messungen in Bögen durchgeführt werden. Das wurde durch Einbau einer veränderten Messachse möglich. Auch die Bedienungsfreundlichkeit wurde mit dem Modellwechsel erhöht, indem die Kalibrierung nun teilweise vollautomatisch abläuft. Nachteil dieses automatischen Programmablaufs ist aber, dass nicht mehr manuell in die Messdatenerfassung eingegriffen werden kann, und man somit die aufgezeichneten Messdaten nicht kontrollieren kann.

In Tabelle 3-1 sind die wesentlichen Daten der beiden Modelle (MK1 und MK2) einander gegenübergestellt. Diese wurden aus den Wartungshandbüchern der Firma Findlay Irvine, Ltd. zusammengestellt.

**Tabelle 3-1: Technische Daten erweitert nach [KLUGER-EIGL, 2009]**

Parameter	MK1	MK2
Länge	1010 mm (ohne Zugdeichsel oder Schiebegriff)	
Breite	790 mm	
Höhe	510 mm (ohne Wassertanks)	
Eigengewicht	ca. 85 kg (ohne Zugdeichsel oder Schiebegriff)	
Laufreifen	ø 10 Zoll (25,4 cm), profiliert, Dunlop 10x3.60-5, Lauffläche KT3-W, Mischung K8-CIK	
Messreifen	Gummimischung nach ASTM-Standard E1844-96, Shore-A Härte $58 \pm 2$ bei $23 \pm 2$ °C nach DIN 53505, Reifenkontrollbohrungstiefe ca. 5 mm.	
Messreifenlast	ca. 250 N (kontinuierliche Erfassung)	
Messreifenschlupf	$15 \pm 1\%$	
Reifeninnendruck	1,4 bar (bei 20° C)	
Betriebsgeschwindigkeit	Zugebetrieb 20 km/h bis 130 km/h Schiebebetrieb 5 km/h	
Messbereich	$0,00 \leq \mu_{GT} \leq 1,20$	$0,00 \leq \mu_{GT} \leq 1,50$
Messung in Bögen	Nein	Ja
Kalibrierung	manuell	automatisiert
Federung	Schraubenfeder	Elastomer

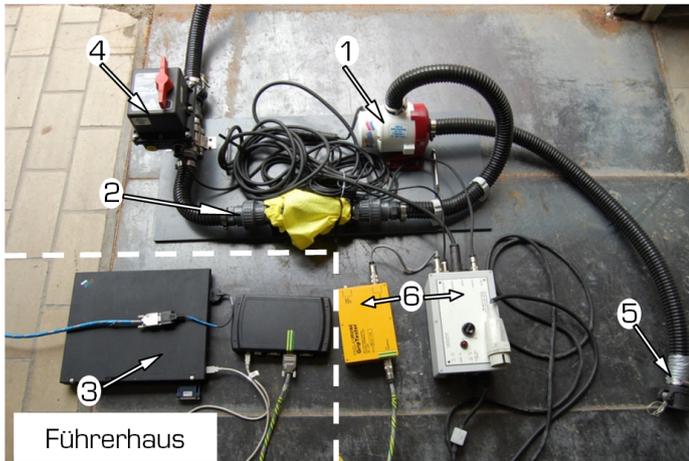
Das Eigengewicht von ca. 85 kg bezieht sich auf einen fabrikneuen GripTester ohne Zugdeichsel oder Schiebegriff und ohne Kennzeichenhalterung plus notwendige Beleuchtungskörper. Das im Fahrzeugbrief eingetragene Gewicht, das bei der örtlichen Zulassungsstelle ermittelt wurde, beträgt 105 kg. Das zusätzliche Gewicht ergibt sich aus Zugdeichsel, Wheelift (siehe Abbildung 3-10) und Kennzeichenhalterung samt Beleuchtung.

Bewässerungssystem:

Zur Annäherung der Fahrbahnoberfläche in der Rollspur des Messreifens ist ein Bewässerungssystem notwendig, das einen je nach Messgeschwindigkeit konstanten Wasserfluss gewährleistet [KLUGER-EIGL, 2009]. Gefördert wird das unbehandelte Wasser durch ein Pumpsystem (siehe Abbildung 3-7), das sich im Inneren des Zugfahrzeugs befindet. Das Wasser wird an der Unterseite des GripTesters (siehe Abbildung 3-11) unmittelbar vor dem Messreifen auf die Fahrbahn ausgebracht. Dadurch entsteht, je nach Wasserfilmdicke und Fahrgeschwindigkeit, eine rund 3 bis 7 cm breite Messspur.

Im Zuge der Einführung des MK2 wurde auch das Bewässerungssystem modifiziert. Das Pump- und Regelsystem ist jetzt baulich vom Wassertank getrennt. Dadurch wird gewährleistet, dass mit geringem Aufwand fast jeder Wassertank für das System adaptiert werden kann.

Das neue Bewässerungssystem wird durch das Softwareprogramm „Roadbase“ gesteuert, wodurch die Bedienung im Gegenteil zum Bewässerungssystem des MK1 wesentlich erleichtert wurde. Falls erwünscht, ist es nun auch möglich, die Durchflussrate elektronisch zu protokollieren.

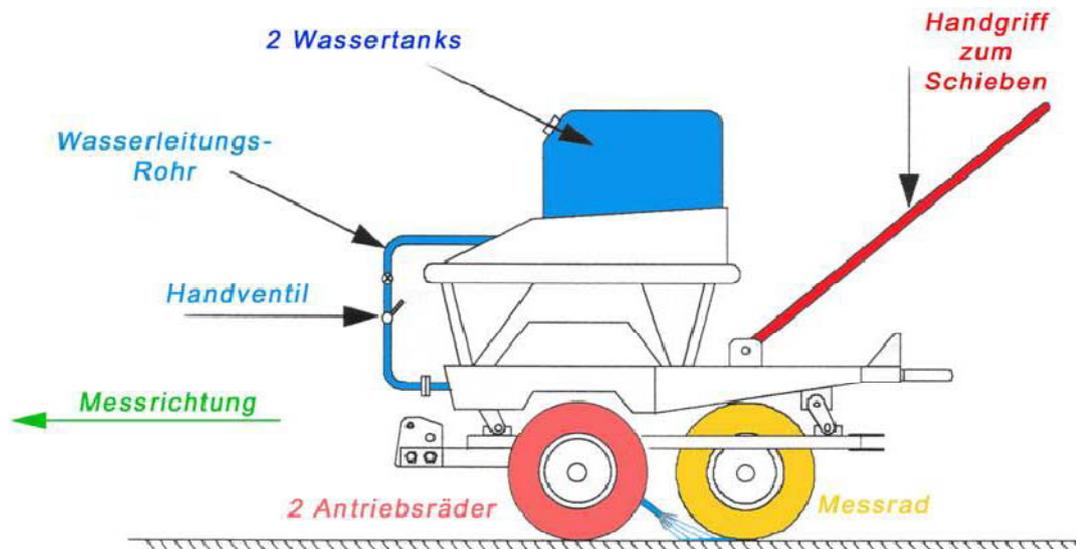


1. Pumpe
2. Durchflussmesser
3. Laptop
4. Wasseranschluss Tank
5. Wasseranschluss GT
6. Steuerungseinheiten

**Abbildung 3-7: Bewässerungssystem, Steuerung und Anschlüsse**

Im Schiebetrieb besteht das Bewässerungssystem aus zwei einfachen Wassertanks, die manuell bedient werden (siehe Abbildung 3-5 und Abbildung 3-8). Über ein Ventil kann anhand einer Ausflussmessung die benötigte Durchflussrate eingestellt werden.

Am Institut für Verkehrswissenschaften der TU Wien wird im Zugbetrieb ein Wassertank mit einem Fassungsvermögen von 600 l verwendet, welcher eine hohe Reichweite ermöglicht. Somit beträgt die maximale Messabschnittslänge mit dem 600 l Tank bei einer Standardmessung (60 km/h, 25 l/min) rund 20 km. Im Schiebetrieb wurden zwei Wassertanks mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 50 l verwendet.



**Abbildung 3-8: Anordnung der Wassertanks nach [PILLES, 2002] und [JANISCH, 2002]**

### Datenerfassungseinheit:

Grundsätzlich überträgt der GripTester während der Messung laufend folgende Werte:

- Reibungsbeiwerte
- Geschwindigkeitsdaten
- Wegstreckenlänge

Das Bewässerungssystem liefert noch zusätzlich Werte für die momentane Durchflussrate. Alle diese Werte müssen aufgezeichnet und gespeichert werden.

Bei den in dieser Diplomarbeit durchgeführten Vergleichsmessungen wurde folgende Messkonfiguration (siehe auch Abbildung 3-7) verwendet:

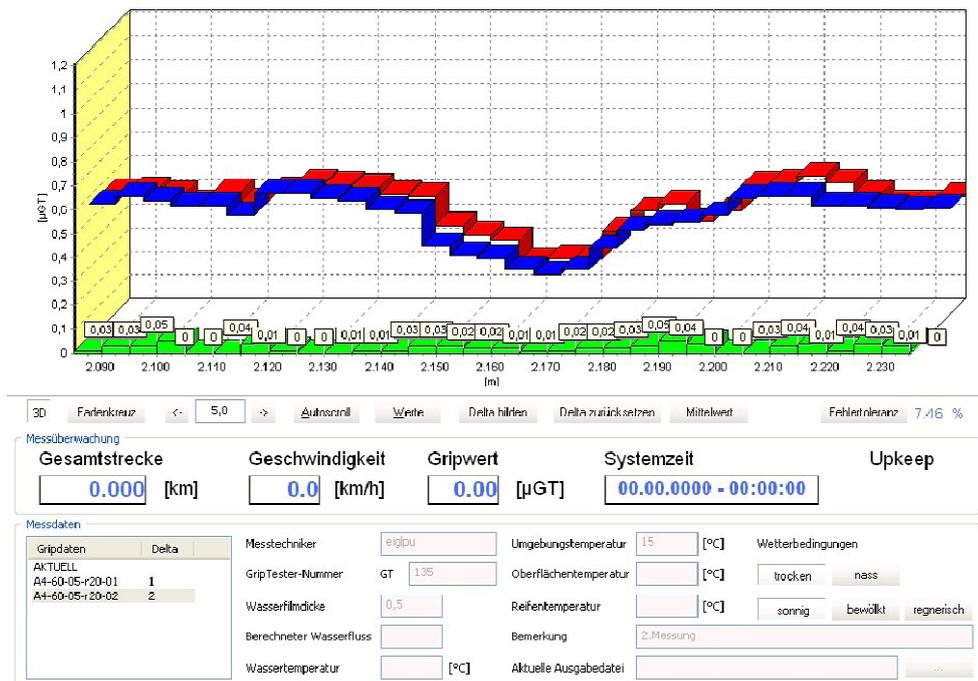
- PC – Laptop: Pentium 700-MHZ-Prozessor  
Mindestens 128 MB RAM  
Mindestens 2 GB freier Speicherplatz auf der Festplatte  
1x RS – 232 Schnittstelle  
1x USB Schnittstelle
- Software „Roadbase“ der Firma Findlay Irvine, Ltd.
- Software „Roadmanager“ der Firma Mechatronic GmbH

Als Software kommen zwei Pakete zur Anwendung. Einerseits das Programm „Roadmanager“ der Firma Mechatronic GmbH und andererseits das Programm „Roadbase“ der Firma Findlay Irvine, Ltd.

Bei der Software „Roadbase“ handelt es sich um ein Gesamtpaket, das sowohl die Reibungsbeiwerte und die Geschwindigkeits- und Wegstreckendaten aufzeichnet, als auch das Bewässerungssystem steuern kann. Leider fehlen diesem Programm einige nützliche Funktionen wie eine schnelle Vergleichbarkeit der gespeicherten Daten.

In dieser Arbeit wurde die Software „Roadmanager“ verwendet, da diese eine schnelle Vergleichbarkeit der aufgezeichneten Werte ermöglicht (siehe Abbildung 3-9). Das Programm „Roadbase“ wurde lediglich für die Steuerung des Bewässerungssystems herangezogen.

Die Software „Roadmanager“ speichert alle erfassten Parameter in einer Text-Datei auf dem PC ab, welche für eine detaillierte Auswertung in ein Tabellenkalkulationsprogramm importiert werden kann. Die Software „Roadbase“ speichert automatisch die Messdaten in einer Microsoft Excel Datei und in einer Access Datenbankdatei ab [KLUGER-EIGL, 2009].



**Abbildung 3-9: Aufzeichnung der Datenerfassungssoftware „Roadmanager“ [MECHATRONIC, 2004]**

### Zugfahrzeug

Aufgrund des Gewichtes und der benötigten Geschwindigkeiten ist im Zugbetrieb im Regelfall ein Kraftfahrzeug notwendig. Prinzipiell kann jedes Fahrzeug verwendet werden, das gemäß KLUGER-EIGL [2009] folgende Voraussetzungen und Ausstattungsmerkmale besitzt:

- Anhängervorrichtung in passender Höhe/Lage für den Anschluss der Zugdeichsel des GripTesters
- Ausreichend Stauraum für Wassertank und Transport des GripTesters
- Ausreichende Nutzlast für den vollen Wassertank (bis zu 1000 kg)
- Stromversorgung für Bewässerungssystem und Datenerfassungseinheit
- Tempomat für die Einhaltung einer konstanten Messgeschwindigkeit
- Ausreichende Motorisierung zur Beschleunigung auf die Messgeschwindigkeit
- Warnleuchte

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein Transporter des Automobilherstellers Volkswagen AG verwendet, der ein ausreichendes Platzangebot aufweist und über eine ausreichende Motorleistung für die nötige Beschleunigung verfügt. Das Fahrzeug war mit der notwendigen Anhängerkupplung (siehe Abbildung 3-4) für die rechte Rollspur ausgerüstet und verfügte über einen Tempomat.

KLUGER-EIGL [2009] hat in seiner Arbeit festgestellt, dass ein Spurführungssystem (SFS) keinen nennenswerten Vorteil bietet. Daher wurde bei den hier durchgeführten Messungen auf die Anwendung eines Spurführungssystems verzichtet. Dieses System

dient der Unterstützung bei der Spurhaltung sowie der Dokumentation der gefahrenen Spur.

### Wheellift

Eine weitere wichtige Neuerung bedeutet die Einführung eines sogenannten „Wheellifts“. Der Wheellift ermöglicht das Be- und Entlasten des Messrades während der Fahrt vom Führerhaus aus. Das Entlasten ist notwendig, da somit kurze Streckenabschnitte ohne Wasserverbrauch zurückgelegt werden können, und dies ohne Verschleiß des teuren Messrades. So kann die Reichweite erhöht werden, und im Gegensatz zum MK1 kann dadurch auch das gefährliche Anhalten auf Autobahnen entfallen.

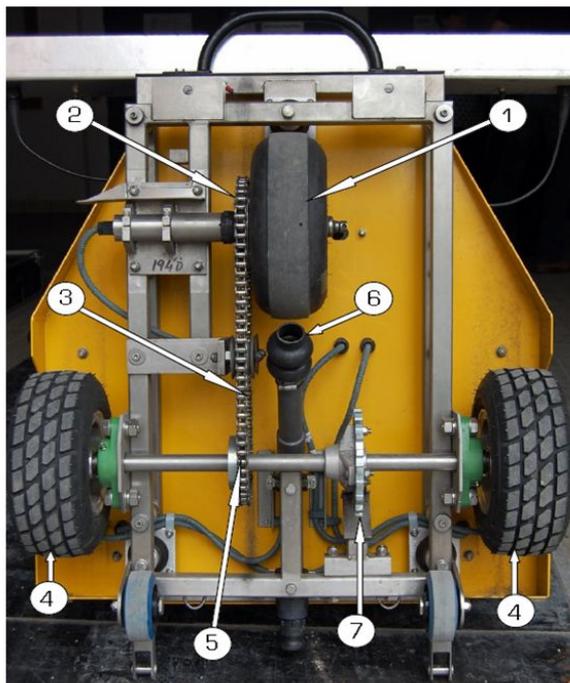


**Abbildung 3-10: Wheellift (entlastetes Messrad)**

## **3.5 Messprinzip**

Die Ermittlung des Reibungsbeiwertes erfolgt nach dem Prinzip des definiert gebremsten und geradeaus laufenden Messrades mit einem kleinen Messreifen auf einer mit Wasser benetzten Oberfläche [KLUGER-EIGL, 2009]. Dieses Prinzip erfolgt bei dem Messsystem GripTester mittels konstantem Schlupf des Messrades mit einem Wert von 15%.

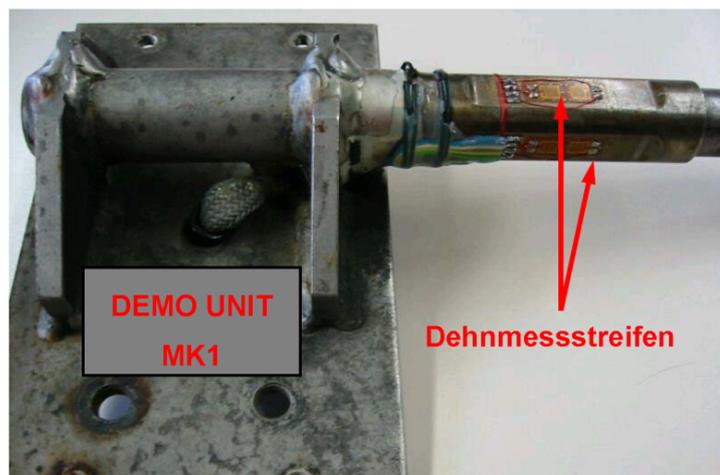
Erreicht wird der Schlupf dadurch, dass das mittig angebrachte Messrad mit den beiden Laufrädern (siehe Abbildung 3-11) mittels einer Kette starr verbunden ist, und durch verschieden große Zahnräder wird der vorgegebene Schlupf sichergestellt. So befindet sich auf der Achse des Messrades ein Zahnrad mit 32 Zähnen, auf der Achse der Laufräder ein kleineres Zahnrad mit 27 Zähnen. Infolge des konstanten Schlupfes wirkt während der Messfahrt in der Kontaktfläche Messreifen/Fahrbahn eine horizontale Längsreibungskraft [KLUGER-EIGL, 2009]. Weiters wirken auf das Messrad noch Vertikalkräfte, die einerseits aus dynamischen Lasten als auch aus der statischen Auflast von rund 250 N bestehen.



- 1 Messreifen
- 2 Großes Zahnrad ( $Z_{anz}=32$ )
- 3 Kette
- 4 Laufräder
- 5 Kleines Zahnrad ( $Z_{anz}=27$ )
- 6 Mündung der Wasserzufuhr
- 7 Impulsgeber

**Abbildung 3-11: Unterseite des GripTesters MK2**

In Abbildung 3-13 wird das Messprinzip des GripTester MK2 erklärt. Um die Messung in Bögen zu ermöglichen, wird nicht mehr das absolute Moment wie beim MK1 ermittelt, sondern die Bestimmung erfolgt über die Differenz der Momente. Dazu sind Dehnmessstreifen ähnlich dem Modell MK1 (siehe Abbildung 3-12) auf der Messachse aufgebracht. Die Dehnmessstreifen messen die Längenänderungen, und somit können die auftretenden Momente und Kräfte berechnet werden.



**Abbildung 3-12: Messquerschnitt mit DMS auf der Messradachse MK1 [Findlay Irvine, Ltd.]**

### Statisches System der Messachse

Die Messachse ist mit dem massiven Rahmen des GripTesters verschraubt (siehe Abbildung 3-11). Als statisches System (siehe Abbildung 3-13) kann man sich den Achsstummel des Messrades als einen eingespannten Kragarm denken, der mit den resultierenden horizontalen Kräften ( $R_{Fh}$ ), den resultierenden vertikalen Kräften ( $R_{Fv}$ ) und den resultierenden Seitenkräften ( $R_S$ ) belastet wird. Die Konstruktion ist derart ausgeführt, dass nur elastische Verformungen auftreten.

#### Horizontale Anteile:

Die resultierende horizontale Kraft ( $R_{Fh}$ ) ergibt sich aus dem verzögerten Messrad und bewirkt ein Moment um die z-Achse. Mit Hilfe dieses Momentes kann die horizontale Kraft ( $F_h$ ) berechnet werden, die zur Berechnung des Reibungsbeiwertes  $\mu_{GT}$  nötig ist. Diese Kraft wird nicht durch Seitenkräfte, die während der Bogenfahrt auftreten, beeinflusst.

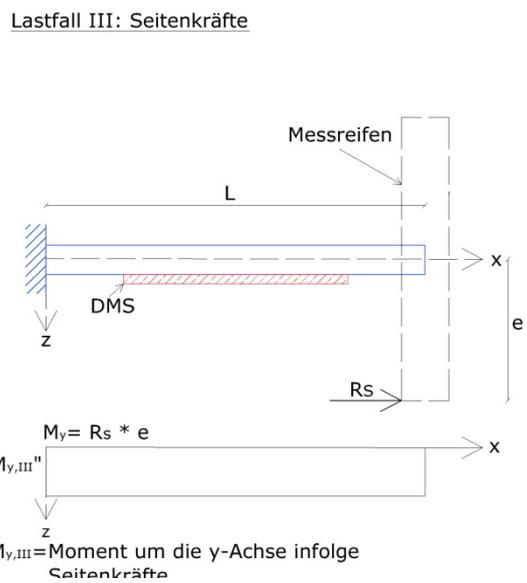
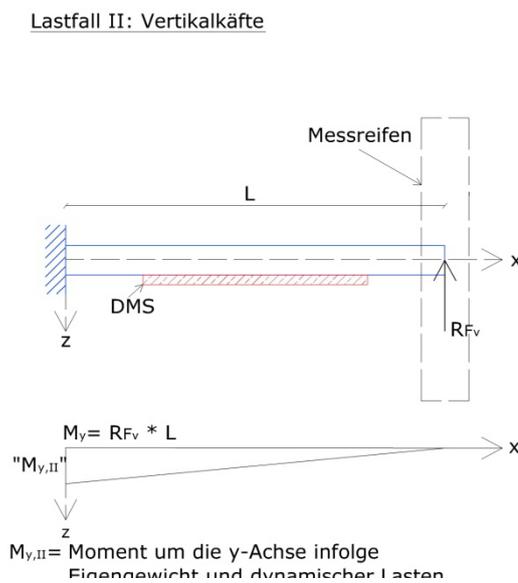
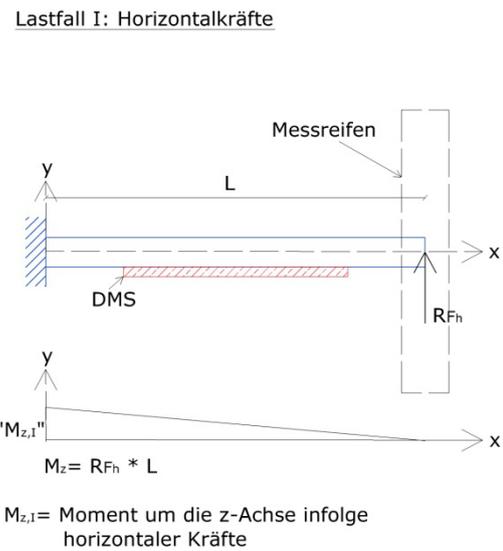
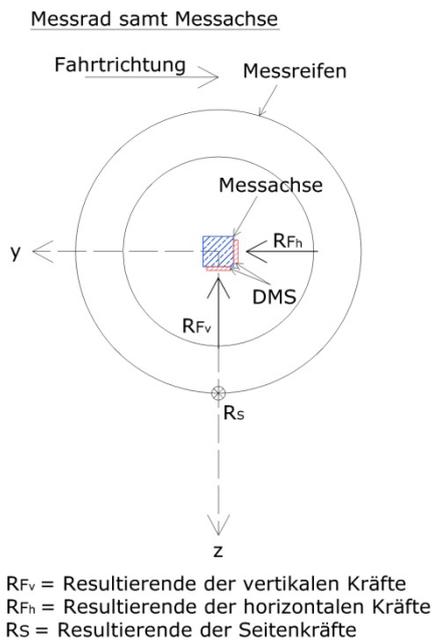
#### Vertikale Anteile:

Die vertikale Kraft ( $R_{Fv}$ ) ergibt sich aus dem Eigengewicht des GripTesters, die Seitenkraft ( $R_S$ ) ergibt sich aus den seitlich einwirkenden Kräften, die während der Bogenfahrt auftreten. Die Seitenkraft ( $R_S$ ) hat je nach Links- oder Rechtskurve einen positiven oder negativen Wert.

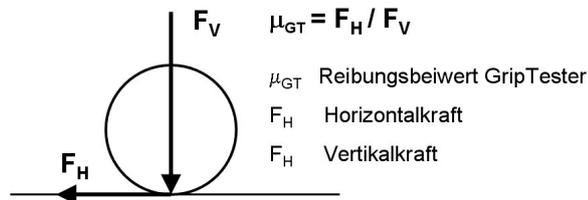
Das konstant verlaufende Moment infolge Seitenkräfte ( $M_{y,III}$ ) und das linear verlaufende Moment infolge vertikale Kraft ( $M_{y,II}$ ) ergeben in den Dehnmessstreifen unterschiedliche Längenänderungen. Aufgrund dieser Differenz können die Seitenkräfte, die während der Bogenfahrt auftreten, heraus gerechnet werden.

Damit ist es möglich, die korrekte vertikale Kraft ( $F_v$ ), die zur Berechnung des Reibungsbeiwertes  $\mu_{GT}$  nötig ist, zu bestimmen.

Durch die Bildung des Quotienten aus Horizontal- und Vertikalkräfte erhält man gemäß dem Coulomb'schen Reibungsgesetzes (Formel 2-1) den Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  (siehe Abbildung 3-14).



**Abbildung 3-13: Schema des statischen Systems der Messachse MK2**



**Abbildung 3-14: Ermittlung des Längsreibungsbeiwertes  $\mu_{GT}$  [KLUGER-EIGL, 2009]**

### 3.6 Datenerfassung

Eine Erfassung aller relevanten Daten ist für eine detaillierte Auswertung nötig. Die Erfassung beinhaltet Daten über vorgegebene Parameter sowie über variable Parameter.

Vorgegebene Parameter sind:

- Messstrecke (Bezeichnung und Ort)
- Deckenart (SMA, AB, Beton, etc.)
- Datum der Herstellung der Fahrbahn
- Fahrbahntemperatur
- Wassertemperatur
- Reifentemperatur
- Umgebungstemperatur
- Wetter (sonnig/bewölkt/Regen etc.)

Variable Parameter sind:

- Geschwindigkeit
- Wasserfilmdicke
- Distanz
- Messauflösung
- Messintervall (Aufzeichnungsintervall)

Die Messauflösung bedeutet, dass die Anzahl der übertragenen Impulse pro Radumdrehung (PPR = Pulses per Rotation) individuell eingestellt werden kann. Pro Impuls wird ein Reibwert an das Messsystem übertragen. Wählt man z.B. 2 PPR aus, dann werden pro Radumdrehung 2 Impulse gesendet, bei einem Radumfang von 80 cm wird also alle 40 cm ein Wert übertragen. Mögliche Einstellungen sind 1, 2, 5 und 20 PPR.

Im Unterschied zur Messauflösung legt das Messintervall fest, in welchem Intervall die übertragenen Reibwerte zu einem Mittelwert zusammengefasst werden. So besteht z.B. bei einem Intervall von 5 m, ein aufgezeichneter Reibwert bei 2 PPR aus 12 Einzelwerten. Mögliche Einstellungen sind von 1 bis x Meter.

Daher kann sich für dasselbe Messintervall bei unterschiedlicher Messauflösung ein anderer Reibwert ergeben. Würde man z.B. ein Messintervall von 5 m mit 20 PPR Messauflösung wählen, würde sich der 5 m Wert aus 125 Einzelwerten zusammensetzen.

Beide, Messauflösung und Messintervall, sind ein wichtiger Bestandteil der österreichischen Normung und werden dort auch ausdrücklich geregelt. Im Schiebetrieb sind 20 PPR und 1 m Messintervall, und im Zugbetrieb sind 2 PPR bei 5 m Messintervall vorgeschrieben.

### 3.7 Anwendungsbereich

Der GripTester wurde entwickelt, um in allen Bereichen des Straßenbaus Griffigkeitsmessungen durchzuführen. Insbesondere sollten auch in Fußgängerzonen, auf Radwegen oder auf Fahrbahnmarkierungen Messungen möglich sein. Durch das hohe Gewicht des GripTesters sind aber solche Messungen selten, außerdem hat Findlay Irvi-

ne, Ltd. durch die Entwicklung des micro GT ein neues, verbessertes Gerät für diese speziellen Fälle geschaffen.

Somit bleiben als Hauptanwendungsgebiet für das Messsystem GripTester Straßen und Flugpisten. Insbesondere eignet sich der GripTester durch seine kompakten Abmessungen und sein geringes Gewicht für Messungen in Städten oder im dicht verbauten Gebiet, da sehr schnell die geforderte Messgeschwindigkeit erreicht werden kann.

Grundsätzlich ist es möglich, Messungen bei allen Witterungsbedingungen durchzuführen. Die Messgeschwindigkeiten können zwischen 0 km/h und 120 km/h frei gewählt werden, wobei für Geschwindigkeiten < 5 km/h der Schiebetrieb zur Anwendung kommt.

Die RVS 11.06.71 [FSV, 2009] schreibt, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, die wichtigsten Parameter vor. Dabei handelt es sich um folgende Bedingungen/Einstellungen getrennt nach Schiebetrieb/Zugbetrieb:

#### Messbedingungen / Messeinstellungen im Schiebetrieb

- Messgeschwindigkeit 5 km/h
- Wasserfilmdicke 0,5 mm, entspricht 2,5 l/min bei 5 km/h
- Aufzeichnungsintervall 1 m / 20 PPR
- Fahrbahn trocken
- Temperatur > 5°C

#### Messbedingungen / Messeinstellungen im Zugbetrieb

- Messgeschwindigkeit 60 km/h
- Wasserfilmdicke 0,5 mm = 25 l/min
- Aufzeichnungsintervall 5 m / 2 PPR
- Fahrbahn trocken
- Temperatur > 5°C

### **3.8 Qualitätssicherung**

Das Messsystem GripTester wird in regelmäßigen Abständen auf seine volle Funktionsfähigkeit hin überprüft. Die Anforderungen für die Qualitätssicherung sind in der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] geregelt und sind einzuhalten.

Ein Teil dieser Überprüfung ist, dass in regelmäßigen Abständen Referenzmessungen auf einer Referenzstrecke mit einer Länge von 2 km durchgeführt werden müssen. Wie KLUGER-EIGL [2009] in seiner Arbeit zeigt, muss diese Überprüfung nicht monatlich durchgeführt werden, sondern es ist ausreichend, nach einer längeren Messpause eine Referenzmessung zu machen.

Auch ein regelmäßiges Service beim Hersteller Findlay Irvine, Ltd. oder einem Vertragspartner wird vorgeschrieben. Die letzte Wartung für das Messsystem GripTester GT135 MK1 des Institutes für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßenwesen wurde 2006 bei der Firma Mechatronic Traffic GmbH in Deutschland durchgeführt. Bei solch einer Überprüfung wird ein Wartungsprotokoll erstellt, und es werden Referenzmessungen mit einem internen Gerät der Firma auf einer Referenzstrecke

absolviert. Diese Messungen ergaben ein Kalibrierzertifikat (siehe Abbildung 3-15), das nur eine geringe Gerätekorrektur für den GT135 vorschreibt. Die aktuelle Korrektur ergab für den GT135  $\mu_{GT} = 1,015 \times - 0,006$ . Dies wurde bei den folgenden Untersuchungen und Auswertungen berücksichtigt und eingerechnet.

## Kalibrierzertifikat

Für GT-Nr. 135

Betreiber: Technische Universität Wien, AP: Dipl. Ing. Eigl

letzte Wartung: Aug 2006

letzte Kalibrierung: Jun 2004

Referenz-GT: 082

Betreiber: Baustoff-u. Bodenprüfstelle  
Darmstadt

Referenz-Messreifen Nr.: A40.02604 (14.02.2006)

### Kalibrierstrecken:

1. B42/hin - V60 und V40 - 04.08.2006
2. S/L-Bahn Airbase Griseim - V60 und V40 - 07.08.2006
3. ---

### Korrekturfaktor (Zutreffendes bitte ankreuzen)

Gerätekorrektur  $\mu_{GT} = 1,015 \times - 0,006$

Reifenkorrektur  $\Delta_r = 0,0000$

**Besonderheiten:** Die Gerätekorrektur wurde im Zuge der zeitbefristeten Betriebszulassung gemäß Arbeitanleitung LFCG durchgeführt. Da diese Zulassung in dieser Form so das erste Mal statt fand und noch in der Erprobungsphase ist, ist der Gerätekorrekturfaktor kritisch zu betrachten.

Kalibrierung gültig bis: August 2007

08.09.2006,

  
Unterschrift

Bearbeiter: VS

Seite 1/1  
200608\_ZeitbefristeteZulassung\_GT135.doc

### Abbildung 3-15: Kalibrierzertifikat GT135, August 2006

Die Durchführung von Griffigkeitsmessungen mit dem Messsystem GripTester wird in Österreich in der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] geregelt. In dieser RVS wurde festgelegt, dass die Messgenauigkeit durch Doppelmessungen jedes Mal nachgewiesen werden muss. Damit die Messungen gültig sind, müssen die Grenzwerte gemäß Tabelle 3-2 eingehalten werden, ansonsten ist eine weitere Messung durchzuführen und diese mit der vorhergehenden zu vergleichen. Erst wenn zwei aufeinanderfolgende Messungen innerhalb der Grenzwerte liegen, kann die Messdurchführung beendet werden [KLUGER-EIGL, 2009].

**Tabelle 3-2: Messgenauigkeit GripTester**

Messstreckenlänge 2 km, 50-m-Mittelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenzen der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta MW \leq 0,03$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessungen	$2\sigma \leq 0,06$

Monatlich bzw. vor Messungen nach längeren Einsatzpausen ist eine Kalibrierung gemäß Herstellerhandbuch durchzuführen. Nach erfolgter Kalibrierung ist eine Wiederholungsmessung auf einer mindestens 2 km langen Messstrecke, die unmittelbar vor der Kalibrierung gemessen wurde, durchzuführen. Dabei sind die zulässigen Abweichungen gemäß Tabelle 3-3 einzuhalten, ansonsten sind die seit der letzten gültigen Kalibrierung ermittelten Ergebnisse zu verwerfen [KLUGER-EIGL, 2009].

**Tabelle 3-3: Zulässige Abweichungen bei Kalibrierungsmessungen**

Messstreckenlänge 2 km, 50-m-Mittelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenzen der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta MW \leq 0,04$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$2\sigma \leq 0,07$

Zusätzlich sind während der Messsaison, in der Regel in monatlichen Abständen, jedenfalls vor Messungen nach längeren Einsatzpausen Referenzmessungen auf einer 2 km langen Referenzstrecke durchzuführen. Dabei sind die zulässigen Abweichungen gemäß Tabelle 3-4 einzuhalten, ansonsten sind die seit der letzten gültigen Referenzmessung ermittelten Ergebnisse zu verwerfen.

**Tabelle 3-4: Zulässige Abweichungen bei Referenzmessungen**

Messstreckenlänge 2 km, 50-m-Mittelwerte	Grenzwert
Betrag der Differenzen der Mittelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$\Delta MW \leq 0,05$
Doppelte Standardabweichung der Differenzen der 50-m-Einzelwerte der Erst- und Wiederholungsmessung	$2\sigma \leq 0,10$

## 4. DURCHGEFÜHRTES MESSPROGRAMM

### 4.1 Beschreibung des Messprogramms

Das Ziel des Messprogramms war die Eignung des Messsystem GripTester MK2 mit Hinblick auf die RVS 11.06.71 [FSV, 2009] sicher zu stellen. Daher wurden verschiedenste Messungen (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2) sowohl im Schiebetrieb als auch im Zugbetrieb durchgeführt. Einerseits sollte festgestellt werden, ob es einen Differenzbetrag zwischen den beiden Messgeräten GripTester MK1/MK2 gibt, andererseits wurden Messungen im Schiebetrieb durchgeführt, um Anhaltspunkte über das Handling, die Messdurchführung und die Datenauswertung zu bekommen. Das Messprogramm hatte Antworten auf folgende Fragestellungen zu liefern:

- Vergleichbarkeit der beiden Modelle MK1 und MK2?
- Gibt es Unterschiede in der Fahrtrichtung?
- Wurde der „Kurveneinfluss“ beim MK2 behoben?
- Wiederholbarkeit (Differenz zweier Messungen)
- Lassen sich beide GripTester mit der Software „Roadmanager“ (alt) und der Software „Roadbase“ (neu) bedienen?
- Haben die montierten Wassertanks einen Einfluss auf das Messergebnis (veränderte Vertikalkraft)?
- Wie groß ist der Wassereinfluss im Schiebetrieb (Trocken/Nass)?

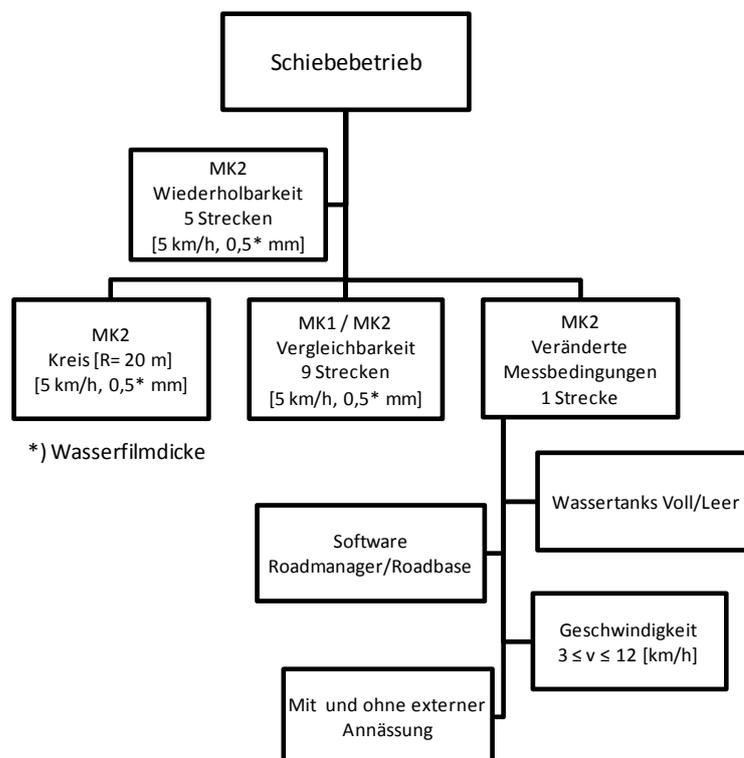
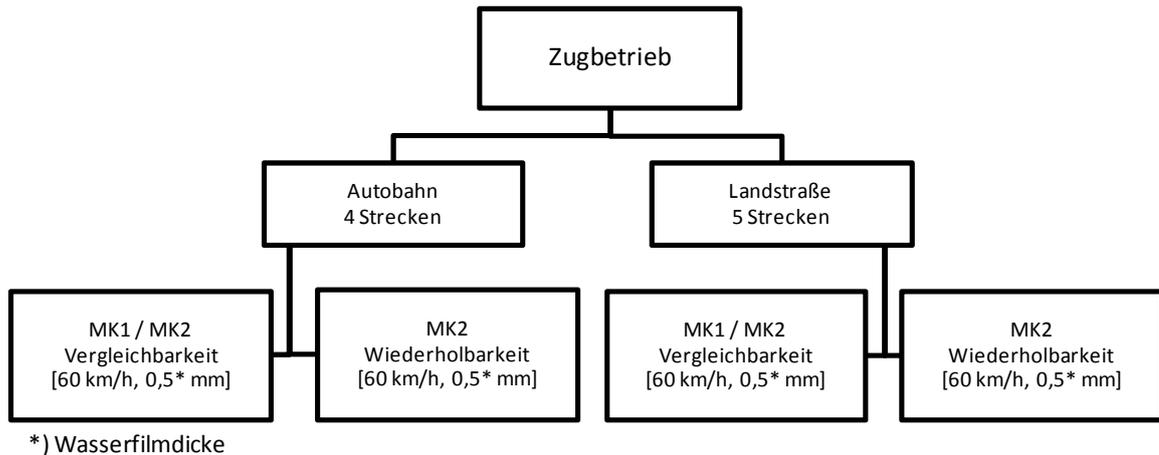


Abbildung 4-1: Ablauf der Messungen im Schiebetrieb



**Abbildung 4-2: Ablauf der Messungen im Zugbetrieb**

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden Messstrecken ausgewählt, die möglichst allen Betriebsbedingungen des Messsystems GripTester entsprechen. So wurde darauf geachtet, dass die in Österreich meist verwendeten Deckschichttypen im Messprogramm enthalten sind.

Besondere Bedeutung kam der Messstrecke in Hausleiten in der Nähe von Wien zu. Dort wurde anhand eines gedachten Kreises auf einem abgelegenen Parkplatz der Einfluss der Kurvenfahrt untersucht.

## 4.2 Messstrecken

### 4.2.1 Schiebetrieb

Die für die Untersuchungen im Schiebetrieb gewählten Messstrecken auf dem Gelände des Arsenal in Wien weisen eine Länge von 50 m auf. Ausgenommen davon sind jene Strecken in Hausleiten, welche zur Überprüfung der Messgenauigkeit des Modells MK2 in engeren Radien dienen. So beträgt die Länge der tangentialen Messstrecken 40 m und jene des untersuchten Kreisbogens 130 m.

Da es über die Art des Fahrbahnaufbaues keine detaillierten Aufzeichnungen gibt, wurden sämtliche Messstrecken grafisch erfasst (siehe Abbildung 4-3, Abbildung 4-4, Abbildung 4-5 und Abbildung 4-6). Die Bezeichnung A/B weist auf die Richtung der Messstrecke hin.

#### Wiederhol- und Vergleichbarkeit

Der Ablauf der Messungen stellte sich folgendermaßen dar. Zuerst wurde die Wiederholbarkeit des Modells MK2 auf den Messstrecken im Arsenal untersucht. Im Anschluss daran wurden allgemeine Vergleichsmessungen zwischen den Systemen MK1 und MK2 geführt, sowohl im Arsenal als auch in Hausleiten. Beide Erhebungen über die Wiederholbarkeit und die Vergleichbarkeit wurden nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] durchgeführt.

Folgende Einstellungen wurden dafür verwendet:

- Geschwindigkeit  $v = 5$  km/h
- Wasserfilmdicke 0,5 mm
- Aufzeichnungsintervall 1 m / Messauflösung 20 PPR (4 cm)
- Messreifen AO48 080709
- Einheitliche Längen der Strecken
- Trockene Oberfläche
- Temperatur  $> 5^{\circ}$  C
- Software „Roadmanager“
- Kurze Folge der Wiederholungsmessung (innerhalb von 15 min wurden die Messungen für ein Teilstück absolviert)

#### Messungen bei veränderten Messbedingungen

Um die restlichen Fragestellungen über das Handling, die Messdurchführung und die Datenauswertung zu beantworten, wurde die Messstrecke T3 auf dem Gelände des Arsenal ausgewählt. Bei diesen Messungen wurde die Geschwindigkeit, die Wasserfilmdicke, der Aufbau des Messgerätes (Volle/Leere Tanks) und das Softwarepaket (Roadmanager/Roadbase) variiert.

Die gleichbleibenden Einstellungen bei den Messungen waren:

- Wasserfilmdicke 0,5 mm
- Messreifen AO48 080709
- Aufzeichnungsintervall 1 m / Messauflösung 20 PPR (4 cm)
- Streckenlänge 50 m
- Temperatur  $> 5^{\circ}$  C
- Kurze Folge der Wiederholungsmessung (innerhalb von 15 min wurden die Messungen für ein Teilstück absolviert)

Variiert wurden folgende Einstellungen:

- Geschwindigkeit
- Wasserfilmdicke
- Oberfläche Nass/Trocken
- Erfassungssoftware (Roadbase/Roadmanager)

Die Messungen bei externe Annässung erfolgte einerseits bei einsetzendem Regen, wobei die Fahrbahn komplett nass war, sich aber keine Wasserlacken in der Messspur befanden. Andererseits wurde die Fahrbahn mit einem Wasserschlauch vorgehäst.

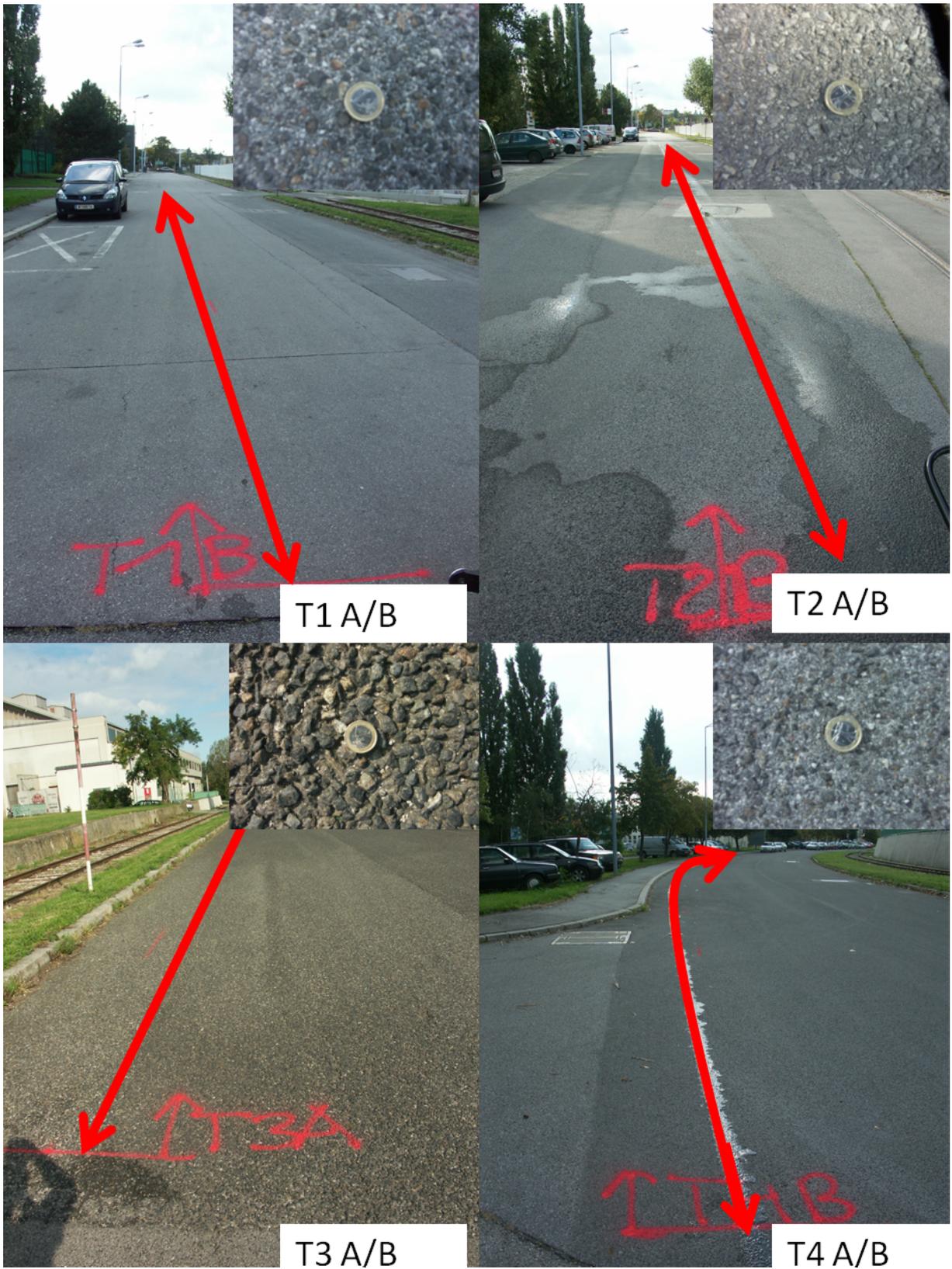


Abbildung 4-3: Messstrecken T1 bis T4

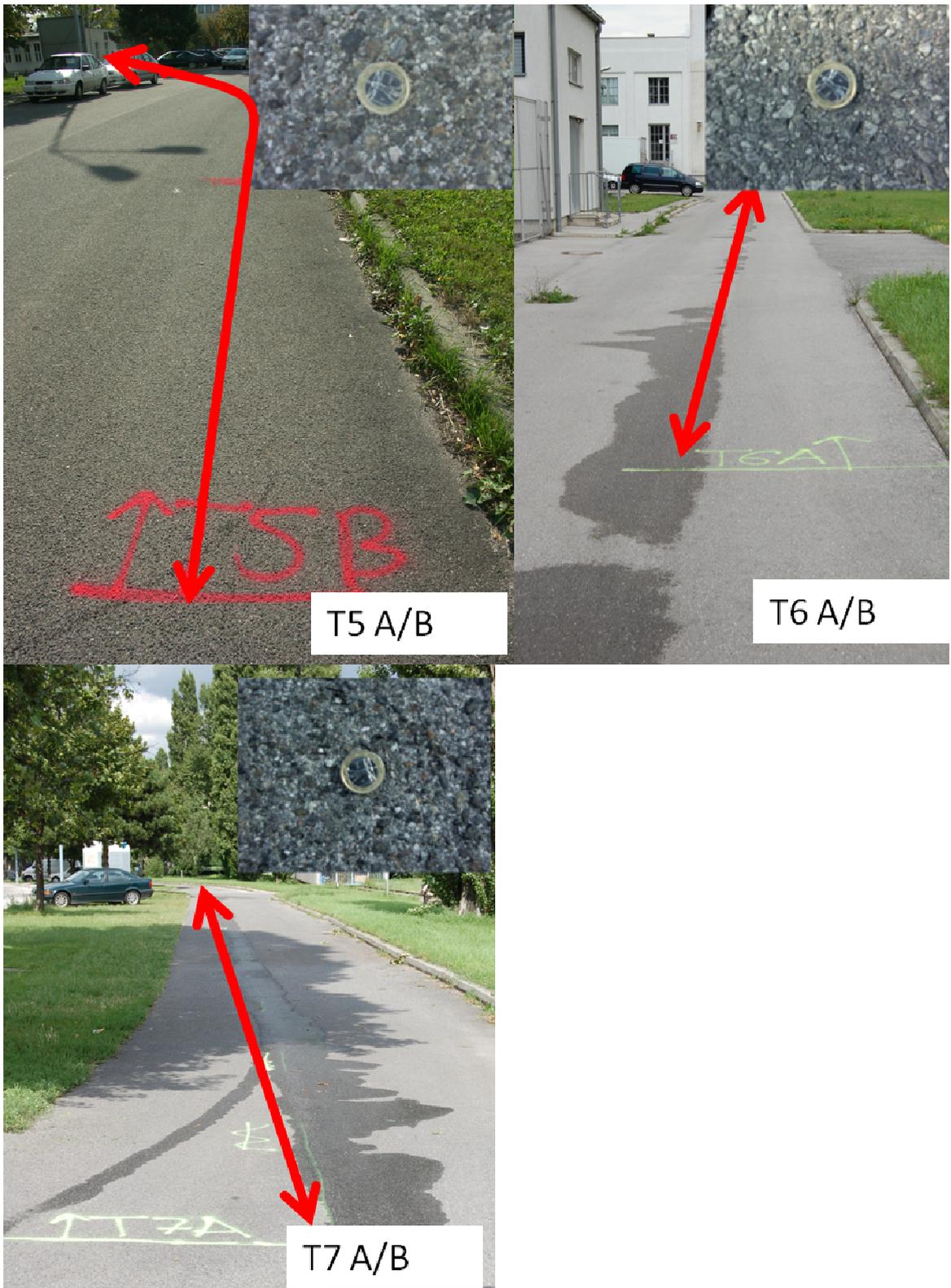


Abbildung 4-4: Messstrecken T5 bis T7

## Messungen im Kreisbogen mit dem Modell MK2

Abschließend fanden Messfahrten in Hausleiten/NÖ statt, um Messungen im Kreisbogen durchzuführen. Dabei sollte die Frage beantwortet werden, ob der Kurveneinfluss bei dem Messsystem MK2 behoben ist.

Zu diesem Zweck wurden auf einem asphaltierten Platz in Hausleiten (siehe Abbildung 4-6 und Abbildung 4-5) ein Kreis mit einem Radius von 20 m mittels Farbe markiert, und an diesem Kreis wurden vier Messtrecken – T\_A bis T\_D – tangential angelegt.

Als Messprogramm wurden die Tangenten je drei Mal gemessen, und der Kreis wurde insgesamt sechs Mal mit dem Messsystem GripTester MK2 gemessen.

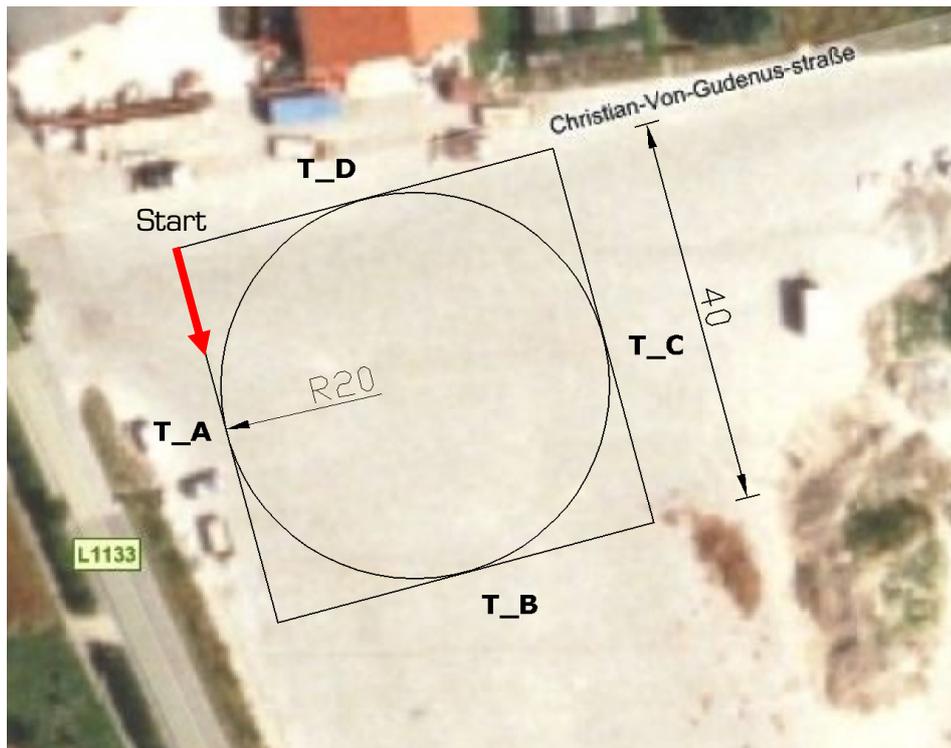
Der Start der Messungen war immer der Startpunkt der Strecke T\_A, daher ist die Streckenlänge von 130 m auch geringfügig länger als der reine Kreisumfang (siehe Abbildung 4-6).

Die Einstellungen für die Messtrecke in Hausleiten erfolgten nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009]:

- Geschwindigkeit  $v = 5$  km/h
- Wasserfilmdicke 0,5 mm
- Aufzeichnungsintervall 1 m / Messauflösung 20 PPR (4 cm)
- Messreifen AO48 080709
- Streckenlänge 40 m (T\_A bis T\_D) und 130 m (Kreis)
- Trockene Oberfläche
- Temperatur  $> 5^\circ$  C
- Software „Roadmanager“
- Kurze Folge der Wiederholungsmessung (innerhalb von 15 min wurden die Messungen für ein Teilstück absolviert)



**Abbildung 4-5: Messstrecke Hausleiten**



**Abbildung 4-6: Messstrecken Hausleiten/NÖ verändert nach [bing.com/maps]**

In Tabelle 4-1 finden Sie alle relevanten Daten der Messstrecken tabellarisch aufgelistet, um einen Überblick über die durchgeführten Messungen zu erhalten. Jede Messstrecke wurde zumindest zwei Mal befahren, um eine Auswertung gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] zu gewährleisten. Ausgenommen sind hier die Messstrecken T6 und T7 auf dem Gelände des Arsenal und die Messungen T\_A bis T\_D in Hausleiten, die jeweils drei Mal in jede Richtung befahren wurden. Die Messungen im Kreisbogen wurden insgesamt sechs Mal durchgeführt.

Tabelle 4-1: Messstrecken im Schiebebetrieb

	Strecke <sup>1</sup>	Länge	Datum	Ort	Anmerkung		Strecke <sup>1</sup>	Länge	Datum	Ort	Anmerkung
Arsenal/Wien	T1_A_1	50 m	31.10.08	Arsenal		Arsenal/Wien	T4_A_1	50 m	07.10.08	Arsenal	großer Radius
	T1_A_2	50 m	31.10.08	Arsenal			T4_A_2	50 m	07.10.08	Arsenal	
	T1_B_1	50 m	31.10.08	Arsenal			T4_B_1	50 m	07.10.08	Arsenal	
	T1_B_2	50 m	31.10.08	Arsenal			T4_B_2	50 m	07.10.08	Arsenal	
	T2_A_1	50 m	31.10.08	Arsenal			T5_A_1	50 m	07.10.08	Arsenal	Linksbogen R= 18m
	T2_A_2	50 m	31.10.08	Arsenal			T5_A_2	50 m	07.10.08	Arsenal	
	T2_B_1	50 m	31.10.08	Arsenal			T5_B_1	50 m	07.10.08	Arsenal	Rechtsbogen R= 18m
	T2_B_2	50 m	31.10.08	Arsenal			T5_B_2	50 m	07.10.08	Arsenal	
	T3_A_1	50 m	07.10.08	Arsenal			T6_A_1	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_A_2	50 m	07.10.08	Arsenal			T6_A_2	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_B_1	50 m	07.10.08	Arsenal			T6_A_3	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_B_2	50 m	07.10.08	Arsenal			T6_B_1	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_A_1	50 m	16.10.08	Arsenal			T6_B_2	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_A_2	50 m	16.10.08	Arsenal			T6_B_3	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_B_1	50 m	16.10.08	Arsenal			T7_A_1	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_B_2	50 m	16.10.08	Arsenal			T7_A_2	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_A_1	50 m	21.10.08	Arsenal	ext. Annässsung volle Tanks		T7_A_2	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_A_2	50 m	21.10.08	Arsenal			T7_B_1	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_B_1	50 m	21.10.08	Arsenal			T7_B_2	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_B_2	50 m	21.10.08	Arsenal			T7_B_3	50 m	10.07.09	Arsenal	
	T3_A_1	50 m	31.10.08	Arsenal	ext. Annässsung leere Tanks		T_A_1	40 m	15.07.09	Hausleiten	
	T3_A_2	50 m	31.10.08	Arsenal			T_A_2	40 m	15.07.09	Hausleiten	
	T3_B_1	50 m	31.10.08	Arsenal			T_A_3	40 m	15.07.09	Hausleiten	
	T3_B_2	50 m	31.10.08	Arsenal			T_B_1	40 m	15.07.09	Hausleiten	
T3_A_1	50 m	21.10.08	Arsenal	Std. Annässsung Langsam	T_B_2	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_B_3	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_1	50 m	21.10.08	Arsenal		T_C_1	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_C_2	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_1	50 m	21.10.08	Arsenal	Std. Annässsung Schnell	T_C_3	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_D_1	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_1	50 m	21.10.08	Arsenal		T_D_2	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_D_3	40 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_1	50 m	21.10.08	Arsenal	Software Roadmanager	T_Kreis_1	130 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_Kreis_2	130 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_1	50 m	21.10.08	Arsenal		T_Kreis_3	130 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_Kreis_4	130 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_1	50 m	21.10.08	Arsenal	Software Roadbase	T_Kreis_5	130 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_A_2	50 m	21.10.08	Arsenal		T_Kreis_6	130 m	15.07.09	Hausleiten			
T3_B_1	50 m	21.10.08	Arsenal								
T3_B_2	50 m	21.10.08	Arsenal								

1) Streckenbezeichnung besteht aus: Strecke\_Richtung\_Messnummer

## 4.2.2 Zugbetrieb

Die Fragestellung im Zugbetrieb war, ob die geforderte Wiederholbarkeit bei dem Messsystem MK2 gegeben ist, und wie sich die Vergleichbarkeit zwischen den beiden Modellen MK1 und MK2 darstellt.

Um möglichst alle Betriebsbedingungen zu simulieren, wurden Messungen auf Splitmastixasphalt (SMA), Waschbeton und Asphaltbeton (AB) im Zugbetrieb durchgeführt. Die Messungen, die für diese Arbeit herangezogen wurden, erfolgten sowohl auf 2 Autobahnabschnitten (A22 und A4) als auch auf 2 Landesstraßen (B100 und L1135) in Österreich.

Die für die Untersuchungen im Zugbetrieb ausgewählten Messstrecken weisen unterschiedliche Längen auf, die sich wie folgt darstellen:

- A22 SMA 2 km
- A22 Waschbeton 1,5 km
- A4 Richtung Bruck SMA 4 km
- A4 Richtung Wien SMA 4,5 km
- L1135 AB Belag 1 300 m
- L1135 AB Belag 2 1300 m
- B100 SMA 2 km

Mit folgenden Einstellungen für den Zugbetrieb wurden die Strecken nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] gemessen:

- Geschwindigkeit  $v = 60$  km/h
- Wasserfilmdicke 0,5 mm
- Aufzeichnungsintervall 5 m / Messauflösung 2 PPR (40 cm)
- Messreifen AO48 080709
- Trockene Oberfläche
- Temperatur  $> 5^\circ$  C
- Software „Roadmanager“
- Kurze Folge der Wiederholungsmessung

Der Ablauf der Messungen stellt sich folgendermaßen dar. Zuerst wurde die Messstrecke mit dem Messsystem MK2 befahren, um Daten zur Bestimmung der Wiederholbarkeit zu sammeln, und anschließend wurden Messungen mit dem System MK1 durchgeführt, um Daten über die Vergleichbarkeit zu erhalten.

Im Anschluss finden Sie die Tabelle 4-2. Diese stellt eine Zusammenfassung aller gemessenen Abschnitte dar und beinhaltet Daten über die Deckenart, das Messdatum und die Streckenlänge sowie allfällige Bemerkungen. Die Streckenbezeichnung besteht im Zugbetrieb immer aus dem Ort oder der Bezeichnung der Straße, der Richtung, der Fahrspur, falls mehrere vorhanden sind, und der fortlaufenden Messnummer.

Tabelle 4-2: Messstrecken im Zugbetrieb mit 60 km/h

	Streckenbezeichnung <sup>1</sup>	Kilometrierung [km]		Datum	Deckschicht Baujahr	Anmerkung
		Start	Ende			
A22	A22_Stockerau_Fsp1_1	13,0	15,0	12.05.2009	SMA 11 2002	Standardreifen = A48080709
	A22_Stockerau_Fsp1_2	13,0	15,0	12.05.2009	SMA 11 2002	
	A22_Stockerau_Fsp1_3	13,0	15,0	12.05.2009	SMA 11 2002	
	A22_Stockerau_Fsp1_1	15,5	17,0	12.05.2009	Waschb. 8 2005	Standardreifen = A48080709
	A22_Stockerau_Fsp1_2	15,5	17,0	12.05.2009	Waschb. 8 2005	
	A22_Stockerau_Fsp1_3	15,5	17,0	12.05.2009	Waschb. 8 2005	
	A22_Stockerau_Fsp1_1	13,0	15,0	12.05.2009	SMA 11 2002	Reifen A3705519
	A22_Stockerau_Fsp1_2	13,0	15,0	12.05.2009	SMA 11 2002	
	A22_Stockerau_Fsp1_3	13,0	15,0	12.05.2009	SMA 11 2002	
	A22_Stockerau_Fsp1_1	15,5	17,0	12.05.2009	Waschb. 2005	Reifen A3705519
A22_Stockerau_Fsp1_2	15,5	17,0	12.05.2009	Waschb. 2005		
A22_Stockerau_Fsp1_3	15,5	17,0	12.05.2009	Waschb. 2005		
A4	A4_Bruck_Fsp1_1	23,0	27,0	19.05.2009	SMA 11 2005	
	A4_Bruck_Fsp1_2	23,0	27,0	19.05.2009	SMA 11 2005	
	A4_Bruck_Fsp1_3	23,0	27,0	19.05.2009	SMA 11 2006	
	A4_Bruck_Fsp1_4	23,0	27,0	19.05.2009	SMA 11 2005	
	A4_Wien_Fsp1_1	27,5	23,0	19.05.2009	SMA 11 2005	MK2 loser Schlauch
	A4_Wien_Fsp1_2	27,5	23,0	19.05.2009	SMA 11 2005	
	A4_Wien_Fsp1_3	27,5	23,0	19.05.2009	SMA 11 2006	
	A4_Wien_Fsp1_4	27,5	23,0	19.05.2009	SMA 11 2005	MK1 andere Distanzkal.
L1135	L1135_Hausleiten_1	Belag 1 / 300 m		15.07.2009	AB 8 1966	
	L1135_Hausleiten_2	Belag 1 / 300 m		15.07.2009	AB 8 1966	
	L1135_Hausleiten_3	Belag 1 / 300 m		15.07.2009	AB 8 1966	
	L1135_Hausleiten_1	Belag 2 / 1300 m		15.07.2009	AB 8 1976	
	L1135_Hausleiten_2	Belag 2 / 1300 m		15.07.2009	AB 8 1976	
	L1135_Hausleiten_3	Belag 2 / 1300 m		15.07.2009	AB 8 1976	
	L1135_Perzendorf_1	Belag 1 / 300 m		15.07.2009	AB 8 1966	
	L1135_Perzendorf_2	Belag 1 / 300 m		15.07.2009	AB 8 1966	
	L1135_Perzendorf_3	Belag 1 / 300 m		15.07.2009	AB 8 1966	
	L1135_Perzendorf_1	Belag 2 / 1300 m		15.07.2009	AB 8 1976	
	L1135_Perzendorf_2	Belag 2 / 1300 m		15.07.2009	AB 8 1976	
	L1135_Perzendorf_3	Belag 2 / 1300 m		15.07.2009	AB 8 1976	
B100	B100_Lienz_Sued_1	112,0	114,0	23.09.2009	SMA11 07/09	
	B100_Lienz_Sued_2	112,0	114,0	23.09.2009	SMA11 07/09	
	B100_Lienz_Sued_3	112,0	114,0	23.09.2009	SMA11 07/09	

1) Streckenbezeichnung besteht aus: Ort\_Richtung\_Fahrspur\_Messnummer

### 4.3 Auswertung der Messdaten

Im folgenden Abschnitt werden die zur Bestimmung der ermittelten Messdaten verwendeten statistischen Parameter erläutert.

#### 4.3.1 Mittelwert

Die experimentelle Bestimmung eines Merkmals einer Probe hat im Allgemeinen den Zweck, Aufschluss über den wahren Wert dieses Merkmals in der Grundgesamtheit zu erhalten. Der wahre Wert ist der Wert, dem das arithmetische Mittel  $y_{ij}$  aus  $n_{ij}$  Ergebnissen zustrebt, wenn  $n_{ij}$  gegen unendlich geht. Erst bei großen Werten von  $n_{ij}$  darf man das arithmetische Mittel näherungsweise an die Stelle des wahren Wertes set-

zen. Der arithmetische Mittelwert ergibt sich aus den einzelnen Messwerten  $y_{ijk}$  je Messniveau  $j$  wie folgt [DIN ISO 5725-2]:

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

Formel 4-1

- i Zuordnungsindex für ein einzelnes Messgerät (z.B. GripTester MK1)
- j Zuordnungsindex für ein einzelnes Messniveau (z.B. 50 m Abschnitt)
- k Zuordnungsindex für ein einzelnes Ermittlungsergebnis eines Messgerätes

#### Berechnung der Mittelwerte nach RVS 11.06.71

Im Schiebetrieb wurde der Mittelwert nach der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ermittelt. Es wurden also 1-m-Werte mit einer Auflösung von 4 cm (20 Impulse pro Radumdrehung) aufgezeichnet, diese 1-m-Werte wurden dann zu einem 10-m-Mittelwert zusammengefasst, und davon wurde dann der Mittelwert  $\mu_{GT}$  für die gesamte Strecke abgeleitet (siehe Tabelle 4-3). Pro Radumdrehung legt der GripTester rund 0,82 m zurück.

Im Zugbetrieb wurde der Mittelwert analog zum Schiebetrieb nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ermittelt. Es wurden 5-m-Werte mit einer Auflösung von 40 cm (2 Impulse pro Radumdrehung) aufgezeichnet, diese 5-m-Werte wurden dann zu einem 50-m-Mittelwert zusammengefasst, und davon wurde dann der Mittelwert  $\mu_{GT}$  für die gesamte Strecke abgeleitet.

**Tabelle 4-3: Berechnung der Mittelwerte im Schiebetrieb**

Distanz [m]	$\mu_{GT}$	10 m Mittelwerte
1	0,71	
2	0,72	
3	0,71	
4	0,62	
5	0,57	
6	0,62	
7	0,69	
8	0,73	
9	0,65	
10	0,67	0,67
11	0,63	
12	0,57	
13	0,60	
14	0,61	
15	0,58	
16	0,62	
17	0,66	
18	0,68	
19	0,65	
20	0,63	0,62
<b>Mittelwert der Mittelwerte MW <math>\mu_{GT} = 0,65</math></b>		

### 4.3.2 Standardabweichung

Die empirische Standardabweichung  $s_{ij}$  stellt ein Maß für die zufallsbedingten Abweichungen der Ergebnisse vom arithmetischen Mittel  $y_{ij}$  des betrachteten Merkmals dar. Die theoretische Standardabweichung  $\sigma$  ist der Wert, dem die empirische Standardabweichung  $s$  zustrebt, wenn  $n_{ij}$  gegen unendlich geht. Erst bei hinreichend großem  $n_{ij}$  darf man die Standardabweichung  $s_{ij}$  vom arithmetischen Mittel der Standardabweichung  $\sigma$  vom wahren Wert gleichsetzen. Die Berechnung der Standardabweichung je Messniveau  $j$  erfolgt nach DIN ISO 5725-2:

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{1}{n_{ij} - 1} \sum_{k=1}^{n_{ij}} (y_{ijk} - y_{ij})^2} \quad \text{Formel 4-2}$$

- i    Zuordnungsindex für ein einzelnes Messgerät (z.B. GripTester MK1)
- j    Zuordnungsindex für ein einzelnes Messniveau (z.B. 50 m Abschnitt)
- k    Zuordnungsindex für ein einzelnes Ermittlungsergebnis eines Messgerätes

### 4.3.3 Messniveaumittelwert

Für jedes Messniveau ist der als Schätzwert für den Erwartungswert dienende Messniveaumittelwert  $m_j$  gleich [DIN ISO 5725-2]:

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij} y_{ij}}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \quad \text{Formel 4-3}$$

### 4.3.4 Wiederholstandardabweichung

Die Wiederholungsstandardabweichung  $s_{rj}$  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 für jedes Messniveau  $j$  getrennt ermittelt [DIN ISO 5725-2]:

$$s_{rj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1) y_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1)}} \quad \text{Formel 4-4}$$

### 4.3.5 Vergleichsstandardabweichung

Die Vergleichsstandardabweichung  $s_{rj}$  ist jene Standardabweichung von Ermittlungsergebnissen, die unter Vergleichsbedingungen gewonnen wird. Sie ist ein Maß für die Breite der Verteilung von Ermittlungsergebnissen unter Vergleichsbedingungen. Zur Berechnung der Vergleichsstandardabweichung muss vorher die Streuung  $s_{Lj}$  zwischen den Messgeräten ( $i = 1$  bis  $p$ ) ermittelt werden [DIN ISO 5725-2]:

$$s_{Lj} = \sqrt{\frac{s_{dj}^2 - s_{rj}^2}{\bar{n}_j}} \quad \text{Formel 4-5}$$

wobei

$$s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_{ij} (y_{ij} - m_j)^2 \quad \text{Formel 4-6}$$

und

$$\bar{n}_j = \frac{1}{p-1} \left[ \sum_{i=1}^p n_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \right] \quad \text{Formel 4-7}$$

Ergibt sich im Zuge der Berechnungen zufallsbedingt ein negativer Wert für  $s_{Lj}$ , ist dieser Wert mit Null einzusetzen. Die Vergleichsstandardabweichung wird für jedes Merkmalsniveau getrennt ermittelt und setzt sich aus folgenden Anteilen zusammen:

$$s_{Rj} = s_{Lj} + s_{rj} \quad \text{Formel 4-8}$$

#### 4.3.6 Funktionale Abhängigkeit der Standardabweichung

Wenn der Versuch nur ein einziges Messniveau beinhaltet oder wenn entschieden wurde, dass die Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichungen getrennt für jedes Messniveau angegeben werden, ist eine Prüfung der funktionalen Abhängigkeit nicht notwendig. Wenn mehrere Messniveaus untersucht werden und nur ein Präzisionswert für alle Niveaus ermittelt werden soll, muss geprüft werden, ob eine funktionale Beziehung zwischen den Präzisionswerten  $s_{rj}$  bzw.  $s_{pj}$  und den Messniveaumittelwerten  $m_j$  besteht. Wenn keine Beziehung vorhanden ist, können die Schlusswerte für die Wiederhol- und Vergleichsstandardabweichung über alle Messniveaus gemittelt werden [DIN ISO 5725-2].

#### 4.3.7 Wiederholgrenze

Dies ist jener Wert, unter dem oder gleich dem der Betrag der Differenz zwischen zwei unter Wiederholbedingungen gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann und der dieselbe Einheit wie der Messwert hat. Die Wiederholgrenze  $r$  wird nach Formel 4-9 berechnet und dient dazu, die Verträglichkeit von zwei Ergebnissen zu prüfen, die in einem Laboratorium von einem Beobachter an ein und derselben Probe erhalten wurden [DIN ISO 5725-2].

$$r = 1,96 \times \sqrt{2} \times s_r \approx 2,8 \times s_r \quad \text{Formel 4-9}$$

### 4.3.8 Vergleichsgrenze

Das ist jener Wert, unter dem oder gleich dem der Betrag der Differenz zwischen zwei unter Vergleichsbedingungen gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann und der ebenfalls dieselbe Einheit wie der Messwert hat. Die Vergleichsgrenze  $R$  wird nach Formel 4-10 berechnet und dient dazu, die Verträglichkeit von zwei Ergebnissen zu prüfen, die in zwei Laboratorien von zwei Beobachtern an Teilproben aus derselben Probenahme erhalten wurden[.].

$$R = 1,96 \times \sqrt{2} \times s_R \approx 2,8 \times s_R \quad \text{Formel 4-10}$$

### 4.3.9 Vertrauensbereich

Der Vertrauensbereich bzw. die Vertrauensgrenzen  $q$  gemäß Formel 4-11 definieren jenen Bereich beiderseits des arithmetischen Mittelwerts  $\bar{x}$  einer Stichprobe, in dem der unbekannte wahre Mittelwert der Grundgesamtheit mit einer festgelegten statistischen Sicherheit  $P$  liegt [KREYSZIG, 1985] [LINDNER, 1964].

$$q = \bar{x} \pm \frac{c \times \sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Formel 4-11}$$

Der Faktor  $c$  wird je nach gewünschter statistischer Sicherheit und Aufgabenstellung gewählt. Für ein  $P = 95\%$  beträgt  $c = 1,96$  für den einseitigen und  $c = 1,65$  für den zweiseitigen Vertrauensbereich. Für  $\sigma$  wird die Standardabweichung der Stichprobe oder falls durch Ringversuche bereits die Wiederhol- bzw. Vergleichsstandardabweichung bekannt sind, diese zur Ermittlung des Vertrauensbereiches bzw. der Vertrauensgrenzen  $q$  herangezogen. Der Faktor  $n$  steht für die Größe der Stichprobe, d.h. durch Mehrfachmessungen kann der Vertrauensbereich wesentlich reduziert werden.

### 4.3.10 Regressionsanalyse

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

Liegt eine Stichprobe von Beobachtungen  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$  aus einer zweidimensionalen  $(X, Y)$ -Grundgesamtheit vor, so kann man eine „Ausgleichskurve“ oder Regressionskurve von  $Y$  bezüglich  $X$  ermitteln, die sich dem Verlauf der Punkte möglichst gut anpasst. Aus dieser Kurve kann man ablesen, welcher  $Y$ -Wert zu einem vorgegebenen  $X$ -Wert etwa zu erwarten ist. Die einfachste Form der Regression ist die lineare Regression, wobei der Zusammenhang der zweidimensionalen Grundgesamtheit über eine lineare Funktion ermittelt wird. Neben der Anpassung durch eine lineare Funktion, können auch andere Funktionen wie Exponentialfunktionen, Potenzfunktionen, polynomische Funktionen, logarithmische Funktionen oder hyperbolische Funktionen untersucht werden. Eine objektive Methode zur Ermittlung dieser „Ausgleichskurve“ ist das Gauß'sche Prinzip der kleinsten Quadrate. Die Gerade (bzw. Kurve) ist so zu legen,

dass die Summe der Quadrate aller Abstände der Punkte von der Ausgleichskurve möglichst klein wird.

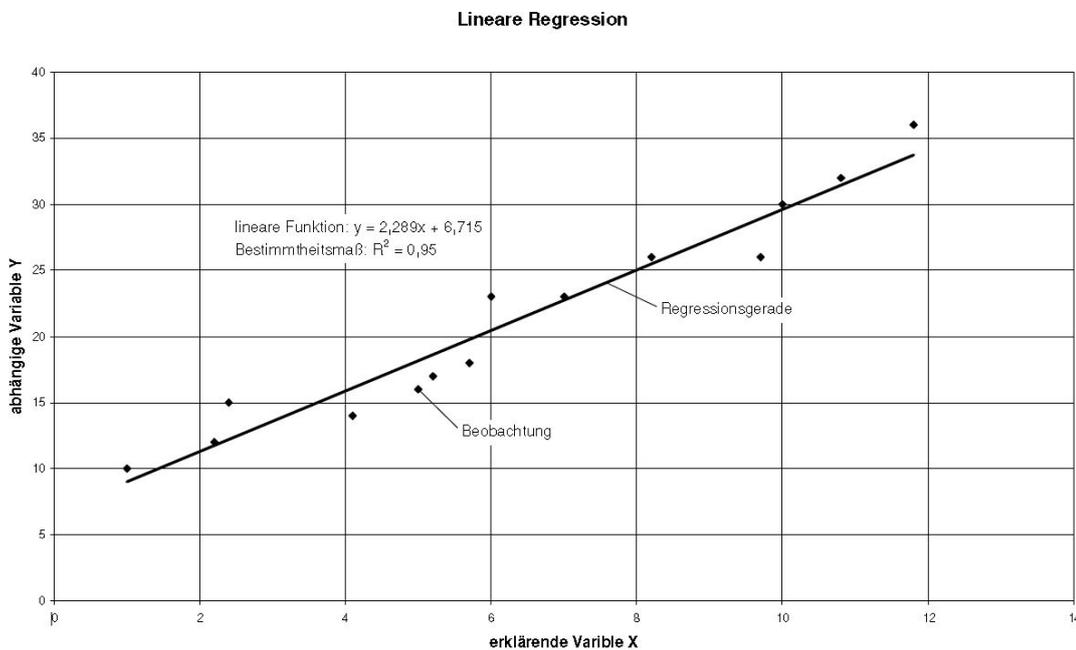
Bei der linearen Regression wird aus rechentechnischen Gründen der vertikale Abstand zu Regressionsgeraden verwendet. Demnach ist die Regressionsgerade so definiert [KREYSZIG, 1985].

$$Y = \alpha * X + \beta$$

Formel 4-12

- Y abhängige Variable
- X erklärende Variable
- $\alpha$  Anstieg der Geraden (Parameter)
- $\beta$  Konstante

Die Regression bezieht sich also auf die Art der Abhängigkeit, während das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  das Ausmaß des Zusammenhangs, also die Güte der Anpassung der benutzten Ausgleichskurve an die Stichprobenpunkte, kennzeichnet [KREYSZIG, 1985]. Das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  mit  $(-1 \leq R^2 \leq 1)$  hat die Eigenschaft, dass es umso größer wird, je größer die Zahl der unabhängigen Variablen ist. Und zwar unabhängig davon, ob weitere unabhängige Variablen wirklich einen Beitrag zur Erklärungskraft liefern [wikipedia.org, 2009]. In Abbildung 4-7 finden sie ein Beispiel für die lineare Regression.



**Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der linearen Regression [KREYSZIG, 1985]**

### Student t-Verteilung

Die Studentsche t-Verteilung bildet die Grundlage wichtiger statistischer Tests [LERCH, 2007].

Es sind zwei unabhängige Zufallsvariablen  $x$  und  $y$  gegeben. Dabei besitzt  $x$  im Intervall  $[0, 1]$  eine Normalverteilung und  $y$  eine  $\chi^2$ -Verteilung mit  $n$  Freiheitsgraden.

Die Zufallsvariabel

$$t = \frac{x}{\sqrt{y/n}} \quad \text{Formel 4-13}$$

hat dann die Wahrscheinlichkeitsdichte

$$f_t(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{n\pi}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \frac{1}{\left(1 + \frac{t^2}{n}\right)^{(n+1)/2}} \quad \text{Formel 4-14}$$

Die Verteilung  $f_t(t)$  wird als Student t-Verteilung mit  $n$  Freiheitsgraden bezeichnet. Mit wachsendem  $n$  strebt die Verteilungsfunktion der t-Verteilung gegen die Verteilungsfunktion der Normalverteilung mit dem Mittelwert 0 und der Varianz 1 [LERCH, 2007].

### Konfidenzintervall

Allgemein kann am Konfidenzgrenzen für die Mittelwerte von Grundgesamtheit darstellen durch

$$\bar{x} \pm t_k \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad \text{Formel 4-15}$$

Wobei  $\pm t_k$  die kritischen Werte genannt werden, vom Konfidenzniveau und vom Stichprobenumfang abhängen. Sie können aus entsprechenden Tabellen entnommen werden oder mit einschlägiger Software berechnet werden [SCHAUM, 1990].

## 5. MESSERGEBNISSE

### 5.1 Schiebetrieb

#### 5.1.1 Wiederholbarkeit des Modells MK2

Die ersten Griffigkeitsmessungen mit dem neuen Messsystem GripTester MK2 wurden auf dem Gelände des Arsenal (Standort des Instituts für Verkehrswissenschaften / Forschungsbereich Straßenwesen) im Schiebetrieb durchgeführt. Ziel dabei war es, Daten und Erfahrungen über das Handling, die Messdurchführung und die Datenauswertung zu sammeln.

Zuerst wurden Wiederholungsmessungen durchgeführt, um herauszufinden, ob die Wiederholgenauigkeit (siehe Tabelle 3-2) nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] gegeben ist. Die dafür notwendigen äußeren Messbedingungen wurden eingehalten.

Die Vorgehensweise stellte sich wie folgt dar:

Es wurden jeweils zwei oder drei Messungen pro Teilabschnitt durchgeführt, und anschließend wurden die Daten sofort nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ausgewertet. Es wurde berücksichtigt, dass Messfahrten, die nicht den Anforderungen der RVS entsprechen, zu wiederholen sind.

In Tabelle 5-1 sind die ermittelten Ergebnisse der Untersuchungen zur Wiederholbarkeit des Modells MK2 im Schiebetrieb zusammengefasst. Darin werden für jede Messstrecke und Fahrtrichtung der aus den n-Fahrten ermittelten mittlere Griffigkeitswert  $\mu_{GT}$  sowie die Wiederholbedingungen  $\Delta\mu_{GT}$  und  $2\sigma$  gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] angegeben.

Die Wiederholbedingung wurde für jede Messstrecke eingehalten, wobei für die Messfahrten „2“ und „3“ auf der Strecke MKII\_T6B sowie für die Messfahrten „1“ und „2“ auf der Strecke MKII\_T7A der Grenzwert für die Mittelwertabweichung der Vergleichsfahrten von 0,03 [-] erreicht wurde.

Bei den Strecken T4 und T5 ist zu beachten, dass es sich hier um Bögen handelt, einmal eine Kurve mit großem Radius und einmal mit einem engen Radius von 18 m.

Die mit einem Stern gekennzeichneten Strecken, stellen den Vergleich der zweiten mit der dritten Messung dar, da auf diesen Teilstücken drei Messungen durchgeführt wurden.

**Tabelle 5-1: Wiederholbarkeit der Messungen im Schiebebetrieb**

MKII	Datum	Distanz	Mittelwert $\mu_{GT}$	Bedingung Wiederholbarkeit lt. RVS				Bemerkung
				Mittelwert $\Delta\mu_{GT} \leq 0,03$	$2\sigma \leq 0,06$			
MKII_T1A	31.10.2008	50 m	<b>0,59</b>	0,023 Erfüllt	0,032 Erfüllt			
MKII_T1B	31.10.2008	50 m	<b>0,57</b>	0,012 Erfüllt	0,031 Erfüllt			
MKII_T2A	31.10.2008	50 m	<b>0,61</b>	0,014 Erfüllt	0,019 Erfüllt			
MKII_T2B	31.10.2008	50 m	<b>0,64</b>	0,007 Erfüllt	0,028 Erfüllt			
MKII_T3A	07.10.2008	50 m	<b>0,63</b>	0,000 Erfüllt	0,021 Erfüllt			
MKII_T3B	07.10.2008	50 m	<b>0,62</b>	0,008 Erfüllt	0,010 Erfüllt			
MKII_T4A	07.10.2008	50 m	<b>0,85</b>	0,006 Erfüllt	0,019 Erfüllt		Kurve >>	
MKII_T4B	07.10.2008	50 m	<b>0,81</b>	0,017 Erfüllt	0,030 Erfüllt		Kurve >>	
MKII_T5A	07.10.2008	50 m	<b>0,77</b>	0,005 Erfüllt	0,041 Erfüllt		R=18m	
MKII_T5B	07.10.2008	50 m	<b>0,74</b>	0,008 Erfüllt	0,012 Erfüllt		R=18m	
MKII_T6A	10.07.2009	50 m	<b>0,80</b>	0,013 Erfüllt	0,022 Erfüllt		Messung 1/2	
MKII_T6A*	10.07.2009	50 m	<b>0,79</b>	0,000 Erfüllt	0,035 Erfüllt		Messung 2/3	
MKII_T6B	10.07.2009	50 m	<b>0,80</b>	0,006 Erfüllt	0,020 Erfüllt		Messung 1/2	
MKII_T6B*	10.07.2009	50 m	<b>0,78</b>	0,030 Erfüllt	0,025 Erfüllt		Messung 2/3	
MKII_T7A	10.07.2009	50 m	<b>0,70</b>	0,026 Erfüllt	0,045 Erfüllt		Messung 1/2	
MKII_T7A*	10.07.2009	50 m	<b>0,68</b>	0,003 Erfüllt	0,023 Erfüllt		Messung 2/3	
MKII_T7B	10.07.2009	50 m	<b>0,68</b>	0,003 Erfüllt	0,017 Erfüllt		Messung 1/2	
MKII_T7B*	10.07.2009	50 m	<b>0,68</b>	0,006 Erfüllt	0,017 Erfüllt		Messung 2/3	

\*Werte der zweiten und dritten Messfahrt, da auf dieser Strecke 3 Messfahrten durchgeführt wurden

<sup>1</sup>Anzahl der Messfahrten

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, wird die Wiederholbarkeit auf allen Messstrecken eingehalten. Meist wird der Grenzwert für die Wiederholbedingung  $\Delta\mu_{GT}$  und die doppelte Standardabweichung  $2\sigma$  deutlich unterschritten, daher kann das Messsystem GripTester MK2 für Messfahrten im Schiebebetrieb gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] eingesetzt werden.

### 5.1.2 Untersuchungen bei veränderten Messbedingungen

Die nächsten Messungen beschäftigen sich mit den Veränderungen der äußeren Bedingungen, um einen Eindruck davon zu bekommen, wie sich das Messsystem GripTester MK2 in diesen Fällen verhält.

Da die Messstrecke T3 die besten Werte bei der Differenz der Mittelwerte  $\Delta\mu_{GT}$  und der doppelten Standardabweichung  $2\sigma$  aufweist, wurde diese für die Messungen bei veränderten Messbedingungen ausgewählt.

Die Vorgehensweise läuft ähnlich ab wie bei den Messungen zur Wiederholbarkeit. Es wurden immer zwei Messungen je Richtung für jede Einstellung durchgeführt, und hätten diese nicht der Wiederholbedingung  $\Delta\mu_{GT}$  und  $2\sigma$  der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] entsprochen, wären weitere Messungen durchgeführt worden. Da alle Messreihen der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] entsprochen haben, waren keine weiteren Messungen notwendig.

In Tabelle 5-2 sind die getätigten Messungen zusammengefasst. Diese wurden wie bei den Untersuchungen für die Wiederholbarkeit nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ausgewertet. Es sind die aus zwei Messfahrten gebildeten Mittelwerte  $\mu_{GT}$  der einzelnen Strecken, die Abweichung der Differenzen  $\Delta\mu_{GT}$  und die doppelte Standardabweichung  $2\sigma$  der Differenzen der 10-m-Mittelwerte angegeben.

Tabelle 5-2: Messungen bei veränderten Messbedingungen

MKII	Datum	Mittelwert $\mu_{GT}$	Bedingung Wiederholbarkeit lt. RVS			Bemerkung	
			Mittelwert $\Delta\mu_{GT} \leq 0,03$	$2\sigma \leq 0,06$			
<b>MK II T3 Referenzmessung</b>							
MKII_T3A	07.10.2008	0,63	0,000	erfüllt	0,021	erfüllt	Standardparameter
MKII_T3B	07.10.2008	0,62	0,008	erfüllt	0,010	erfüllt	Standardparameter
<b>MK II T3 Geschwindigkeit niedrig mit Standard Annässung</b>							
MKII_T3A	21.10.2008	0,64	0,015	erfüllt	0,024	erfüllt	v=2,96
MKII_T3B	21.10.2008	0,64	0,007	erfüllt	0,023	erfüllt	v=2,96
<b>MK II T3 Geschwindigkeit hoch mit Standard Annässung</b>							
MKII_T3A	21.10.2008	0,46	0,008	erfüllt	0,054	erfüllt	v=11,21
MKII_T3B	21.10.2008	0,51	0,003	erfüllt	0,015	erfüllt	v=10,23
<b>MK II T3 Externe Annässung mit vollen Tanks</b>							
MKII_T3A	21.10.2008	0,64	0,013	erfüllt	0,012	erfüllt	
MKII_T3B	21.10.2008	0,65	0,013	erfüllt	0,012	erfüllt	
<b>MK II T3 Messung bei leichtem Regen (externe Annässung) ohne Tanks</b>							
MKII_T3A	16.10.2008	0,61	0,007	erfüllt	0,017	erfüllt	
MKII_T3B	16.10.2008	0,63	0,003	erfüllt	0,016	erfüllt	
<b>MK II T3 Externe Annässung mit leeren Tanks</b>							
MKII_T3A	31.10.2008	0,60	0,007	erfüllt	0,006	erfüllt	
MKII_T3B	31.10.2008	0,61	0,001	erfüllt	0,010	erfüllt	
<b>MK II T3 Trocken ohne Tanks Software Roadbase</b>							
MKII_T3A	21.10.2008	0,95	0,003	erfüllt	0,029	erfüllt	
MKII_T3B	21.10.2008	0,94	0,002	erfüllt	0,010	erfüllt	
<b>MK II T3 Trocken ohne Tanks Software Roadmanager</b>							
MKII_T3A	21.10.2008	0,96	0,007	erfüllt	0,011	erfüllt	
MKII_T3B	21.10.2008	0,94	0,003	erfüllt	0,011	erfüllt	

### Referenzmessung

Um Aussagen über die Daten bei veränderten Messbedingungen treffen zu können, ist es notwendig, eine Referenzmessung heranzuziehen. Der Referenzwert (siehe Abbildung 5-1) ergibt sich aus den beiden Messungen auf der Strecke T3 vom 07.10.2008 und wurde nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ermittelt.

### Software Roadbase/Roadmanager

Als erstes standen Untersuchungen an, die zeigen sollten, ob es einen Unterschied des Reibungswertes  $\mu_{GT}$  zwischen der Software „Roadmanager“ (alt) und der Software „Roadbase“ (neu) gibt. Die Untersuchungen fanden auf trockener Fahrbahn statt, daher auch der hohe Reibungswert  $\mu_{GT}$  von über 0,9 [-]. In Richtung A (siehe Abbildung 5-1) wurde ein geringer Unterschied von 0,01 [-] festgestellt, der aber innerhalb der Toleranzen der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] liegt. In Richtung B wurde kein Unterschied festgestellt. Somit erhält man mit beiden Softwarepaketen denselben Reibungswert  $\mu_{GT}$ . Da aber bei der Software „Roadbase“ die Messauflösung nicht explizit eingestellt werden kann, und daher diese Software nicht mit den bestehenden Richtlinien kompatibel ist, wurde für die Durchführung von Griffigkeitsmessungen weiterhin das Softwarepaket „Roadmanager“ verwendet. Während der Erstellung dieser Arbeit wurde bereits mit der Herstellerfirma an der Implementierung einer neuen GripTester Steuerung/Auswertung gearbeitet. Alle weiteren Untersuchungen wurden mit der Software „Roadmanager“ der Firma Mechatronic Traffic GmbH absolviert.

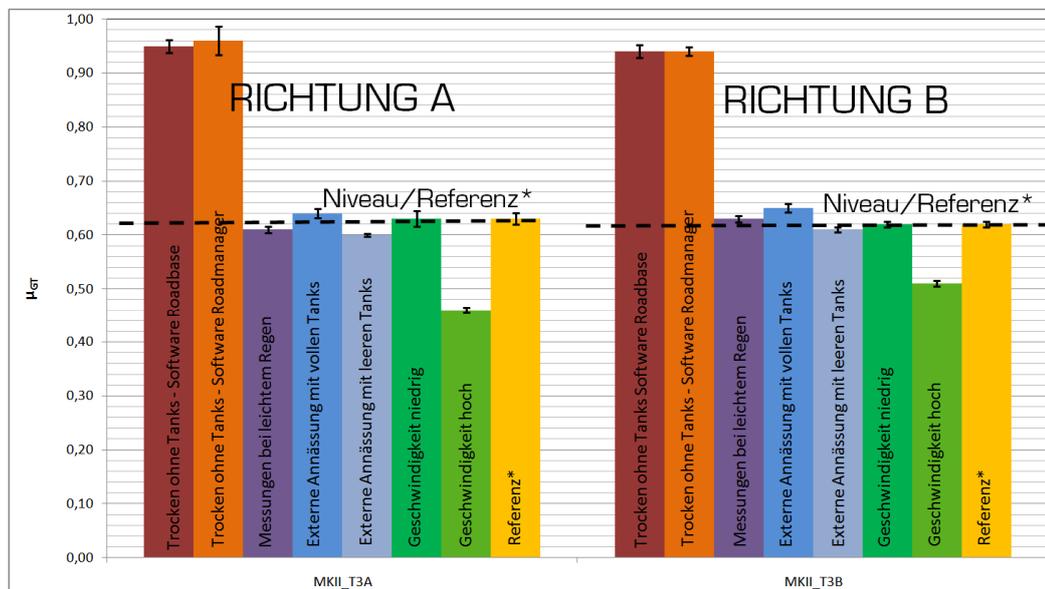
### Volle/Leere Wassertanks

Weiters wurde untersucht, inwieweit sich der Reibungswert  $\mu_{GT}$  ändert, wenn die Fahrbahn vorgehästet ist, und ob leere und volle Tanks Auswirkungen zeigen.

Aus den Daten ergibt sich, dass sich mit vollen Tanks ein leicht erhöhter Reibungswert  $\mu_{GT}$  von ca. 0,03 [-] (siehe Abbildung 5-1) gegenüber den Messungen ohne Tanks einstellt. Die Erklärung dafür liefert nicht das Messprinzip, sondern die Art der Kalibrierung des Messsystems. Das Messgerät wird auf das Standardgewicht von 85 kg kalibriert und berücksichtigt das höhere Gewicht mit vollen Wassertanks nicht. Daher ist der leicht erhöhte Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  durchaus vertretbar und kann ignoriert werden. Gut erkennbar ist auch, dass der Reibungsbeiwert sich bei externer Annässung gegenüber der Referenzmessung kaum ändert.

### Hohe/Niedrige Geschwindigkeit

Als letzte Vergleichsmessungen mit veränderten Randbedingungen wurden Messungen mit niedriger und hoher Geschwindigkeit durchgeführt. Für die Annässung wurde weiterhin der eingestellte Durchflusswert für 0,5 mm Wasserfilmdicke und 5 km/h verwendet. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten betragen rund 3 km/h und 11 km/h. Gut erkennbar ist, dass sich bei niedrigen Geschwindigkeiten der Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  gegenüber der Referenz nicht verändert. Sehr wohl verändert sich der Messwert aber bei der mehr als doppelt so hohen Messgeschwindigkeit. Dies ist einerseits durch die immer wieder kurzfristige Entlastung des Messrades durch die Hebelwirkung der Gabel (siehe Abbildung 3-5) erklärbar, und andererseits wird die Länge nicht mehr korrekt ermittelt. Im gegenständlichen Fall wurde die Länge der Messstrecke von 50 m nur mit rund 40 m ausgegeben. Folglich ist eine zu geringe Messgeschwindigkeit kein Problem, aber zu hohe Geschwindigkeiten sollten vermieden werden.



\* Referenzmessung auf der Strecke T3 vom 07.10.2008

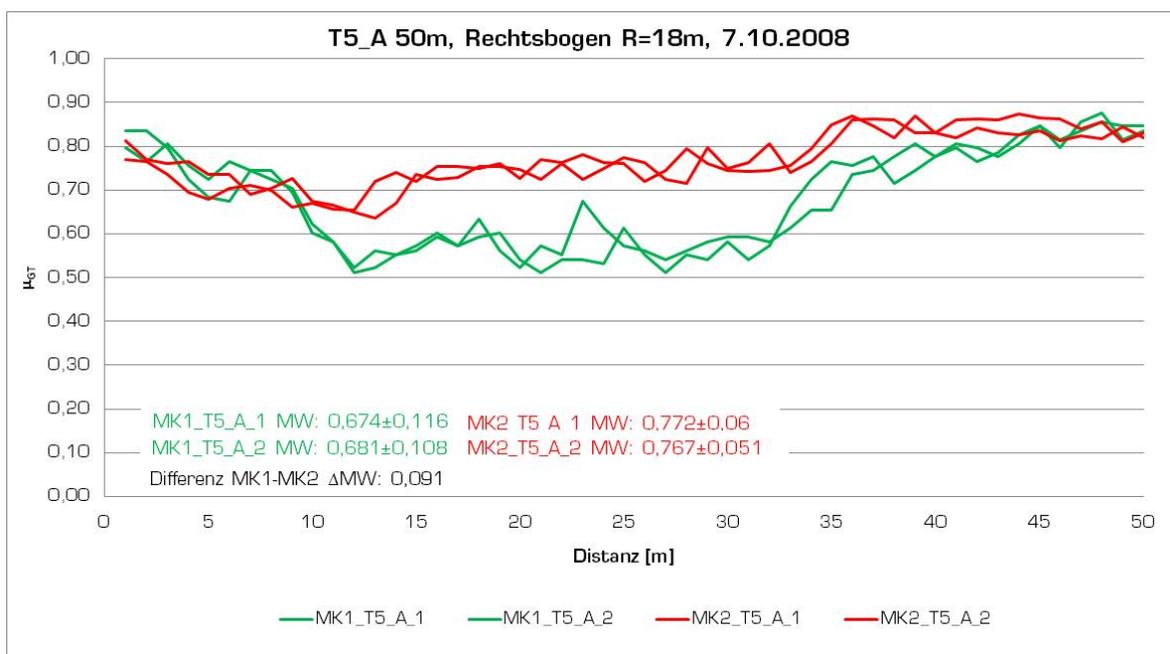
**Abbildung 5-1: Vergleichsmessungen im Schiebetrieb bei veränderten Randbedingungen**

Zusammengefasst konnte festgestellt werden, dass sich der Reibwert  $\mu_{GT}$ , wenn die Randbedingungen nahe an der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] liegen, nur sehr wenig verändert.

### 5.1.3 Messungen im Kreisbogen mit dem Modell MK2

Ein weiteres wichtiges Ziel dieser Arbeit war festzustellen, ob mit dem Messsystem GripTester MK2 Messungen im Bogen möglich sind. Der GripTester MK1 konnte diese Messungen nicht durchführen, da er aufgrund seiner Bauart der Messachse nicht geeignet war, die Kräfte richtig zu berechnen. Mit der Einführung des GripTesters MK2 sollte dies nun möglich sein, da die Messachse gründlich überarbeitet wurde (siehe Kapitel 3.5).

Wie man der Abbildung 5-2 entnehmen kann, zeigt sich beim Modell MK1 (grüne Linien) ein sehr deutlicher Abfall des Reibungsbeiwertes  $\mu_{GT}$  am Beginn des Bogens. In einem Linksbogen erhält man genau das gegenteilige Abbild, also dass der Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  ansteigt (siehe Anhang B). Den Abfall/Anstieg des Reibwertes – je nach Rechts- oder Linkskurve – kann man sich durch die auftretenden Seitenkräfte, die in der Messachse ein positives oder negatives Moment erzeugen, erklären. Der GripTester MK2 bleibt aber auf seinem Niveau und misst durchgehend denselben Reibungsbeiwert.



**Abbildung 5-2: Vergleich Bogenmessung im Schiebetrieb MK1/MK2,  $R_{\text{Bogen}} = 18 \text{ m}$ ,  $l = 50 \text{ m}$**

Da durch diese erste Datenanalyse aber noch nicht mit Sicherheit gesagt werden konnte, dass mit dem GripTester MK2 Bogenmessungen zuverlässig durchführen werden können, wurde in Hausleiten/Niederösterreich ein abgelegener asphaltierter

Platz benutzt, um weitere Daten zu erhalten. Beschreibung des Messplatzes siehe Kapitel 4.2.

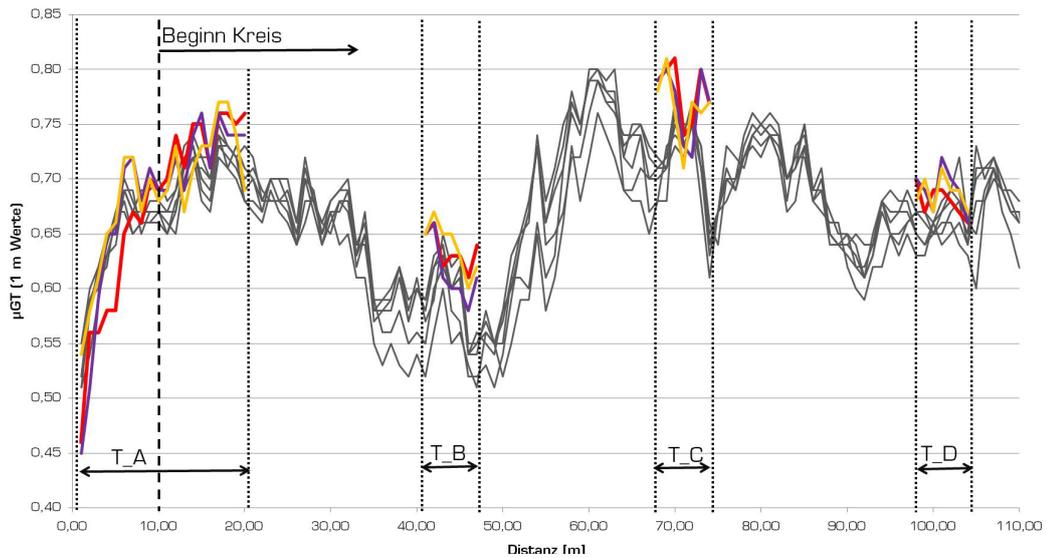
Als erstes wurden alle Strecken nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] hinsichtlich der Wiederholbarkeit statistisch untersucht (siehe Tabelle 5-3). Es ist wieder der Mittelwert der beiden Strecken angegeben samt der Differenz der Mittelwerte  $\Delta\mu_{GT}$  und die doppelte Standardabweichung  $2\sigma$ . Bei den Messungen der Tangenten wurde immer die erste mit der zweiten Messung von insgesamt drei verglichen, und bei den Kreismessungen wurden alle Messungen mit der zweiten Messung verglichen, da die erste Messungen deutlich niedriger ausgefallen ist. Eine Erklärung dafür ist, dass die Strecke, obwohl sie vorher gereinigt wurde, doch noch ein wenig verschmutzt war.

Wie aus der Tabelle 5-3 ersichtlich wird, haben alle Strecken die Kriterien lt. RVS 11.06.71 [FSV, 2009] erfüllt und liegen meist deutlich unter den geforderten Grenzwerten. Somit konnten die Daten für weitere Untersuchungen weiterverwendet werden.

**Tabelle 5-3: Wiederholbarkeit im Schiebetrieb bei Kreisfahrten (R= 20 m)**

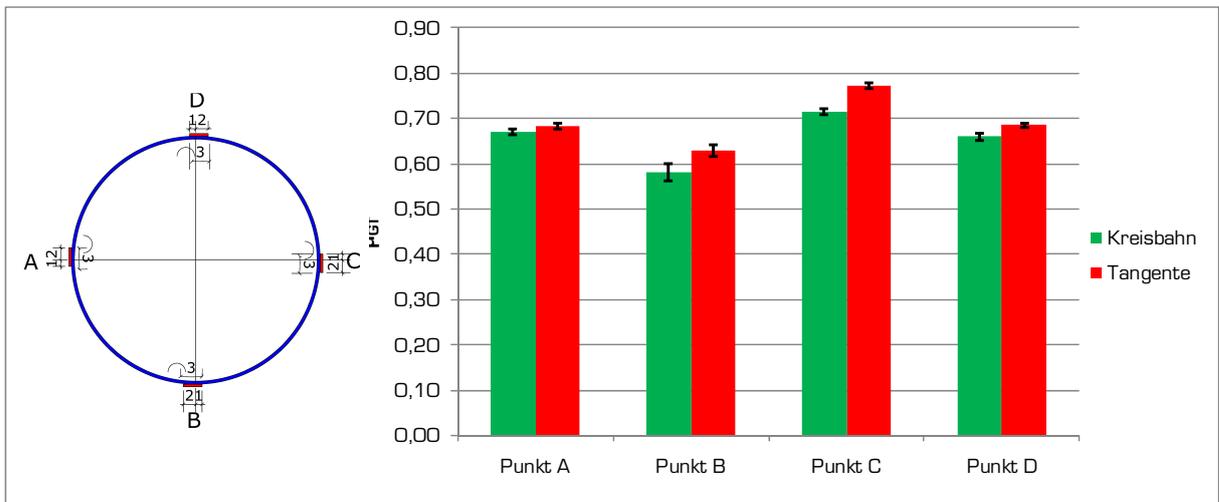
MKII	Datum	Mittelwert $\mu_{GT}$	Bedingung Wiederholbarkeit lt. RVS			
			Mittelwert $\Delta\mu_{GT} \leq 0,03$		$2\sigma \leq 0,06$	
T_A 1/2	15.07.2009	<b>0,68</b>	0,007	Erfüllt	0,018	Erfüllt
T_B 1/2	15.07.2009	<b>0,69</b>	0,004	Erfüllt	0,013	Erfüllt
T_C 1/2	15.07.2009	<b>0,75</b>	0,004	Erfüllt	0,021	Erfüllt
T_D 1/2	15.07.2009	<b>0,71</b>	0,019	Erfüllt	0,019	Erfüllt
T_Kreis_2/1	15.07.2009	<b>0,65</b>	0,023	Erfüllt	0,042	Erfüllt
T_Kreis_2/3	15.07.2009	<b>0,66</b>	0,001	Erfüllt	0,011	Erfüllt
T_Kreis_2/4	15.07.2009	<b>0,66</b>	0,009	Erfüllt	0,020	Erfüllt
T_Kreis_2/5	15.07.2009	<b>0,66</b>	0,007	Erfüllt	0,023	Erfüllt
T_Kreis_2/6	15.07.2009	<b>0,66</b>	0,003	Erfüllt	0,019	Erfüllt

Die Tangenten wurden gemessen, um damit eine Übereinstimmung der Reibungsbeiwerte  $\mu_{GT}$  in den Schnittpunkten der Geraden mit dem Kreis erkennbar sein sollte. In Abbildung 5-3 wurden alle Kreise (graue Linien) und Segmente der einzelnen 40 m Tangenten (bunte Linien) übereinandergelegt. Die Strecke T\_A wurde vollständig dargestellt, für die anderen Tangenten wurden jeweils nur 6-m-Abschnitte verwendet, die immer 3 m vor dem Tangentenpunkt beginnen.



**Abbildung 5-3: Alle Kreise mit den tangierenden 6-m-Abschnitten**

In Abbildung 5-4 wurden die Mittelwerte für die vier Kreisbogen- und Tangentenabschnitte samt der jeweiligen Standardabweichung dargestellt. Für das dargestellte Histogramm wurden 3-m-Abschnitte verwendet, wobei der Beginn immer zwei Meter vor dem Tangentenpunkt liegt.



**Abbildung 5-4: Histogramm der Kreisbogen- und Tangentenabschnitte für 3-m-Abschnitte, Schiebetrieb, R= 20 m**

Wie man sieht, haben die Tangenten in den jeweiligen Bereichen dasselbe Griffigniveau. Man kann also davon ausgehen, dass der GripTester MK2 im Tangentenpunkt, egal ob er im Bogen oder im Kreis misst, dasselbe Ergebnis ermittelt. Der GripTester MK2 kann daher für Messungen im Bogen, wie sie z.B. für Kreisverkehre benötigt werden, eingesetzt werden. Die Anwendungsgrenzen liegen für den Radius bei einer Grenze  $\geq 18$  m, da ein geringerer Radius bauartbedingt nicht befahrbar ist.

### 5.1.4 Vergleichbarkeit MK1 – MK2

In der Tabelle 5-4 finden Sie alle relevanten Daten der Messstrecken tabellarisch aufgelistet, um einen Überblick über die durchgeführten Messungen zu erhalten. Jede Messstrecke wurde zumindest zweimal befahren, um eine Auswertung gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] zu gewährleisten. Ausgenommen sind hier die Messstrecken T6 und T7 auf dem Gelände des Arsenal und die Messungen T\_A bis T\_D in Hausleitern, die jeweils drei Mal in jede Richtung befahren wurden.

Wie man der Tabelle 5-4 entnehmen kann, gibt es Differenzen zwischen den Reibungsbeiwerten  $\mu_{GT}$  des GripTesters MK1 und MK2. Daher war der nächste Schritt, einen genauen Delta-Wert zwischen den beiden Messsystemen zu ermitteln und statistisch auszuwerten. Dafür wurden im Schiebetrieb insgesamt neun Strecken für Vergleichsmessungen herangezogen, dabei handelt es sich um 5 Strecken auf dem Gelände des Arsenal und vier Strecken in Hausleitern. Die Strecken im Arsenal wurden jeweils in beiden Richtungen A und B gemessen.

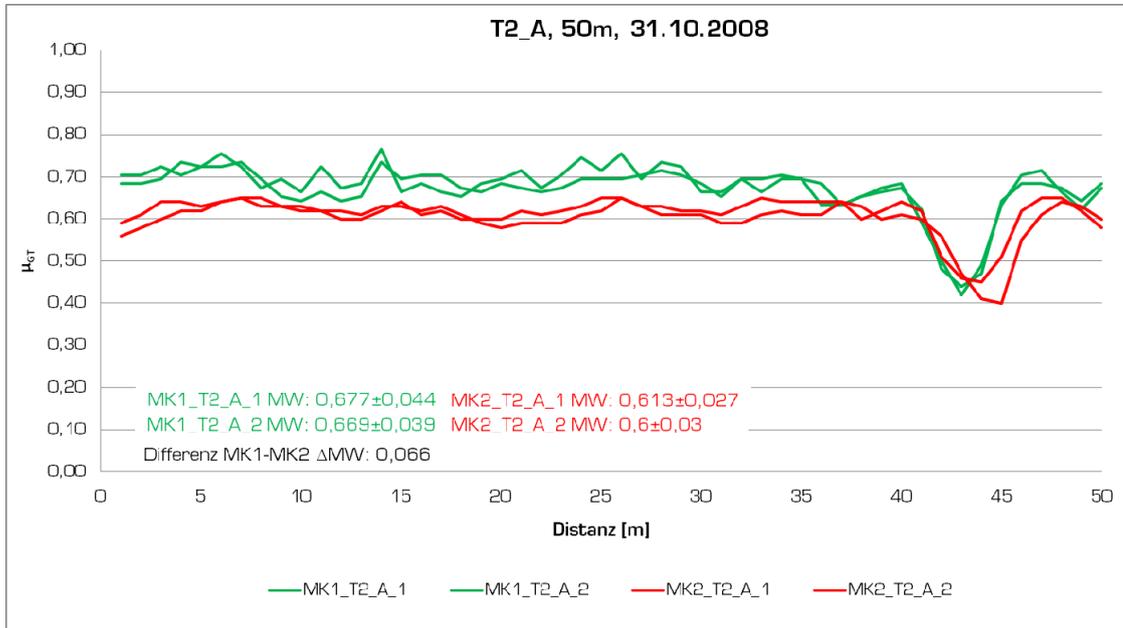
**Tabelle 5-4: Überblick über die Messdaten im Schiebetrieb**

	Strecken <sup>1</sup>	Länge	Datum	Ort	MK I MW $\mu_{GT}$ <sup>2</sup>	MK II MW $\mu_{GT}$ <sup>2</sup>
Arsenal/Wien	T1_A_1	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,65	0,60
	T1_A_2	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,65	0,58
	T1_B_1	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,63	0,58
	T1_B_2	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,63	0,56
	T2_A_1	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,68	0,61
	T2_A_2	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,67	0,60
	T2_B_1	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,71	0,64
	T2_B_2	50 m	31.10.2008	Arsenal	0,70	0,64
	T3_A_1	50 m	07.10.2008	Arsenal	0,64	0,63
	T3_A_2	50 m	07.10.2008	Arsenal	0,65	0,63
	T3_B_1	50 m	07.10.2008	Arsenal	0,64	0,63
	T3_B_2	50 m	07.10.2008	Arsenal	0,64	0,62
	Arsenal/Wien	T6_A_1	50 m	10.07.2009	Arsenal	0,81
T6_A_2		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,80	0,79
T6_A_3		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,80	0,79
T6_B_1		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,82	0,80
T6_B_2		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,82	0,80
T6_B_3		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,82	0,77
T7_A_1		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,73	0,71
T7_A_2		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,71	0,68
T7_A_2		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,70	0,68
T7_B_1		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,72	0,68
T7_B_2		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,71	0,68
T7_B_3		50 m	10.07.2009	Arsenal	0,70	0,67
Hausleitern		T_A_1	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,69
	T_A_2	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,74	0,69
	T_A_3	40 m	15.07.2009	Hausleitern	-]	0,69
	T_B_1	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,69	0,68
	T_B_2	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,68	0,69
	T_B_3	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,71	0,69
	T_C_1	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,79	0,75
	T_C_2	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,80	0,75
	T_C_3	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,80	0,74
	T_D_1	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,70	0,70
T_D_2	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,72	0,72	
T_D_3	40 m	15.07.2009	Hausleitern	0,73	0,72	

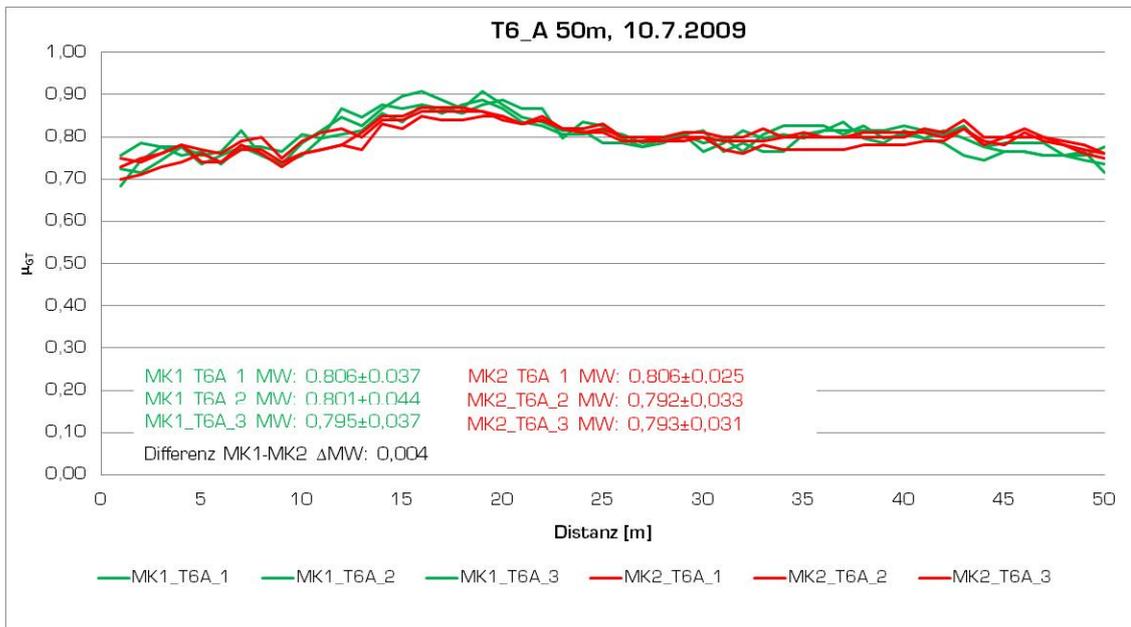
1) Streckenbezeichnung besteht aus: Strecke\_Richtung\_Messnummer

2) gebildet aus 50 m Mittelwerten

In den Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6 sieht man Beispiele für eine gute und schlechte Übereinstimmung der beiden Messsysteme MK1 und MK2. Auf der Messstrecke T2\_A ist der Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  des GripTesters MK2 um 0,066 [-] geringer als der Wert des GripTesters MK1. Auf der Messstrecke T6\_A ist der Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  des GripTesters MK2 nur um 0,004 [-] geringer als der Wert des GripTesters MK1.



**Abbildung 5-5: Schlechte Übereinstimmung der Messsysteme MK1/MK2**



**Abbildung 5-6: Gute Übereinstimmung der Messsysteme MK1/MK2**

Um die Differenz zwischen den Messgeräten MK1 und MK2 zu berechnen wurde jeweils der Mittelwert der Mittelwerte gebildet, von dem wiederum die Differenz der Mittelwerte MK1 und MK2 gebildet und samt Standardabweichung errechnet wurde.

Wie man der Tabelle 5-5 entnehmen kann, misst der GripTester MK2 im Schnitt einen um  $0,03 \pm 0,024$  [-] geringeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  im Vergleich zu seinem älteren Vorgänger MK1. Da aber die Streuung fast denselben Wert wie die Differenz erreicht, kann man im Schiebetrieb keinen Differenzbetrag angeben. Die Differenzen hängen sehr stark von der Oberflächenstruktur ab, da bei einer groben Oberflächentextur wie sie z.B. die Messstrecke T3 aufweist, fast kein Unterschied feststellbar ist.

**Tabelle 5-5: Streckenmittelwerte Schiebetrieb**

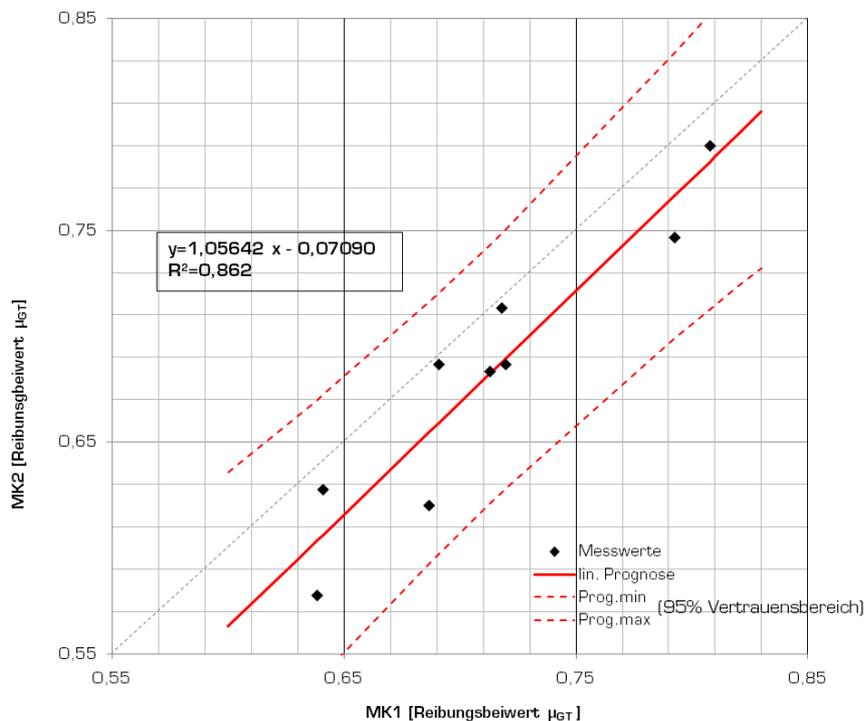
	Strecke	Distanz [m]	MK I MW $\mu_{GT}^2$	MW der Strecke MK1	MK II MW $\mu_{GT}^2$	MW der Strecke MK2	Differenz MK1/MK2
Arsenal/Wien	T1_A_1	50 m	0,65	= 0,639	0,60	= 0,578	0,061
	T1_A_2	50 m	0,65		0,58		
	T1_B_1	50 m	0,63		0,58		
	T1_B_2	50 m	0,63		0,56		
	T2_A_1	50 m	0,68	0,689	0,61	0,622	0,067
	T2_A_2	50 m	0,67		0,60		
	T2_B_1	50 m	0,71		0,64		
	T2_B_2	50 m	0,70		0,64		
	T3_A_1	50 m	0,64	0,641	0,63	0,627	0,014
	T3_A_2	50 m	0,65		0,63		
	T3_B_1	50 m	0,64		0,63		
	T3_B_2	50 m	0,64		0,62		
	T6_A_1	50 m	0,81	0,805	0,81	0,792	0,013
	T6_A_2	50 m	0,80		0,79		
	T6_A_3	50 m	0,80		0,79		
	T6_B_1	50 m	0,82		0,80		
T6_B_2	50 m	0,82	0,80				
T6_B_3	50 m	0,82	0,77				
T7_A_1	50 m	0,73	0,716	0,71	0,684	0,032	
T7_A_2	50 m	0,71		0,68			
T7_A_2	50 m	0,70		0,68			
T7_B_1	50 m	0,72		0,68			
T7_B_2	50 m	0,71		0,68			
T7_B_3	50 m	0,70		0,67			
Hausleiten	T_A_1	40 m	0,69	0,715	0,68	0,685	0,030
	T_A_2	40 m	0,74		0,69		
	T_A_3	40 m	[-]		0,69		
	T_B_1	40 m	0,69	0,692	0,68	0,687	0,005
	T_B_2	40 m	0,68		0,69		
	T_B_3	40 m	0,71		0,69		
	T_C_1	40 m	0,79	0,792	0,75	0,747	0,045
	T_C_2	40 m	0,80		0,75		
	T_C_3	40 m	0,80		0,74		
	T_D_1	40 m	0,70	0,717	0,70	0,716	0,001
T_D_2	40 m	0,72	0,72				
T_D_3	40 m	0,73	0,72				
<b><math>\Delta MW = 0,03 \pm 0,024</math></b>							

Um einen Eindruck über den Vertrauensbereich der Differenzen zu bekommen, wurde eine lineare Regressionsfunktion mit dem besten Bestimmtheitsmaß errechnet. Basis dieser Funktion bildet die Student-t Verteilung  $t(n-2; 1-\alpha/2)$ . Bei einer Anzahl von mehr als 30 Datenpaaren würde die Student-t Verteilung die Normalverteilung gut approximieren, und bei unendlicher Anzahl würde sie die Normalverteilung darstellen.

Die Abbildung 5-7 zeigt nun die Funktion mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2= 0,862$ , und weiters wird der 95% Vertrauensbereich angegeben. Wie man der Darstellung entnehmen kann, ist der Vertrauensbereich sehr weit gespannt.

Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse kann kein Differenzbetrag im Schiebetrieb angegeben werden. Generell sollte man aber beachten, dass das Messsystem GripTester MK2 einen geringfügig niedrigeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  als das Messsystem MK1 liefert.

### Schiebetrieb



**Abbildung 5-7: Lineare Regression der Differenzen MK1/MK2 im Schiebetrieb (n= 9, mittlere Messlänge pro Messung 50 m)**

## 5.2 Zugbetrieb

### 5.2.1 Wiederholbarkeit des Modells MK2

Zuerst wurde die Frage, ob die Wiederholbarkeit im Zugebetrieb nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] gegeben ist, beantwortet.

Die Vorgehensweise dafür stellte sich wie folgt dar:

Es wurden jeweils zwei oder drei Messungen pro Teilabschnitt durchgeführt, und anschließend wurden die Daten sofort nach RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ausgewertet. Es wurde berücksichtigt, dass Messfahrten, die nicht den Anforderungen der RVS entsprechen, zu wiederholen sind.

In Tabelle 5-1 sind die ermittelten Ergebnisse der Untersuchungen zur Wiederholbarkeit des Modells MK2 im Zugbetrieb zusammengefasst. Darin werden für jede Messstrecke und Fahrtrichtung der aus den n-Fahrten ermittelten mittlere Griffigkeitswert  $\mu_{GT}$  sowie die Wiederholbedingungen  $\Delta\mu_{GT}$  und  $2\sigma$  gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] angegeben.

**Tabelle 5-6: Wiederholbarkeit der Messungen im Zugebetrieb**

MKII - Strecke	Datum	Distanz	n <sup>1</sup>	Mittelwert $\mu_{GT}$	Bedingung Wiederholbarkeit lt. RVS			Bemerkung	
					Mittelwert $\Delta\mu_{GT} \leq 0,03$	$2\sigma \leq 0,06$			
A22_SMA	12.05.2009	2000 m	3	0,48	0,020	Erfüllt	0,051	Erfüllt	1/2 Messfahrt
A22_SMA*	12.05.2009	2000 m	3	0,49	0,012	Erfüllt	0,036	Erfüllt	2/3 Messfahrt
A22_Waschbeton	12.05.2009	1500 m	3	0,64	0,012	Erfüllt	0,023	Erfüllt	1/2 Messfahrt
A22_Waschbeton*	12.05.2009	1500 m	3	0,65	0,025	Erfüllt	0,030	Erfüllt	2/3 Messfahrt
A4_Bruck	19.05.2009	4000 m	3	0,36	0,002	Erfüllt	0,010	Erfüllt	1/2 Messfahrt
A4_Bruck*	19.05.2009	4000 m	3	0,36	0,005	Erfüllt	0,017	Erfüllt	2/3 Messfahrt
A4_Wien	19.05.2009	4500 m	3	0,36	0,013	Erfüllt	0,025	Erfüllt	2/3 Messfahrt
A4_Wien*	19.05.2009	4500 m	3	0,36	0,006	Erfüllt	0,052	Erfüllt	3/4 Messfahrt
L1135_Hausleiten_Belag1	15.07.2009	300 m	3	0,26	0,003	Erfüllt	0,020	Erfüllt	1/2 Messfahrt
L1135_Hausleiten_Belag1*	15.07.2009	300 m	3	0,27	0,009	Erfüllt	0,022	Erfüllt	2/3 Messfahrt
L1135_Hausleiten_Belag2	15.07.2009	1300 m	3	0,56	0,015	Erfüllt	0,025	Erfüllt	1/2 Messfahrt
L1135_Hausleiten_Belag2*	15.07.2009	1300 m	3	0,56	0,009	Erfüllt	0,028	Erfüllt	2/3 Messfahrt
L1135_Perzendorf_Belag1	15.07.2009	300 m	3	0,23	0,001	Erfüllt	0,026	Erfüllt	1/2 Messfahrt
L1135_Perzendorf_Belag1*	15.07.2009	300 m	3	0,27	0,007	Erfüllt	0,028	Erfüllt	2/3 Messfahrt
L1135_Perzendorf_Belag2	15.07.2009	1300 m	3	0,55	0,030	Erfüllt	0,038	Erfüllt	1/2 Messfahrt
L1135_Perzendorf_Belag2*	15.07.2009	1300 m	3	0,58	0,005	Erfüllt	0,026	Erfüllt	2/3 Messfahrt
B100_Lienz_Sued	23.09.2009	2000 m	3	0,54	0,021	Erfüllt	0,048	Erfüllt	1/2 Messfahrt
B100_Lienz_Sued*	23.09.2009	2000 m	3	0,56	0,001	Erfüllt	0,025	Erfüllt	2/3 Messfahrt

\*andere Messwerte als Grundlage siehe Bemerkung

<sup>1</sup> Anzahl der Messfahrten

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, wird die Wiederholbarkeit auf allen Messstrecken eingehalten. Meist wird der Grenzwert für die Differenz der Mittelwerte  $\Delta\mu_{GT}$  und die doppelte Standardabweichung  $2\sigma$  deutlich unterschritten, daher kann das Messsystem GripTester MK2 für Messfahrten im Zugbetrieb gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] eingesetzt werden.

## 5.2.2 Vergleich MK1 – MK2

Als letzter Aufgabenbereich dieser Arbeit stand der Vergleich der Messgeräte MK1 und MK2 im Zugbetrieb. Da der Zugbetrieb die weitaus häufiger auftretende Messaufgabe darstellt, liegt hier besonderes Augenmerk auf das Vorhandensein eines Differenzbetrages zwischen den Systemen. KLUGER-EIGL [2009] hat eine Umrechnungsfunktion für den GripTester MK1 im Vergleich zu dem Messsystem RoadSTAR abhängig von der Deckschichtart erarbeitet. Im Hinblick auf diese Umrechnung würde ein Differenzbetrag außerhalb eines tolerierbaren Bereiches bzw. eine nicht statistisch erfassbare Abweichung eine Überarbeitung dieser Funktion erfordern.

Dass ein Differenzbetrag vorliegen wird, hat schon der Hersteller Findlay Irvine, Ltd. ausgearbeitet. In Abbildung 5-8 ist die lineare Regressionsfunktion im Zugbetrieb des Herstellers abgebildet. Diese besitzt ein hohes Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,9919$  und die Abweichung ist z.B. bei einem Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  von 0,6 rund 0,062 [-]. Dieser Wert würde leicht über der maximal zulässigen Differenz der 50-m-Mittelwerte für die Referenzmessung von  $\Delta\mu_{GT} < 0,05$  [-] liegen (siehe Tabelle 3-4).

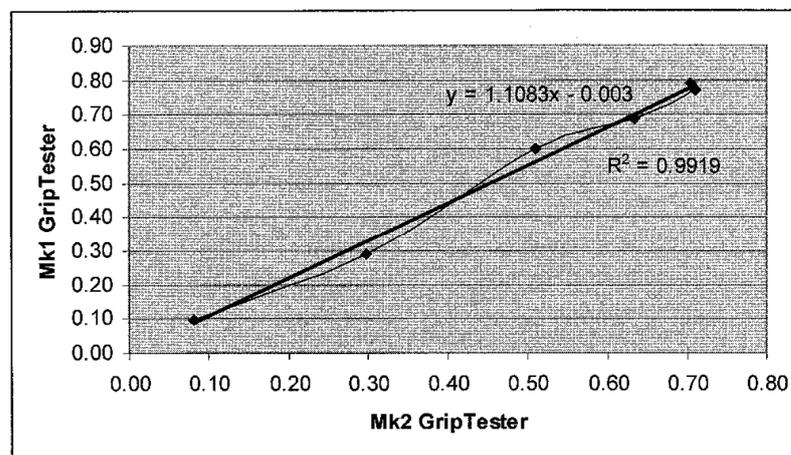


Abbildung 5-8: Lineare Regression [Findlay Irvine, Ltd.]

Um die Vergleichbarkeit zu untersuchen, wurden neun Messungen auf verschiedenen Deckschichten durchgeführt, die alle auf österreichischen Straßen stattfanden. Die Messstrecke auf der Autobahn A22 ist die Referenzstrecke des Labors des Instituts für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßenwesen der TU Wien. Diese wird dazu benutzt, um das Messsystem in regelmäßigen Abständen bzw. vor Messungen nach längeren Einsatzpausen zu überprüfen. Dabei wird überprüft, ob der Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  noch innerhalb der vorgeschriebenen gültigen Abweichungen liegt. Bei der Auswahl der Messstrecken wurde zusätzlich darauf geachtet, dass Messdaten in allen realistischen Bereichen des Reibungsbeiwertes  $\mu_{GT}$  ermittelt werden. So sind Messdaten im Bereich von 0,2 bis 0,7 [-] vorhanden.

Bei der Software ist anzumerken, dass die Messungen mit dem GripTester mit dem Paket „Roadmanager“ aufgezeichnet wurden, aber die Software „Roadbase“ die Steuerfunktion für die Wassermenge übernommen hat. Dies ist deshalb notwendig, da wie schon bei den Messungen bei veränderten Messbedingungen in Kapitel 5.1.2 angesprochen, die Software „Roadbase“ nicht den aktuellen Normen entspricht, aber der

Wasserfluss auf keine andere Weise geregelt werden kann. Daher gibt es auch keine automatischen Aufzeichnungen über die aktuelle Wassermenge.

Die Ermittlung der Mittelwerte für die einzelnen Strecken erfolgt analog zum Schiebetrieb, nur dass hier die 50-m-Mittelwerte der einzelnen Messungen gebildet werden und von den 50-m-Mittelwerten wieder der Mittelwert der gesamten Strecke berechnet wird.

Um dann die Differenz der Messgeräte MK1 und MK2 zu berechnen, wurden jeweils die Mittelwerte der Mittelwerte gebildet, von denen wiederum die Differenzen der Mittelwerte MK1 und MK2 gebildet samt Standardabweichung ermittelt wurden.

Auch im Zugbetrieb misst das Messsystem GripTester MK2 einen geringeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$ , und wie man der Tabelle 5-7 entnehmen kann, befinden sich die Differenzen in einem Bereich von 0,02 bis 0,05 [-]. Wenn man die Differenz über alle gemessenen Strecken berechnet, ergibt sich ein Differenzbetrag im Zugbetrieb von  $0,03 \pm 0,011$  [-].

**Tabelle 5-7: Streckenmittelwerte Zugbetrieb**

	Streckenbezeichnung	Kilometrierung [km]		Deckschicht Baujahr	MK I	Mittelwert der Strecke MK2	MK II	Mittelwert der Strecke MK2	Differenz MK1/MK2
		Start	Ende		MW $\mu_{GT}$		MW $\mu_{GT}$		
A22	A22_Stockerau_Fsp1_1	13,0	15,0	SMA11 2002	0,45	= 0,505	0,48	= 0,483	0,022
	A22_Stockerau_Fsp1_2	13,0	15,0	SMA11 2002	0,52		0,48		
	A22_Stockerau_Fsp1_3	13,0	15,0	SMA11 2002	0,54		0,49		
	A22_Stockerau_Fsp1_1	15,5	17,0	Waschb. 2005	0,63	0,671	0,63	0,647	0,024
	A22_Stockerau_Fsp1_2	15,5	17,0	Waschb. 2005	0,67		0,65		
	A22_Stockerau_Fsp1_3	15,5	17,0	Waschb. 2005	0,70		0,66		
A4	A4_Bruck_Fsp1_1	23,0	27,0	SMA11 2005	0,38	0,390	0,36	0,360	0,030
	A4_Bruck_Fsp1_2	23,0	27,0	SMA11 2005	0,39		0,36		
	A4_Bruck_Fsp1_3	23,0	27,0	SMA11 2005	0,40		0,36		
	A4_Bruck_Fsp1_4	23,0	27,0	SMA11 2005	-		0,36		
	A4_Wien_Fsp1_1	27,5	23,0	SMA11 2005	0,39	0,393	-	0,360	0,033
	A4_Wien_Fsp1_2	27,5	23,0	SMA11 2005	0,39		0,36		
	A4_Wien_Fsp1_3	27,5	23,0	SMA11 2005	0,40		0,36		
	A4_Wien_Fsp1_4	27,5	23,0	SMA11 2005	-		0,35		
L1135	L1135_Hausleiten_1	Belag 1 / 300 m		AB 8 1966	0,25	0,261	0,23	0,227	0,035
	L1135_Hausleiten_2	Belag 1 / 300 m		AB 8 1966	0,27		0,23		
	L1135_Hausleiten_3	Belag 1 / 300 m		AB 8 1966	0,27		0,22		
	L1135_Hausleiten_1	Belag 2 / 1300 m		AB 8 1976	0,59	0,593	0,57	0,543	0,050
	L1135_Hausleiten_2	Belag 2 / 1300 m		AB 8 1976	0,60		0,53		
	L1135_Hausleiten_3	Belag 2 / 1300 m		AB 8 1976	0,58		0,53		
	L1135_Perzendorf_1	Belag 1 / 300 m		AB 8 1966	0,29	0,292	0,26	0,263	0,028
	L1135_Perzendorf_2	Belag 1 / 300 m		AB 8 1966	0,30		0,26		
	L1135_Perzendorf_3	Belag 1 / 300 m		AB 8 1966	0,29		0,27		
	L1135_Perzendorf_1	Belag 2 / 1300 m		AB 8 1976	0,63	0,620	0,57	0,567	0,053
L1135_Perzendorf_2	Belag 2 / 1300 m		AB 8 1976	0,63	0,56				
L1135_Perzendorf_3	Belag 2 / 1300 m		AB 8 1976	0,59	0,57				
B100	B100_Lienz_Sued_1	112,0	114,0	SMA11 07/09	0,58	0,586	0,53	0,547	0,039
	B100_Lienz_Sued_2	112,0	114,0	SMA11 07/09	0,59		0,55		
	B100_Lienz_Sued_3	112,0	114,0	SMA11 07/09	0,58		0,56		
<b><math>\Delta MW = 0,03 \pm 0,011</math></b>									

Um den Vertrauensbereich abschätzen zu können, wurde wieder eine lineare Regressionsfunktion mit dem besten Bestimmtheitsmaß berechnet. Als Basis dient wieder die Student-t Verteilung.

Wie die Abbildung 5-9 zeigt, wurde für den Zugbetrieb ein wesentlich höheres Bestimmtheitsmaß als für den Schiebetrieb erreicht. Das Bestimmtheitsmaß von  $R^2=0,99506$  bestätigt eine sehr gute Korrelation zwischen den Geräten, und der Vertrauensbereich ist gegenüber dem Schiebetrieb wesentlich enger gespannt. Dies kann einerseits auf die weitaus größere Datenmenge von über 36 gemessenen Kilometern zurückgeführt werden, als auch darauf, dass die Strecken in einem wesentlich besseren Zustand sind.

Aufgrund dieser Ergebnisse ist die Feststellung zulässig, dass der GripTester MK2 im Vergleich zu seinem älteren Vorgänger MK1 einen um  $0,03 \pm 0,011$  [-] geringeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  ausgibt.

Berechnet man den 95 % Vertrauensbereich für den MK2 z.B. für einen Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  von 0,6 [-] des GripTesters MK1, dann ist der untere Grenzwert 0,53 [-] und der obere Grenzwert 0,58 [-] für das Messsystem MK2. In dieser Bandbreite liegen die Reibungsbeiwerte  $\mu_{GT}$  für den GripTester MK2.

Im Vergleich zu der vom Hersteller ermittelten Regressionsfunktion beträgt die Abweichung z.B. bei einem Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  von 0,6 rund 0,038 [-]. Die Abweichung der beiden GripTester MK1 und MK2 des Labors des Instituts für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Straßenwesen ist geringer als die von Findlay, Irvine Ltd. ermittelte Differenz.

### Zugbetrieb

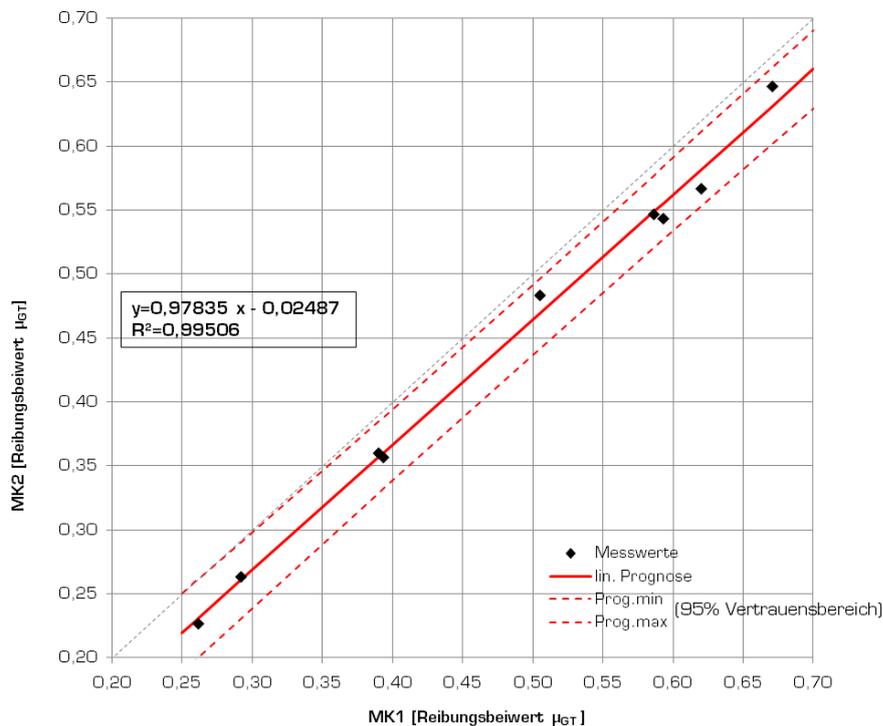


Abbildung 5-9: Lineare Regression der Differenzen MK1/MK2 im Zugbetrieb

### 5.3 Umrechnungsfunktion GripTester – RoadSTAR

Aufgrund des gleichen Messprinzips und des annähernd gleichen Schlupfbereichs der Messreifen von GripTester und RoadSTAR, hat KLUGER-EIGL [2009] in seiner Arbeit einen linearen Zusammenhang zwischen den Reibungsbeiwerten der beiden Griffigkeitsmesssysteme gesucht.

Das Ergebnis seiner Untersuchungen war eine Umrechnungsfunktion (siehe Formel 5-1) für die Reibungsbeiwerte GripTester MK1 60 km/h und RoadSTAR 60 km/h. Die Funktion gilt für einen Bereich von  $0,20 \leq \mu_{GT,MK1,60} \leq 0,80$  und für die Deckschichtgruppen SMA, AB, OBH, Beton und alter Waschbeton. Damit ist es möglich, Reibungsbeiwerte des GripTesters ( $\mu_{GT,MK1,60}$ ) auf Reibungsbeiwerte des RoadSTARs ( $\mu_{RS}$ ) umzurechnen.

$$\mu_{RS} = \mu_{GT,MK1,60} + 0,18 \quad \text{Formel 5-1}$$

$\mu_{RS}$                     Griffigkeitsbeiwert RoadSTAR  
 $\mu_{GT,MK1,60}$         Griffigkeitsbeiwert GripTester MK1 bei 60 km/h

Die Umrechnungsfunktion ist vorrangig für die Transformierung von Reibungsbeiwerten, welche mit dem GripTester MK1 bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h ermittelt wurden, anzuwenden [KLUGER-EIGEL, 2009].

Aufgrund der gewonnen Erkenntnisse aus Kapitel 5.2.2, dass der GripTester MK2 einen um  $0,03 \pm 0,011$  [-] geringeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  ausgibt, und da alle gemessenen Reibungsbeiwerte des GripTesters MK2 niedriger als die Werte des Modells MK1 waren, muss die von KLUGER-EIGL hergeleitete Umrechnungsfunktion neu angegeben werden.

Die Umrechnungsfunktion für die Reibungsbeiwerte GripTester MK2 60 km/h ( $\mu_{GT,MK2,60}$ ) und RoadSTAR 60 km/h ( $\mu_{RS}$ ) stellt sich nun folgendermaßen dar:

$$\mu_{RS} = \mu_{GT,MK2,60} + 0,21 \quad \text{Formel 5-2}$$

$\mu_{RS}$                     Griffigkeitsbeiwert RoadSTAR  
 $\mu_{GT,MK2,60}$         Griffigkeitsbeiwert GripTester MK2 bei 60 km/h

Die neue Umrechnungsfunktion unterscheidet sich nur um den konstanten Faktor, der von 0,18 [-] auf 0,21 [-] erhöht wurde. Der Anwendungsbereich umfasst dieselben Deckengruppen und gilt für einen Bereich von  $0,20 \leq \mu_{GT,MK2,60} \leq 0,80$ . Diese ist vorrangig für die Transformierung von Reibungsbeiwerten, welche mit dem GripTester MK2 bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h ermittelt wurden, anzuwenden.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

### 6.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche ist eine der wichtigsten Fahrbahneigenschaften für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit. Da der Nutzer die zu erwartende Griffigkeit nur in Extremfällen (z.B. Schneefahrbahn) durch Beobachtung erkennen kann, müssen Mindestanforderungen an die Griffigkeit der Fahrbahn gestellt werden, um eine sichere Fahrt zu ermöglichen.

Seit 1965 wurden in Österreich Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser durchgeführt. Das heute meist angewendete System wurde 1991 vom „Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart“ in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitern von arsenal research konzipiert. Aufgrund seiner Bauart - die Messvorrichtung ist in einem LKW implementiert - ist das Haupteinsatzgebiet des Messsystems RoadSTAR das höherrangige Straßennetz.

Da aber in einigen Fällen (z.B. Untersuchungen im Stadtgebiet) der RoadSTAR nicht zur Anwendung kommen kann, hat sich in Österreich ein zweites dynamisches Messsystem etabliert. Dabei handelt es sich um das von der schottischen Firma Findlay Irvine entwickelte Prüfgerät GripTester. Seit 1996 wurden Messungen mit dem GripTester für wissenschaftliche Zwecke durchgeführt und im Jahr 2009 wurde das System in den Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS 11.06.71 [FSV 2009]) verankert. Aufgrund seiner Kompaktheit kann dieses System auch unter sehr beengten Verhältnissen (z.B. Parkgaragen) eingesetzt werden.

Da der Hersteller das Produkt ständig weiterentwickelt, wurde im Jahr 2008 eine neue Version des GripTesters vom Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßenwesen erworben. Dabei handelt es sich um die Nachfolgemodell MK2.

Ziel dieser Arbeit war, den GripTester MK2 in den Laborbetrieb des Instituts für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Straßenwesen einzuführen. Dabei sollte einerseits eine Arbeitsanweisung für das Modell MK2 erstellt werden und andererseits verschiedene Forschungsfragen geklärt werden.

Die konkreten Forschungsfragen dieser Arbeit stellen sich wie folgt dar:

- Ist der Einsatz des neuen Messsystems GripTester MK2 nach der aktuellen österreichischen Richtlinie RVS 11.06.71 [FSV 2009] möglich, oder müssen Änderungen vorgenommen werden?
- Können die Messdaten, die das Messgerät MK1 liefert, mit den Daten des GripTesters MK2 verglichen werden, oder ist ein Umrechnungsfaktor zu berücksichtigen? Ist bezüglich der Vergleichbarkeit eine Abhängigkeit vom verwendeten Deckenaufbau feststellbar?
- Kann die von KLUGER-EIGL [2009] abgeleitete Umrechnungsformel für den MK2 herangezogen werden, oder muss diese überarbeitet werden?

- Sind Messungen mit dem MK2 in engen Bögen möglich? Gibt es Anwendungsgrenzen?
- Wie hoch ist der Einfluss von verschiedenen äußeren Bedingungen auf das Messergebnis? Im Speziellen der Einfluss von Wasser, der Geschwindigkeit und der zwei verfügbaren Softwarepakete „Roadmanager“ und „Roadbase“.

## 6.2 Versuchsprogramm

Das Ziel des Messprogramms war die Eignung des Messsystem GripTester MK2 mit Hinblick auf die RVS 11.06.71 [FSV, 2009] sicher zu stellen. Daher wurden verschiedenste Messungen (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2) sowohl im Schiebetrieb als auch im Zugbetrieb durchgeführt. Einerseits sollte festgestellt werden, ob es einen Differenzbetrag zwischen den beiden Messgeräten GripTester MK1/MK2 gibt, andererseits wurden Messungen im Schiebetrieb durchgeführt, um Anhaltspunkte über das Handling, die Messdurchführung und die Datenauswertung zu bekommen.

Getrennt nach Schiebe- und Zugbetrieb stellte sich das Versuchsprogramm folgendermaßen dar:

### Schiebetrieb

- Wiederholbarkeit MK2: 5 Strecken (5 km/h, 0,5 mm Wasserfilmdicke)
- Vergleichbarkeit MK1/MK2: 9 Strecken (5 km/h, 0,5 mm Wasserfilmdicke)
- Messungen im Kreisbogen MK2: Radius von 20 m (5 km/h, 0,5 mm Wasserfilmdicke)
- Messungen bei veränderten Messbedingungen MK2: 1 Strecke
  - Wassertanks Voll/Leer
  - Software Roadbase/Roadmanager
  - Mit und ohne externer Annässung
  - Geschwindigkeit  $3 \leq v \leq 12$  [km/h]

### Zugbetrieb

- Wiederholbarkeit MK2: 4 Autobahnabschnitte und 5 Abschnitte auf Landstraßen (60 km/h, 0,5 mm Wasserfilmdicke)
- Vergleichbarkeit MK1/MK2: 4 Autobahnabschnitte und 5 Abschnitte auf Landstraßen (60 km/h, 0,5 mm Wasserfilmdicke)

## 6.3 Ergebnisse

### Wiederholbarkeit

Wie die Untersuchungen gezeigt haben, wird mit dem MK2 die Wiederholbarkeit auf allen Messstrecken, sowohl im Schiebe- als auch im Zugbetrieb, eingehalten. Meist wird der Grenzwert für die Differenz der Mittelwerte  $\Delta\mu_{GT}$  und die doppelte Standardabweichung  $2\sigma$  deutlich unterschritten, daher kann das Messsystem GripTester MK2 für Messfahrten im Zugbetrieb gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] eingesetzt werden.

### Messungen bei veränderten Messbedingungen

Die Messungen mit dem MK2 bei veränderten Messbedingungen im Schiebetrieb haben ergeben, dass sich der Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$ , wenn die Randbedingungen nahe an der RVS 11.06.71 [FSV, 2009] liegen, nur sehr wenig verändert. Erwartungsgemäß waren die ermittelten Reibungsbeiwerte bei trockener Fahrbahn wesentlich höher

als bei angenässter Oberfläche. Auch der Einsatz der zwei Softwarepakete „Roadmager“ und „Roadbase“ ergab keinen Unterschied in den Messergebnissen.

Sehr wohl veränderte sich der Messwert im Schiebetrieb aber bei einer mehr als doppelt so hohen Messgeschwindigkeit gegenüber dem Wert von 5 km/h gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009]. Dies ist einerseits durch die immer wieder kurzfristige Entlastung des Messrades bedingt durch die Hebelwirkung der Gabel erklärbar, und andererseits wird die Länge der Messstrecke nicht mehr korrekt ermittelt. Folglich ist eine zu geringe Messgeschwindigkeit kein Problem, aber zu hohe Geschwindigkeiten können zu Schwankungen in den erhobenen Daten führen und sollten deshalb vermieden werden.

### Messungen im Kreisbogen

Der GripTester MK2 kann für Messungen im Bogen, wie sie z.B. für Kreisverkehre benötigt werden, eingesetzt werden. Die Anwendungsgrenzen liegen für den Radius bei einer Grenze  $\geq 18$  m, da ein geringerer Radius bauartbedingt nicht ausgeführt werden kann.

### Vergleichbarkeit

Im Schiebetrieb misst der GripTester MK2 im Schnitt einen um  $0,03 \pm 0,024$  [-] geringeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  im Vergleich zu seinem älteren Vorgänger MK1. Da aber die Streuung fast denselben Wert wie die Differenz erreicht, kann man im Schiebetrieb keinen Differenzbetrag angeben. Die Differenzen hängen sehr stark von der Oberflächentextur der Messstrecke ab, da bei einer groben Oberflächentextur fast kein Unterschied feststellbar ist.

Die Ergebnisse im Zugbetrieb lassen die Feststellung zu, dass der GripTester MK2 im Vergleich zu seinem älteren Vorgänger MK1 einen um  $0,03 \pm 0,011$  [-] geringeren Reibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  ausweist. Da alle gemessenen Reibungswerte des GripTesters MK2 niedriger waren als die Werte des Modells MK1, muss die von KLUGER-EIGL [2009] erstellte Umrechnungsfunktion zwischen RoadSTAR und GripTester MK1 entsprechend abgeändert werden. Die Umrechnungsfunktion für die Reibungsbeiwerte GripTester MK2 60 km/h ( $\mu_{GT,MK2,60}$ ) und RoadSTAR 60 km/h ( $\mu_{RS}$ ) stellt sich nun folgendermaßen dar:

$$\mu_{RS} = \mu_{GT,MK2,60} + 0,21$$

Die Funktion gilt für einen Bereich von  $0,20 \leq \mu_{GT,MK2,60} \leq 0,80$  und für die Deckschichtgruppen SMA, AB, OBH, Beton und alter Waschbeton. Die Umrechnungsfunktion ist vorrangig für die Transformierung von Reibungsbeiwerten, welche mit dem GripTester bei einer Messgeschwindigkeit von 60 km/h ermittelt wurden, anzuwenden [KLUGER-EIGEL, 2009].

## **6.4 Ausblick**

Der GripTester stellt in der Entwicklungsstufe MK2 ein sehr ausgereiftes Gerät dar. Messungen, sowohl auf dem hochrangigen als auch auf dem untergeordneten Straßennetz sowie bei beengten Verhältnissen, sind einfach und effizient durchführbar. Verbesserungspotential findet sich aber in den vorhandenen Softwareprogrammen, da beide einige wichtige Funktionen wie Vergleichsmöglichkeiten der Messergebnisse

(Roadbase) oder die Steuerung der Bewässerungseinheit (Roadmanager) nicht beinhalten. Ein Softwarepaket, das sowohl die Bewässerungseinheit steuert, als auch einen schnellen Vergleich der Messergebnisse gemäß RVS 11.06.71 [FSV, 2009] ermöglicht, wäre wünschenswert.

Aufgrund der großen Unterschiede bei den Ergebnissen im Schiebetrieb zwischen den beiden Modellen MK1 und MK2 konnte kein repräsentativer Differenzbetrag des Griffigkeitswertes zwischen den beiden GripTestern angegeben werden. Daher sind in diesem Bereich weitere Untersuchungen nötig.

Auch eine weitere detaillierte Untersuchung des Differenzbetrags im Zugbetrieb für alle möglichen Oberflächentypen ist notwendig und sollte in nächster Zukunft durchgeführt werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Bachmann T. [1998]:** Wechselwirkung im Prozess der Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12: Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik, Nr. 360, VDI-Verlag, Darmstadt.
- Bachmann T. [1999]:** Wechselwirkungen im Reibungsprozess zwischen Reifen und Fahrbahn. Reifen - Fahrwerk - Fahrbahn. VDI Berichte 1494, VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik, Düsseldorf.
- Bühlmann F. [1985]:** Einfluss der Witterung auf die Griffigkeit von Fahrbahnen. ISETH-Mitteilungen, Heft 53, Zürich.
- Dames J. [1971]:** Wasserfilmdicke und Reibungsbeiwerte. Straßenbautagung Berlin 1970, Kirschbaum Verlag; Bonn – Bad Godesberg.
- DIN: ISO 5725-2 [2002]:** Genauigkeit von Messverfahren und Messergebnissen – Teil 2: Grundlegende Methode für die Ermittlung der Wiederhol- und Vergleichspräzision eines vereinheitlichten Messverfahrens. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin.
- FGSV –** Forschungsgemeinschaft für Straßen-und Verkehrswesen e.V., Köln
- TP Griff-StB (SCRIM) [2001]:** Technische Prüfvorschriften im Straßenbau, Teil: Messverfahren SCRIM, Köln.
- MB Griff [2003]:** Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, FGSV-Nr. 401, Köln.
- Findlay Irvine, Ltd. [1996]:** Maintenance Manual – GripTester, Midlothian.
- Findlay Irvine, Ltd. [2008]:** GripTester MK2 D-Type Maintenance Manual, Issue 4, Midlothian.
- Fuchs M. [2002]:** Griffigkeitsmessungen in Österreich. Tagungsabend zum Kolloquium Fahrbahngriffigkeit, Mitteilungen des Institutes für Straßenbau und Straßenerhaltung – Heft 13, TU Wien.
- FSV: RVS –** Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau – herausgegeben von der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Wien
- RVS 08.16.01 [2008]:** Anforderungen an Asphalttschichte, 1.April 2008.
- RVS 08.17.02 [2007]:** Betondecken – Deckenherstellung, 1.März 2007.
- RVS 11.06.65 [2002]:** Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR.
- RVS 11.06.71 [2009]:** Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester, 1.Juni 2009.
- Huschek S. u. Merzoug P.D. [1996]:** Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffigkeit. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik – Heft 735, Bonn.
- Janisch G. [2002]:** Untersuchungen zur Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse des GripTesters. Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien.

- Kalender U. [1987]:** Wechselwirkung Reifen/Fahrbahnoberfläche auf den Kraftschluß bei Nässe und hohen Fahrgeschwindigkeiten bei Verwendung neuester Reifentypen – Teil 2, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik - Heft 498, Bonn.
- Kluger-Eigl W. [2009]:** Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für das Griffigkeitsmesssystem GripTester in Österreich. Dissertation am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien.
- Kreyszig E. [1985]:** Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Zweiter unveränderter Nachdruck der 7. Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen.
- Lerch E. [2007]:** Elektrische Messtechnik, 4. Auflage, Verlag Springer, Heidelberg.
- Lindner A. [1964]:** Statistische Methoden. 4. Auflage, Mathematische Reihe, Band 3, Birkhäuserverlag, Basel.
- Maurer P. [2007]:** Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare PKW-Bremsverzögerungen. Schriftenreihe Straßenforschung – Heft 564, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- Mechatronic [2004]:** Roadmanager – Modul Grip-Erfassung Benutzerhandbuch, Darmstadt.
- Mechatronic [2009]:** GripTester roads, <http://www.mechatronic-traffic.de/de/O3/content.html>.
- o.A. [06.10.2009]:** Reibung, <http://de.wikipedia.org/wiki/Reibung>.
- o.A. [17.11.2009]:** <http://www.bing.com/maps>.
- o.A. [02.01.2010]:** <http://maps.google.at/maps>.
- Pfeiler A. [2004]:** Erhöhung der Griffigkeit von Asphaltstrassen. Der Einfluss der Polierresistenz feiner Gesteinskörnungen auf das Griffigkeitsverhalten von Asphaltdeckschichten. Dissertation am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien; Wien.
- Pilles J. [2002]:** Vergleichende Untersuchungen zur Erfassung der Straßengriffigkeit mit dem GripTester. Untersuchungen zur Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse des GripTesters. Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Wien.
- Reimpell J. [1971]:** Fahrwerktechnik 1: Kräfte am Gesamtfahrwerk und Reifen. Kinematik und Statik der Radaufhängungen, Konstruktionshinweise, 2. Überarbeitete Auflage, Vogel Verlag; Würzburg.
- RVS:** siehe FSV
- Schulze K. H. [1994]:** Griffigkeit und Rauheit. Handbuch des Straßenbaus , Band 1: Grundlagen und Entwurf, Springer-Verlag; Berlin-Heidelberg-New York.
- Wehner B. [1979]:** Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe. Intern. Kolloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe in Berlin 1968, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin/München/Düsseldorf.
- Zipkes E. [1984]:** Griffigkeit – Bremsspur – Kraftübertragung. ISETH Mitteilungen – Heft 56, Zürich.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1: Reibung [wikipedia.org, 2009] .....	6
Abbildung 2-2: Einflussfaktoren auf die Fahrbahngriffigkeit [BACHMANN 1998], erweitert nach [PFEILER, 2004] .....	8
Abbildung 2-3: Auswirkung der Struktur der Oberfläche auf den Reibungsbeiwert [ZIPKES ,1984] .....	9
Abbildung 2-4: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Schlupf bei unterschiedlichen Zwischenmedien [REIMPELL, 1971] .....	10
Abbildung 2-5: Variationsbreite und Häufigkeitsverteilung der Gleitreibungsbeiwerte auf trockener, nasser und winterglatter Fahrbahn am blockierten Messrad [DAMES, 1971] .....	11
Abbildung 3-1: GripTester MK2 [Findlay Irvine, Ltd., 2009] .....	19
Abbildung 3-2: Vergleich der Modelle MK1/MK2 [KLUGER-EIGL, 2009] .....	20
Abbildung 3-3: Messsystem GripTester MK2 .....	21
Abbildung 3-4: GripTester im Schiebebetrieb .....	21
Abbildung 3-5: micro GripTester [Findlay Irvine, Ltd., 2009] .....	22
Abbildung 3-6: Bewässerungssystem, Steuerung und Anschlüsse .....	24
Abbildung 3-7: Anordnung der Wassertanks nach [PILLES, 2002] und [JANISCH, 2002] .....	24
Abbildung 3-8: Aufzeichnung der Datenerfassungssoftware „Roadmanager“ [MECHATRONIC, 2004] .....	26
Abbildung 3-9: Wheelift (entlastetes Messrad).....	27
Abbildung 3-10: Unterseite des GripTesters MK2 .....	28
Abbildung 3-11: Messquerschnitt mit DMS auf der Messradachse MK1 [Findlay Irvine, Ltd.] .....	28
Abbildung 3-12: Schema des statischen Systems der Messachse MK2 .....	30
Abbildung 3-13: Ermittlung des Längsreibungsbeiwertes $\mu_{GT}$ [KLUGER-EIGL, 2009] .....	30
Abbildung 3-14: Kalibrierzertifikat GT135, August 2006.....	33
Abbildung 4-1: Ablauf der Messungen im Schiebebetrieb .....	35
Abbildung 4-2: Ablauf der Messungen im Zugbetrieb .....	36
Abbildung 4-3: Messstrecken T1 bis T4 .....	38
Abbildung 4-4: Messstrecken T5 bis T7 .....	39
Abbildung 4-5: Messstrecke Hausleiten .....	40
Abbildung 4-6: Messstrecken Hausleiten/NÖ verändert nach [bing.com/maps].....	41

Abbildung 4-7: Schematische Darstellung der linearen Regression [KREYSZIG, 1985].....	49
Abbildung 5-1: Vergleichsmessungen im Schiebetrieb bei veränderten Randbedingungen.....	54
Abbildung 5-2: Vergleich Bogenmessung im Schiebetrieb MK1/MK2, $R_{\text{Bogen}} = 18 \text{ m}$ , $l = 50 \text{ m}$ .....	55
Abbildung 5-3: Alle Kreise mit den tangierenden 6-m-Abschnitten.....	57
Abbildung 5-4: Histogramm der Kreisbogen- und Tangentenabschnitte für 3-m-Abschnitte, Schiebetrieb, $R = 20 \text{ m}$ .....	57
Abbildung 5-5: Schlechte Übereinstimmung der Messsysteme MK1/MK2 .....	59
Abbildung 5-6: Gute Übereinstimmung der Messsysteme MK1/MK2 .....	59
Abbildung 5-7: Lineare Regression der Differenzen MK1/MK2 im Schiebetrieb ( $n = 9$ , mittlere Messlänge pro Messung $50 \text{ m}$ ) .....	61
Abbildung 5-8: Lineare Regression [Findlay Irvine, Ltd.].....	63
Abbildung 5-9: Lineare Regression der Differenzen MK1/MK2 im Zugbetrieb.....	65

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Anforderungen an Asphaltdecken laut RVS 08.16.01 [FSV, 2007].....	16
Tabelle 2-2: Anforderungen an Betondecken laut RVS 08.17.02 [FSV, 2007] .....	16
Tabelle 3-1: Technische Daten erweitert nach [KLUGER-EIGL, 2009].....	23
Tabelle 3-2: Messgenauigkeit GripTester .....	34
Tabelle 3-3: Zulässige Abweichungen bei Kalibrierungsmessungen .....	34
Tabelle 3-4: Zulässige Abweichungen bei Referenzmessungen .....	34
Tabelle 4-1: Messstrecken im Schiebetrieb.....	42
Tabelle 4-2: Messstrecken im Zugbetrieb mit 60 km/h.....	44
Tabelle 4-3: Berechnung der Mittelwerte im Schiebetrieb .....	45
Tabelle 5-1: Wiederholbarkeit der Messungen im Schiebetrieb .....	52
Tabelle 5-2: Messungen bei veränderten Messbedingungen .....	53
Tabelle 5-3: Wiederholbarkeit im Kreis.....	56
Tabelle 5-4: Überblick über die Messdaten im Schiebetrieb .....	58
Tabelle 5-5: Streckenmittelwerte Schiebetrieb.....	60
Tabelle 5-6: Wiederholbarkeit der Messungen im Zugebetrieb .....	62
Tabelle 5-7: Streckenmittelwerte Zugbetrieb .....	64

# **ANHANG A: ARBEITSANWEISUNG GRIPTESTER MK 2**

## **A 1      Arbeitsanweisung**

.



<b>AA 612</b>	<b>Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester MK2</b>	Ausgabe 1
		Seite 1 von 48

## AA 612 – Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester MK2

### Inhalt

<b>1</b>	<b>Beschreibung</b> .....	<b>3</b>
1.1	Normative Grundlagen .....	3
1.2	Kurzbeschreibung .....	3
1.3	Messprinzip.....	4
1.4	Technische Daten GT MK2 .....	5
<b>2</b>	<b>Schiebebetrieb</b> .....	<b>6</b>
2.1	Teileliste .....	6
2.2	Überprüfen der FACTS.....	6
2.3	Vorbereiten des Messsystems .....	7
2.3.1	GripTester .....	7
2.3.2	Bewässerungssystem .....	8
2.4	Betrieb .....	8
2.4.1	GripTester .....	8
2.4.2	Bewässerungssystem .....	8
2.4.3	Software Roadmanager .....	9
2.5	Standardmessung .....	12
2.5.1	Messbedingungen / Messeinstellungen .....	13
<b>3</b>	<b>Zugbetrieb</b> .....	<b>14</b>
3.1	Teileliste .....	14
3.2	Überprüfen der FACTS.....	14
3.3	Vorbereiten des Messsystems .....	14
3.3.1	Pkw.....	14
3.3.2	Steckverbindungen .....	15
3.3.3	GripTester .....	17
3.3.4	Bewässerungssystem .....	18
3.3.5	Wheellift .....	19
3.4	Betrieb .....	21
3.4.1	GripTester .....	21
3.4.2	Bewässerungssystem .....	21
3.4.3	Wheellift .....	23
3.4.4	Software .....	24
3.4.5	Messvorbereitung .....	27
3.4.6	Standardmessung .....	28
3.5	Transport .....	29

SB	AGL	GMB	LL	Ausgabe	1
				Datum	03.01.2010



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
  
VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

Institut für Verkehrswissenschaften  
Labor des Forschungsbereichs Straßenwesen  
Gußhausstraße 28 / E230 / 3  
1040 WIEN  
Tel.: +43-1-58801-23301  
Fax: +43-1-58801-23399  
DVR: 0005886

<b>AA 612</b>	<b>Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester MK2</b>	Ausgabe 1
		Seite 2 von 48

<b>4</b>	<b>Auswertung der Messergebnisse .....</b>	<b>30</b>
4.1	MS EXCEL.....	30
<b>5</b>	<b>Wartung .....</b>	<b>33</b>
5.1	Messkoffer.....	33
5.2	Messbuch.....	34
5.3	Laden der Batterien .....	35
5.4	Test der grundlegenden Funktionen (=FACTS).....	36
5.4.1	Free (Frei) / Alligment (Allgemein) .....	36
5.4.2	Chain (Kette) .....	36
5.4.3	Tyres (Rad).....	36
5.4.4	Suspension.....	38
5.5	Kalibrierung.....	38
5.5.1	Vorbereitung.....	39
5.5.2	Einstellen von LOAD Zero.....	39
5.5.3	Einstellen von LOAD Gain .....	40
5.5.4	Einstellen von DRAG Zero .....	42
5.5.5	Einstellen von DRAG Gain.....	43
5.6	Schnellkalibrierung.....	44
5.7	Distanzkalibrierung .....	44
<b>6</b>	<b>Mitgeltende Unterlagen.....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>Verteiler.....</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>Beilagen .....</b>	<b>47</b>



AA 612

## Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester MK2

Ausgabe 1

Seite 3 von 48

### 1 BESCHREIBUNG

#### 1.1 Normative Grundlagen

**RVS 11.06.71:** Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester, Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, 1.Juni.2009

**TP Griff (LFC):** Arbeitsanleitung für Griffigkeitsmessungen mit dem LFC - Messverfahren (GripTester), Ausgabe 411, Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln, 2007

#### 1.2 Kurzbeschreibung

Der GripTester [GT] ist ein kompakter Dreiradanhänger, der zur Ermittlung des Reibungsbeiwertes  $\mu$  von Fahrbahnoberflächen, Flugbetriebsflächen oder sonstigen Verkehrsoberflächen dient (siehe Abbildung 1-1).



**Abbildung 1-1: GripTester 440 [MK2]**

Durch die kleine Bauweise und der daraus resultierenden Transportmöglichkeit in einem Lieferwagen eignet er sich auch für Messungen auch auf kurzen Straßenabschnitten. Sowohl Messungen auf der Geraden als auch in Kurven (z.B. Kreisverkehr) sind möglich. Das Griffigkeitsmessgerät kann in zwei Betriebsmodi eingesetzt werden:

- Schiebetrieb
- Zugbetrieb

Im Schiebetrieb wird der GT vom Bedienungspersonal bei Schrittgeschwindigkeit geschoben. Dadurch kann das Messgerät in Fußgängerzonen und auf anderen engen Messstellen eingesetzt werden.

Im Zugbetrieb wird der GT von einem Zugfahrzeug bei 40 bzw. 60 km/h (Standardmessgeschwindigkeit) gezogen. Die maximale Messlänge wird durch das Fassungsvermögen des Wassertanks begrenzt.

### 1.3 Messprinzip

Während der Messfahrt werden die Horizontal- ( $F_h$ ) und die Vertikalkräfte (Radauflast=  $F_v$ ), die auf das Messrad wirken, gemessen und der Gleitreibungsbeiwert  $\mu_{GT}$  ermittelt. Dieser ergibt sich aus dem Quotienten der Horizontalkraft und der Vertikalkraft (siehe Abbildung 1-2).

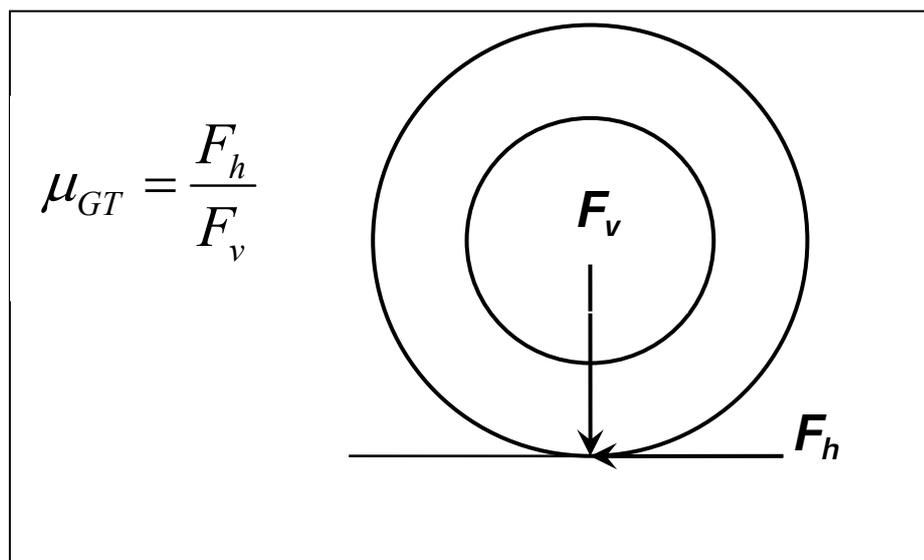
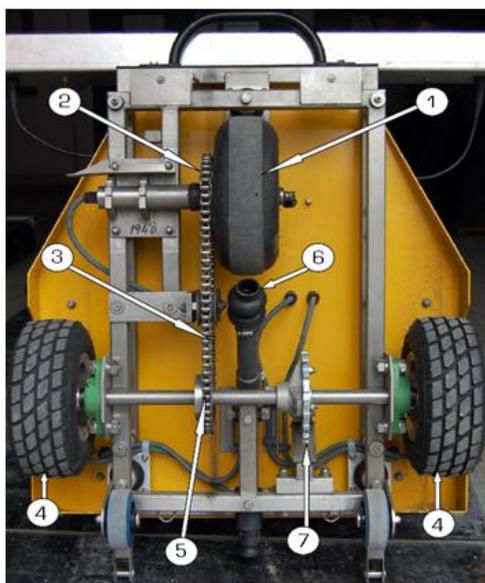


Abbildung 1-2: Messprinzip

Während einer Messtfahrt wird lautend die im Kontaktbereich Straßenoberfläche/Messrad wirkende Horizontalkraft ( $F_h$ ) und die Vertikalkraft ( $F_v$ ), die auf das Messrad wirken erfasst und an einen handelsüblichen Laptop mit MS Windows und einer entsprechenden Erfassungssoftware übermittelt.

#### 1.4 Technische Daten GT MK2

Abmessungen:	$l = 1010, b = 790, h = 510 \text{ mm}$
Messreifen:	$\varnothing 10 \text{ Zoll (25,4 cm)}$ , profiliert, Dunlop 10x3.60-5, Lauffläche KT3-W, Mischung K8-CIK
Antriebsräder:	$\varnothing 10 \text{ Zoll (25,4 cm)}$ , profillos, 10x4.5-5 Gummimischung nach ASTM-Standard E1844-96, Shore-A Härte $58 \pm 2$ bei $23 \pm 2 \text{ °C}$ nach DIN 53505, Reifenkontrollbohrungstiefe ca. 5 mm.
Gewicht:	100 kg
Messschlupf:	konstanter Schlupf von 15 %
Messgeschwindigkeit:	bis ca. 80 km/h (Zulassung)
Mittelungslänge:	1 bis x Meter
	<i>Die Mittelungslänge ist am Messgerät nicht einstellbar, sondern wird je nach Betriebsart automatisch in der Software gewählt.</i>
Stromversorgung:	12 Volt Batterien

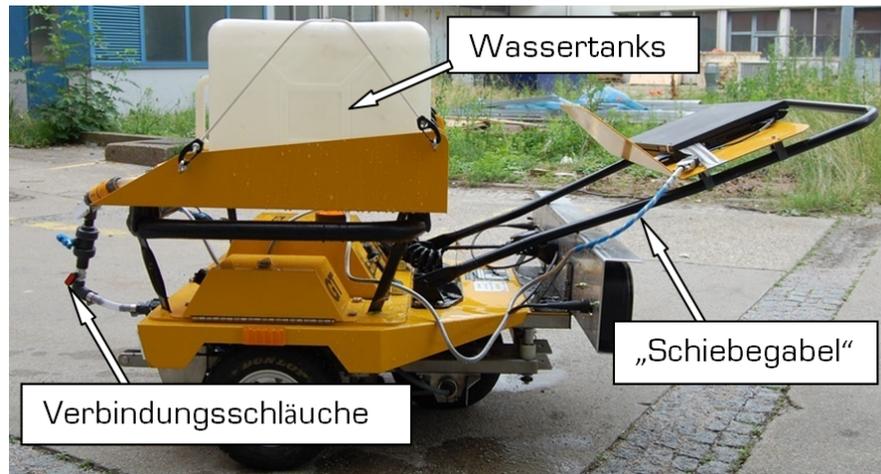


In Abbildung 1-3 ist der GT von der unten dargestellt. Der GT besitzt einen massiven Stahlrahmen, an den alle anderen Anbauteile verschraubt werden.

- 1 Messreifen
- 2 Großen Zahnrad ( $Z_{anz}=32$ )
- 3 Kette
- 4 Laufräder
- 5 Kleines Zahnrad ( $Z_{anz}=27$ )
- 6 Mündung der Wasserzufuhr
- 7 Impulsgeber

Abbildung 1-3: Unterseite des GripTesters MK2

## 2 SCHIEBEBETRIEB



2-1: GT im Schiebetrieb

### 2.1 Teileliste

- GripTester 440
- Messkoffer
- 2 Wassertanks
- Verbindungsschläuche
- Gabel zum Schieben
- Kurzes blaues Verbindungskabel zwischen GT und Laptop
- Laptop „GripTester“ inkl. Dongel
- Software Roadmanager/Mechatronic
- Gießkanne oder Wasserschlauch zum Befüllen der Wassertanks
- Thermometer
- Markierungsspray
- Gewebepband

### 2.2 Überprüfen der FACTS

Bevor der GT zusammengebaut wird, ist eine Überprüfung der „**FACTS**“ notwendig. Dazu siehe Kapitel 5.4.

## 2.3 Vorbereiten des Messsystems

### 2.3.1 GripTester

Als erstes ist der vorgesehene Messreifen zu montieren, da dieser bei längeren Messpausen im Kühlschrank gelagert wird. Reifenwechsel siehe Kapitel 5.4.3. Am GT wird nun die Gabel (siehe Abbildung 2-2) zum Schieben angebracht. Auf der Ablage wird der Laptop mit Klebeband fixiert. Mit dem kurzen Verbindungskabel (siehe Abbildung 2-3) wird der GT mit dem Laptop verbunden.



Abbildung 2-2: Gabelbefestigung



Abbildung 2-3: kurzes blaues Verbindungskabel

### 2.3.2 Bewässerungssystem

Der Anschluss des Bewässerungssystems erfolgt mittels Kupplungen (siehe Abbildung 2-4). Der blaue Hebel dient zum Aus/Einschalten des Wasserflusses. Der optimale Wasserdurchfluss lt. Norm für 0,5 mm Wasserfilmdicke (2,5 l/min) ist voreingestellt. Dieser kann aber mit dem kleinen roten Hebel für andere Wasserfilmdicken angepasst werden. Da man nicht erkennen kann, ob sich der Hebel in der richtigen Position für eine Standardmessung befindet, muss an einem Messtag, vor der ersten Messung, eine Ausflussmessung durchgeführt werden.



Abbildung 2-4: Schlauchverbindungen

## 2.4 Betrieb

### 2.4.1 GripTester

- GT einschalten
- Laptop einschalten und Software Roadmanager/Mechatronik starten.

### 2.4.2 Bewässerungssystem

Das Bewässerungssystem wird durch Umlegen des blauen Hebels ein und ausgeschaltet.

## 2.4.3 Software Roadmanager

### 2.4.3.1 Starten des Moduls Grip

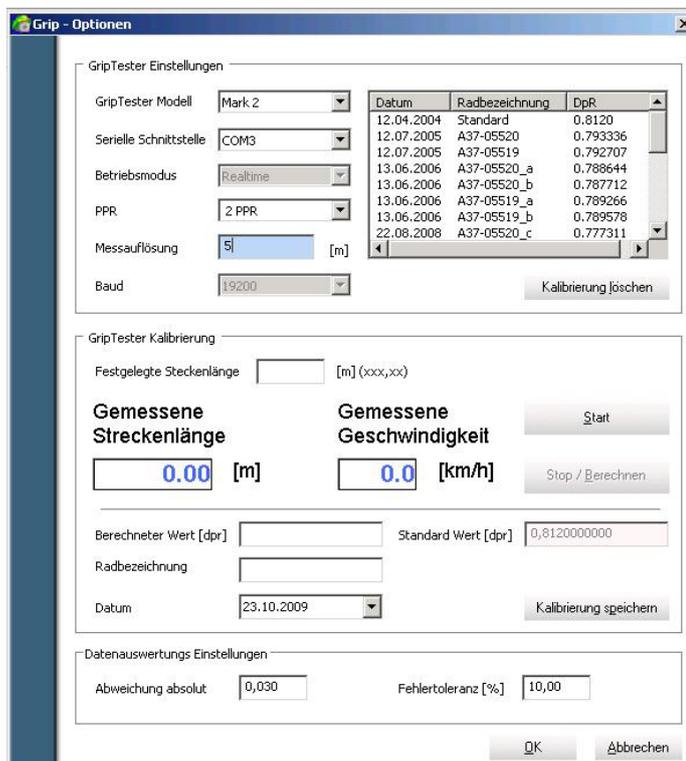
Sie können das Modul Grip entweder über den Menüpunkt „RoadManager/Modul Grip“ (siehe Abbildung 2-5) oder das Symbol Grip  starten. Dadurch öffnet sich die Symbolleiste für „Grip“ und gleichzeitig auch die Karte für dieses Modul. Zusätzlich erscheint in der Menüleiste ein Menüpunkt „Grip“, in dem alle modulbezogenen Funktionen aufgeführt sind.



Abbildung 2-5: Funktionen Menüpunkt Grip

### 2.4.3.2 Allgemeine Einstellungen

Hier müssen Sie die relevanten Daten für Ihre Messung eingeben (siehe Abbildung 2-6).



**GripTester Einstellungen**

Datum	Radbezeichnung	DpR
12.04.2004	Standard	0.8120
12.07.2005	A37-05520	0.793336
12.07.2005	A37-05519	0.792707
13.06.2006	A37-05520_a	0.788644
13.06.2006	A37-05520_b	0.787712
13.06.2006	A37-05519_a	0.789266
13.06.2006	A37-05519_b	0.789578
22.08.2008	A37-05520_c	0.777311

**GripTester Kalibrierung**

Festgelegte Streckenlänge: [ ] [m] (xxx,xx)

Gemessene Streckenlänge: **0.00** [m]

Gemessene Geschwindigkeit: **0.0** [km/h]

Berechneter Wert [dpr]: [ ] Standard Wert [dpr]: 0,812000000

Radbezeichnung: [ ] Datum: 23.10.2009

**Datenauswertungs Einstellungen**

Abweichung absolut: 0,030 Fehlertoleranz [%]: 10,00

Abbildung 2-6: Optionendialog



AA 612

**Griffigkeitsmessungen mit dem  
GripTester MK2**

Ausgabe 1

Seite 10 von 48

- GripTester Modell  
Hier kann zwischen Mark1 und Mark2 gewählt werden. (Standard Mark 2 beim GT440 ).
- Serielle Schnittstelle  
Hier wird der Ausgang der seriellen Schnittstelle definiert. Die Software erkennt für gewöhnlich automatisch den Ausgang. Falls nicht, muss der Port „COM3“ eingestellt werden
- Betriebsmodus  
Für Messungen mit dem GripTester wird hier immer „Realtime“ eingestellt.
- PPR  
Pulses Per Rotation (Impulse pro Umdrehung)  
Für den Schiebetrieb sind 20 PPR einzustellen.
- Messauflösung  
Hier kann eine beliebige Messauflösung eingestellt werden > 1 m. Im Schiebetrieb sind standardmäßig 1-m-Werte zu verwenden.
- Baud  
Für gewöhnlich wird hier der Wert 19200 eingestellt. Dieser Wert beschreibt die Datenübertragungsrate des GripTesters. 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.

#### **2.4.3.3 Datenerfassung**

Die Datenerfassung erfolgt in vier Schritten:

- 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.
- 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 durch Drücken der „Space“ Taste geschehen.



#### 2.4.3.4 Weitere Einstellmöglichkeiten

Um den Betrieb möglichst einfach zu gestalten und schnell Messergebnisse vergleichen zu können, gibt es noch andere Einstellmöglichkeiten. All diese Einstellungen wählen Sie über den Messbildschirm (siehe Abbildung 2-7) an.

- 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.
- Über die Button „Datei hinzufügen“ bzw. „Datei entfernen“ lassen sich bereits erfasste Griffigkeitsdateien zusätzlich im Diagramm mit abbilden bzw. wieder entfernen. Zum Entfernen markiert man die gewünschte Datei in der Tabelle unten links oder die entsprechende Kurve im Diagramm. Diese Funktion ermöglicht einen direkten Datenvergleich während der Fahrt. So kann man sofort sehen, ob die Fahrten zueinander passen und mögliche Fehler ausschließen. Die Datei „Aktuell“ beschreibt die Aktuelle Messdatei. Sie darf unter keinen Umständen gelöscht werden!
- 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 Mauszeiger in ein Fadenkreuz verwandeln. Dadurch lassen sich Streckenabschnitte besser zuordnen. Die Pfeile „ $\alpha$ “ und „ $\beta$ “ ermöglichen das Verschieben der jeweils markierten Datenreihe um den angezeigten Wert. Der Button „Autoscroll“ bewirkt, dass das Diagramm während der Messfahrt automatisch weiterbewegt wird, so dass man immer die aktuellen Messdaten sehen kann. Hat man eine Datenreihe markiert, kann man sich für diese die einzelnen Messwerte über den Button „Werte“ anzeigen lassen. Nochmaliges klicken des Buttons entfernt die Werte wieder.

Wurden mehrere Datenreihen in das Diagramm eingefügt, lassen sich jeweils immer 2 Reihen miteinander vergleichen. Dazu markiert man die zwei Reihen durch anklicken der Messkurve mit der rechten Maustaste. In der Tabelle unten links erhalten diese Datenreihen nun die Werte „1“ und „2“. Klickt man jetzt auf „Delta bilden“, wird die Differenz der 2 Datenreihen gebildet. Dies kann unter Umständen etwas Zeit – je nach Anzahl der Messwerte – in Anspruch nehmen. 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.

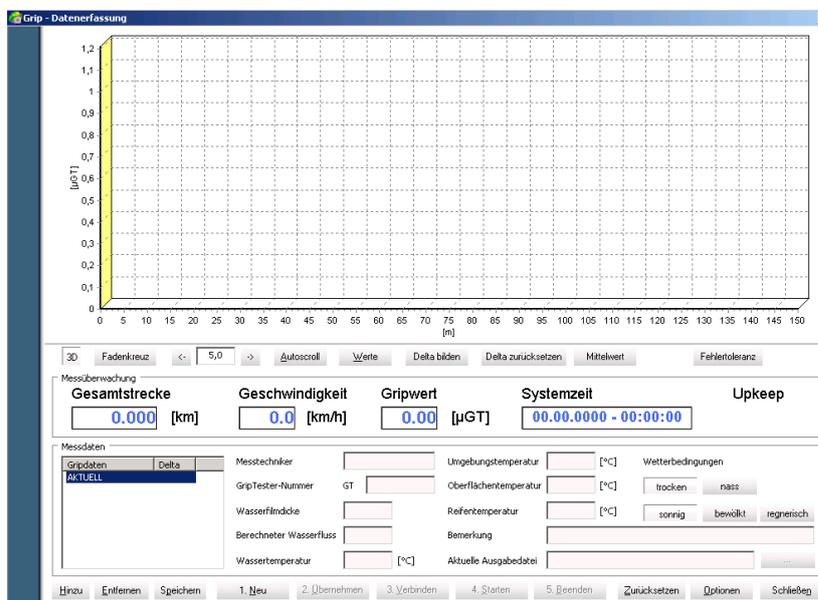


Abbildung 2-7: Oberfläche der Software Roadmanager

## 2.5 Standardmessung

Grundsätzliche Vorgehensweise bei einer Messung nach RVS 11.06.71:

- Beginn/Ende der Messtrecke mit Markierungsspray – wenn möglich – festlegen
- Säubern der Fahrbahn von grobem Schmutz
- Messbuch ausfüllen (siehe Kapitel 5.2)
- Aufbau des GT und einschalten des Laptops
- Starten des Moduls „Grip“
- Eingeben aller relevanten Daten (siehe 2.4.3.2)
- Verbinden mit dem GT (ab jetzt werden Daten übertragen)
- Den GT ca. 25 m vom Start entfernt aufstellen (Vorlaufstrecke)
- Wasser aufdrehen
- Anfahren zu Schieben (am Laptop die Geschwindigkeit ablesen und ggf. anpassen)
- Beim Erreichen des markierten Startes mit der Messung beginnen
- Bei Wiederholungsmessungen mit dem GT ist es sehr wichtig, dass bei mehreren Messfahrten auf gleicher Strecke die Messspur so genau wie möglich eingehalten wird, da die Griffigkeitsverhältnisse über den Fahrbahnquerschnitt sehr stark schwanken können (Spurrinnen etc.)
- Programmstopp der Messung beim markierten Ende
- Anhalten des GT ca. 10 m nach dem markierten Ende
- Wasser abdrehen
- Restwasser überprüfen und bei Bedarf nachtanken
- Zum Ausgangspunkt zurückkehren



AA 612

**Griffigkeitsmessungen mit dem  
GripTester MK2**

Ausgabe 1

Seite 13 von 48

Vorlaufstrecke      Start der Messung                                      Ende der Messung      Stillstand



Es sind mindestens 2 Fahrten (1. Messung, 2. Messung) durchzuführen. Die Erfahrung zeigt, dass die 1. Messung meist abweichende Ergebnisse zu den darauf folgenden Messungen liefert, weswegen 3 Fahrten empfohlen werden.

### 2.5.1 Messbedingungen / Messeinstellungen

- Messgeschwindigkeit      5 km/h
- Wasserfilmdicke      0,5 mm, entspricht 2,5 l/min bei 5 km/h  
(Durchfluss dafür ist fix voreingestellt)
- Aufzeichnungsintervall      1 m
- Fahrbahn      Trocken
- Temperatur      > 5°C



AA 612

**Griffigkeitsmessungen mit dem  
GripTester MK2**

Ausgabe 1

Seite 14 von 48

### 3 ZUGBETRIEB

#### 3.1 Teileliste

- Messfahrzeug inkl. spezieller Kupplung
- GripTester 440
- Messkoffer inkl. aller Verbindungskabel
- 600 L Wassertank
- 2x Spanngurte für den Wassertank
- Spanngurt zur Transportsicherung
- Verbindungschläuche
- Wasserpumpe
- Zuggabel inkl. Wheelift
- Wheelift Bedieneinheit (befindet sich im Messkoffer)
- Laptop „GripTester“ inkl. Dongel
- Software Roadmanager/Mechatronic
- Software Roadbase/Findlay Irvine
- Drehlicht
- Warnwesten
- Leitkegel
- Thermometer
- Markierungsspray
- Wasserschlauch Typ „C“ inkl. Hydrantenschlüssel
- Gewebepband

#### 3.2 Überprüfen der FACTS

Bevor der GT zusammengebaut wird, hat eine Überprüfung der „**FACTS**“ stattzufinden. Dazu siehe Kapitel 5.4.

#### 3.3 Vorbereiten des Messsystems

##### 3.3.1 Pkw

Das Messfahrzeug muss mit einer speziellen Kupplung (siehe Abbildung 3-1: Kupplung) ausgestattet sein, deren Abstand zwischen 32 cm und 50 cm zur Straßenoberfläche betragen muss. Diese darf nur während der Messungen angebracht sein und muss für den normalen Verkehr abgenommen werden.

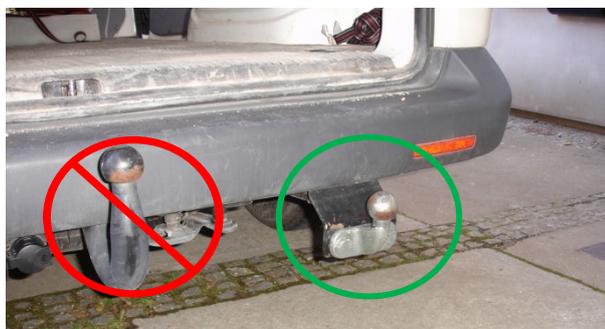
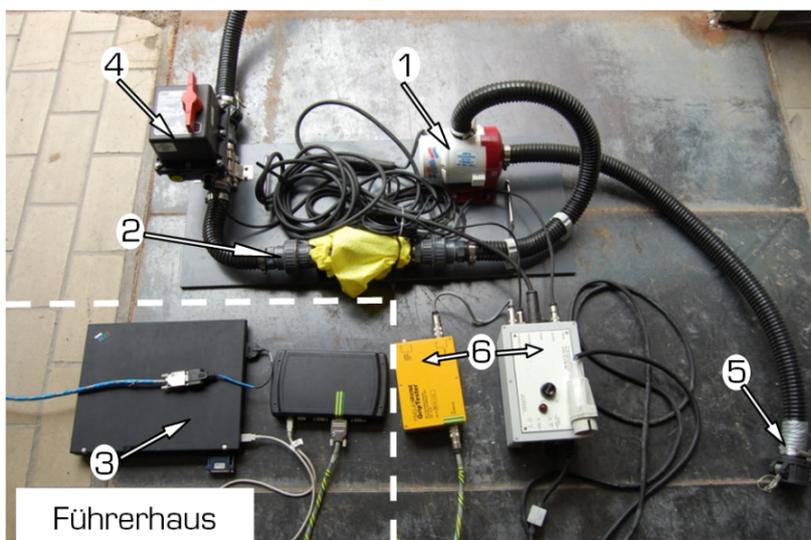


Abbildung 3-1: Kupplung

### 3.3.2 Steckverbindungen

Die richtige Anordnung der Steckverbindungen kann Abbildung 3-2 entnommen werden. Prinzipiell haben alle Kabel einen eigenen Stecker, sodass Verwechslungen ausgeschlossen sind. Der Laptop, die USB Box und die Steuereinheit für den Wheelift befinden sich im Führerhaus des Zugfahrzeugs. Alles andere befindet sich im Kofferraum. Die Kabel, die vom Führerhaus in den Kofferraum führen, werden durch ein Loch in der Trennwand gefädelt. Alle Kabel befinden sich entweder im Messkoffer oder sind direkt an den Umschaltboxen oder der Wasserpumpe angebracht. Zur Stromversorgung gibt es im Führerhaus vier 12-Volt Anschlüsse („Zigarettenanzünder“) und für die Versorgung der Wasserpumpe gibt es im Kofferraum einen eigenen 12-Volt Anschluss (siehe Abbildung 3-4).



1. Pumpe
2. Durchflussmesser
3. Laptop
4. Wasseranschluss Tank
5. Wasseranschluss GT
6. Steuerungseinheiten

Abbildung 3-2: Steckverbindungen allgemein

Wichtig: Der Gelb/Grüne Anschluss muss immer am Steckplatz 2 (Gelb/Grün markiert) an der USB Box angebracht werden, sonst wird das Bewässerungssystem von der Software nicht erkannt.

In Abbildung 3-3 wird die richtige Anbindung der Geräte im Führerhaus dargestellt.

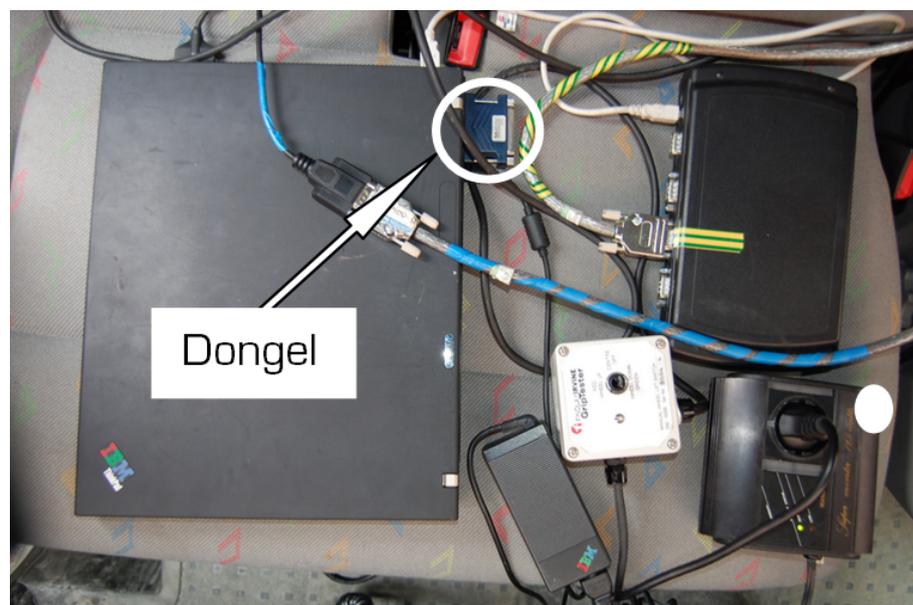


Abbildung 3-3: Steckverbindungen Führerhaus

Abbildung 3-4 zeigt den 12-Volt Anschluss samt der zugehörigen Schaltbox. Bei der Box ist darauf zu achten, dass sie eingeschaltet ist und daher die rote Lampe leuchtet.



Abbildung 3-4: 12-Volt Anschluss Kofferraum

### 3.3.3 GripTester

Als erstes ist der für die Messungen vorgesehene Messreifen zu montieren, da dieser bei längeren Messpausen im Kühlschrank gelagert werden muss. Dazu siehe Kapitel 5.4.3.

Am GripTester muss die Zuggabel mit montiertem Wheelift angebracht werden (siehe Abbildung 3-5). Die Montage des Wheelifts wird in Kapitel 3.3.5 beschrieben. Die Gabel wird mittels eines Sicherheitsstiftes gesichert (siehe Abbildung 3-6). Um den Stift freizugeben, muss in der Mitte gedrückt werden. Dann muss der GT am PKW angekuppelt werden. Die Sicherheitskette ist dabei über die Kupplung zu legen. Anschließend muss noch der 12-Polige Kupplungsstecker mittels des gewendelten Kabels am Zugfahrzeug angebracht werden. Danach ist die Funktion der Leuchtmittel (Bremsleuchten etc.) zu überprüfen.

Abschließend sind der Wasserschlauch und das blaue Verbindungskabel an zu stecken. Um ein Durchhängen der Kabel zu vermeiden, sind diese mittels Gewebeband zu fixieren. Dabei ist aber darauf zu achten, dass genügend Spielraum für Fahrbewegungen (z.B. Kurvenfahrt) bleibt, sonst droht ein möglicher Abriss der Kabel.

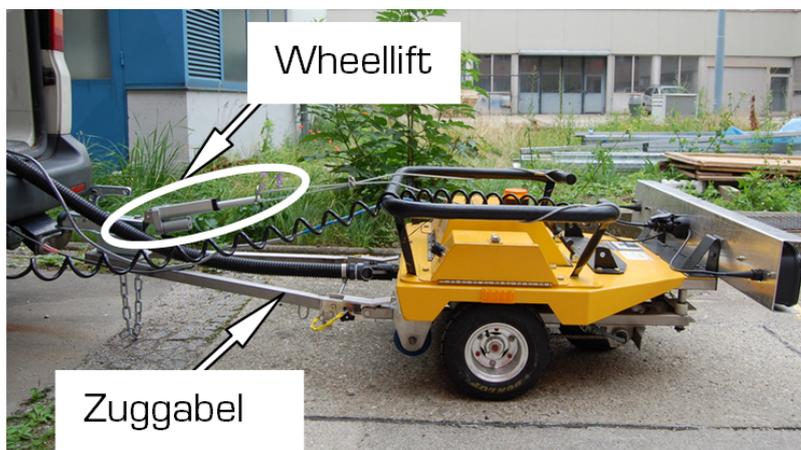


Abbildung 3-5: GT mit montierter Zuggabel und Wheelift

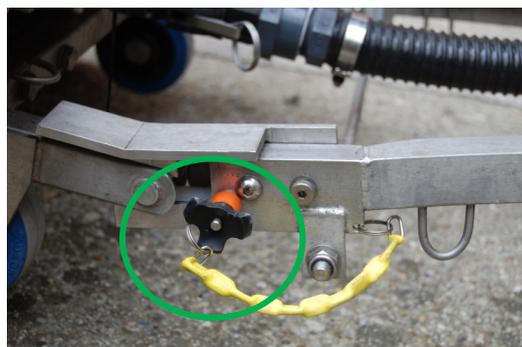


Abbildung 3-6: Sicherheitsstift

### 3.3.4 Bewässerungssystem

Der Tank wird an die Rückwand des Zugfahrzeugs aufgestellt (siehe Abbildung 3-7). Dann wird er mittels zweier Spanngurte am Boden fixiert. Dazu befinden sich vier Ösen im Boden des Fahrzeugs, die aus Sicherheitsgründen immer wie in Abbildung 3-7 eingehängt werden müssen.

Dann wird der Tank mit dem Schlauch, der von der Wasserpumpe kommt, verbunden und der rote Hebel des Tanks ist umzulegen um das Wasser Richtung Pumpe strömen zu lassen.

Auf der Oberseite des Tanks befindet sich ein schwarzer Deckel. Dieser kann abgenommen werden und dort kann dann das Wasser eingefüllt werden. Zu diesem Zweck befindet sich im PKW ein Hydrantenschlüssel und ein zum Anschluss an den Hydranten geeigneten Feuerwehrschauch.

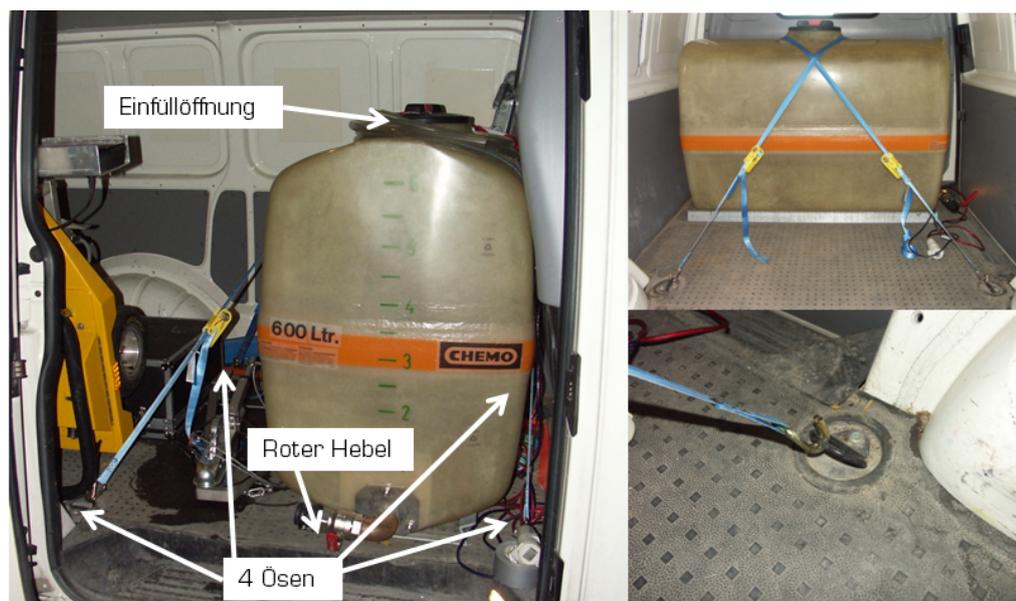


Abbildung 3-7: Wassertank



### 3.3.5 Wheellift



**Abbildung 3-8: Wheellift (entlastetes Rad)**

Der Wheellift dient dazu um das Messrad zu entlasten. Das wird immer dann nötig, wenn man ohne Wasserfilm fährt, um zum Beispiel zum Messbeginn zurückzukehren. Sonst wäre der Verschleiß des Messrades zu hoch.

Wichtig: Das Messrad darf nie ohne Wasserfilm betrieben werden. Dies würde zu extremen Verschleiß führen.

Der Wheelift ist fix mit der Zuggabel verschraubt, nur die zwei Stahlseile müssen mit dem GT verbunden werden. Die Seile müssen entsprechend Abbildung 3-9 angebracht werden. Dazu sind sie zuerst über den Rahmen, dann unter den Rahmen durch zu führen und anschließend mittels der Laschen einzuhängen. Die Zuggabel muss vorher mit dem GT verbunden sein.

Um die Seile anzubringen muss der Wheellift in der Stellung „Wheel down“ sein. Das bedeutet, dass der Kolben voll ausgefahren sein muss. Um den Wheellift zu bedienen gibt es eine eigene Schaltbox (siehe Abbildung 3-10). Diese befindet sich im Führerhaus und wird zur Stromversorgung an eine der vier Steckdosen (Zigarettenanzünder) angeschlossen. Das lange Steuerkabel wird durch das Loch in der Trennwand gefädelt und mit dem Kabel, das vom Wheellift kommt angeschlossen. Um ein Durchhängen des Kabels zu vermeiden, ist dieses mittels Gewebband zu fixieren. Dabei ist aber darauf zu achten, dass genügend Spielraum für die Fahrbewegungen bleibt, sonst droht ein möglicher Abriss des Kabels.



Abbildung 3-9: Montage der Seile



Abbildung 3-10: Steuereinheit Wheellift

Abschließend ist die Funktion des Wheellifts zu testen und dabei ist darauf zu achten, ob das Rad genug entlastet wird. Der Spalt zwischen Rad und Boden muss ca. 2 cm betragen. Es muss auch überprüft werden, ob die Bedienbox die richtigen Befehle ausführt. Als Beispiel, ob bei „Wheel down“, auch wirklich der Messreifen am Boden und der Kolben komplett ausgefahren ist.



AA 612

## Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester MK2

Ausgabe 1

Seite 21 von 48

### 3.4 Betrieb

#### 3.4.1 GripTester

- GT einschalten
- Weiße Steuerbox einschalten
- Laptop einschalten und Software Roadmanager/Mechatronik starten.

#### 3.4.2 Bewässerungssystem

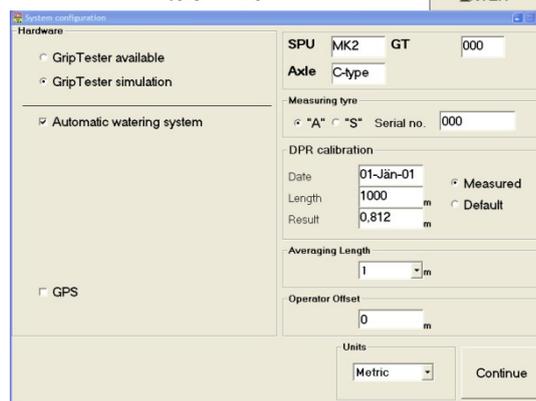
Das Bewässerungssystem wird mittels der Software Roadbase gesteuert. Hintergrund dazu ist, dass die Griffigkeitsmessungen weiterhin mittels der Software Roadmanager durchgeführt werden, die Steuerung des Wasserflusses aber mit der Software Roadbase erfolgt. Dazu müssen die beiden Softwarepakete parallel laufen. Um den richtigen Wasserfluß zusetellen muss man wie folgt vorgehen.

Zuerst muss die Software Roadbase gestartet werden. Die Fehlermeldungen kann mit Ok beendet werden.

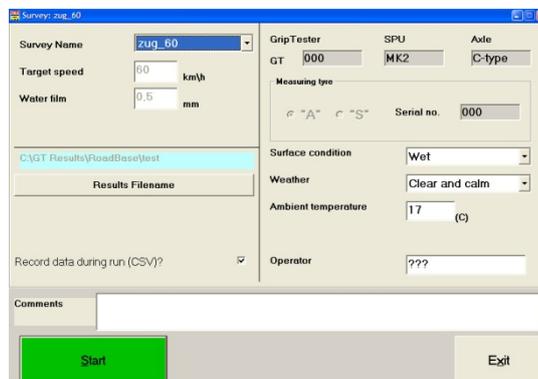
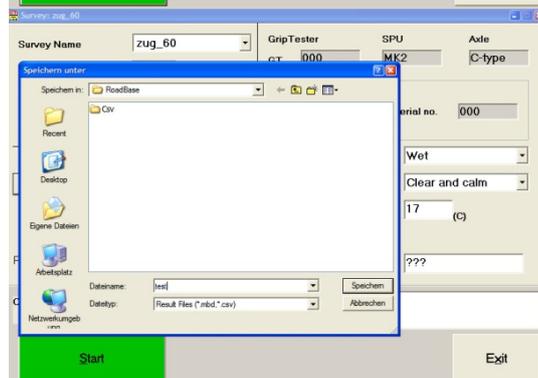
Im Startfenster muss nur *Enter* gedrückt werden.

Im zweiten Fenster muss das Häkchen bei *automatic watering system* gesetzt sein und *GripTester Simulation* ausgewählt werden. Alle anderen Einstellungen sind unerheblich. Anschließend wieder *Enter* drücken.

Im dritten Fenster auf *GripTester Survey* klicken.



Im Survey-Dialogfenster muss durch Klicken auf *Results Filename* eine Datei angelegt werden. Diese kann als Beispiel *test* benannt werden. Dann *Speichern* klicken und anschließend mit *Continue* weiter.

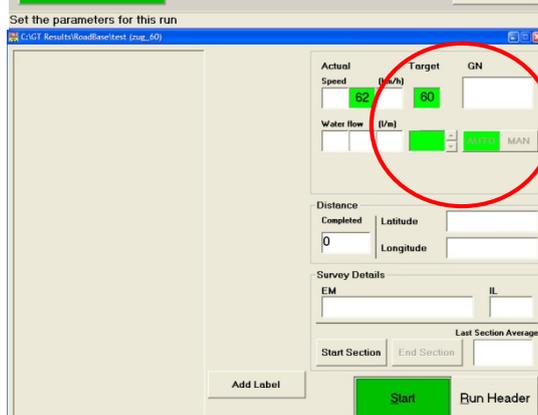
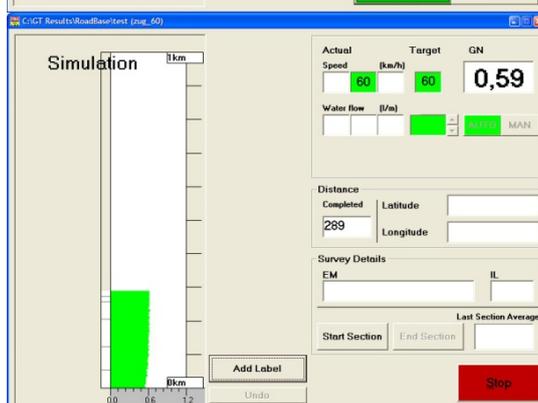



Es erscheint das eigentliche Steuerfenster. Auf *Start* klicken und dann auf *MAN* klicken. Jetzt kann manuell mit den Pfeilen (roter Kreis) der gewünschte Wasserdurchfluss in l/min eingestellt werden.

Wenn man also auf 0 stellt, wird kein Wasser gefördert und wenn man zum Beispiel 25 einstellt, dann werden 25 l/min gefördert.

Unter *Water flow* wird die aktuelle geförderte Menge angezeigt.

Wichtig: es dauert ca. 15 sec bis sich der richtige Wasserfluss eingestellt hat.



AA 612

**Griffigkeitsmessungen mit dem  
GripTester MK2**

Ausgabe 1

Seite 23 von 48

Die Durchflusswerte aus Tabelle 1 sind für die verschiedenen Anwendungsfälle zu verwenden.

**Tabelle 1: Durchflusskennwerte**

Wasserfilmdicke [mm]	Geschwindigkeit [km/h]	Durchflusswert [l/min]	Anwendung
0,5	40	16,7	Straße
0,5	60	25	Standard
0,5	80	33,3	Straße
1	40	33,3	Straße
1	60	50	Straße
1	80	66,7	Straße
1	65	54,2	Flughafen
1	90	75	Flughafen

### 3.4.3 Wheellift

Mittels der Schaltbox kann ausgewählt werden, ob das Messrad entlastet oder belastet wird. Es gibt drei Stellungen.

- *Wheel up* = Messrad entlastet (berührt den Boden nicht) (Grünes Licht)
- *Center* = neutrale Stellung
- *Wheel down* = Messrad belastet (Rotes Licht)

Um den Verschleiß des Messrades zu minimieren, darf das Messrad nur während den Messungen am Boden sein.

Wichtig: Der Vorgang des Be-/Entlastens dauert etwa 10 sec.

### 3.4.4 Software

#### 3.4.4.1 Starten des Moduls Grip

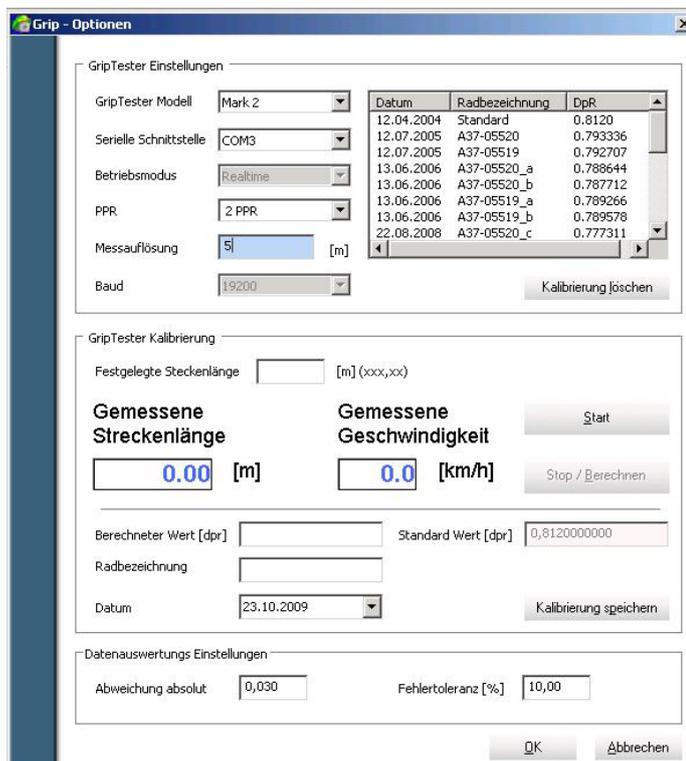
Sie können das Modul Grip entweder über den Menüpunkt „RoadManager/Modul Grip“ (siehe Abbildung 3-11) oder das Symbol Grip  starten. Dadurch öffnet sich die Symbolleiste für Grip und gleichzeitig auch die Karte für dieses Modul. Zusätzlich erscheint in der Menüleiste ein Menüpunkt „Grip“, in dem alle modulbezogenen Funktionen aufgeführt sind.



Abbildung 3-11: Funktionen Menüpunkt Grip

#### 3.4.4.2 Allgemeine Einstellungen

Hier müssen Sie die relevanten Daten für Ihre Messung eingeben (siehe Abbildung 3-12).



**Grip - Optionen**

GripTester Einstellungen

GripTester Modell:  Datum:  Radbezeichnung:  DpR:   
 Serielle Schnittstelle:  12.07.2005 A37-05520 0.793336  
 12.07.2005 A37-05519 0.792707  
 Betriebsmodus:  13.06.2006 A37-05520\_a 0.788644  
 13.06.2006 A37-05520\_b 0.787712  
 PPR:  13.06.2006 A37-05519\_a 0.789266  
 13.06.2006 A37-05519\_b 0.789578  
 22.08.2008 A37-05520\_c 0.777311  
 Messauflösung:  [m]  
 Baud:  Kalibrierung löschen

GripTester Kalibrierung

Festgelegte Steckenlänge:  [m] (xxx,xx)

Gemessene Streckenlänge:  [m] Gemessene Geschwindigkeit:  [km/h]

Berechneter Wert [dpr]:  Standard Wert [dpr]:   
 Radbezeichnung:   
 Datum:

Datenauswertungs Einstellungen

Abweichung absolut:  Fehlertoleranz [%]:

Abbildung 3-12: Optionendialog



AA 612

**Griffigkeitsmessungen mit dem  
GripTester MK2**

Ausgabe 1

Seite 25 von 48

- GripTester Modell  
Hier kann zwischen Mark1 und Mark2 gewählt werden. (Standard Mark 2 beim GT440 ).
- Serielle Schnittstelle  
Hier wird der Ausgang der seriellen Schnittstelle definiert. Die Software erkennt für gewöhnlich automatisch den Ausgang. Falls nicht, muss der Port COM3 eingestellt werden
- Betriebsmodus  
Für Messungen mit dem GripTester wird hier immer „Realtime“ eingestellt.
- PPR  
Pulses Per Rotation (Impulse pro Umdrehung)  
Für den Zugbetrieb sind 2 PPR einzustellen
- Messauflösung  
Hier kann eine beliebige Messauflösung  $> 1$  m eingestellt werden. Im Zugbetrieb sind standardmäßig 5-m-Werte zu verwenden.
- Baud  
Für gewöhnlich wird hier der Wert 19200 eingestellt. Dieser Wert beschreibt die Datenübertragungsrate des GripTesters. 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.

#### **3.4.4.3 Datenerfassung**

Die Datenerfassung erfolgt in vier Schritten:

- 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.
- 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 durch Drücken der „Space“ Taste geschehen.



#### 3.4.4.4 Weitere Einstellmöglichkeiten

Um den Betrieb möglichst einfach zu gestalten und schnell Messergebnisse vergleichen zu können, gibt es noch andere Einstellmöglichkeiten. All diese Einstellungen wählen Sie über den Messbildschirm (siehe Abbildung 3-13) an.

- 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.
- Über die Button „Datei hinzufügen“ bzw. „Datei entfernen“ lassen sich bereits erfasste Griffigkeitsdateien zusätzlich im Diagramm mit abbilden bzw. wieder entfernen. Zum Entfernen markiert man die gewünschte Datei in der Tabelle unten links oder die entsprechende Kurve im Diagramm. Diese Funktion ermöglicht einen direkten Datenvergleich während der Fahrt. So kann man sofort sehen, ob die Fahrten zueinander passen und mögliche Fehler ausschließen. Die Datei „Aktuell“ beschreibt die Aktuelle Messdatei. Sie darf unter keinen Umständen gelöscht werden!
- 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 Mauszeiger in ein Fadenkreuz verwandeln. Dadurch lassen sich Streckenabschnitte besser zuordnen. Die Pfeile „ $\alpha$ “ und „ $\beta$ “ ermöglichen das Verschieben der jeweils markierten Datenreihe um den angezeigten Wert. Der Button „Autoscroll“ bewirkt, dass das Diagramm während der Messfahrt automatisch weiterbewegt wird, so dass man immer die aktuellen Messdaten sehen kann. Hat man eine Datenreihe markiert, kann man sich für diese die einzelnen Messwerte über den Button „Werte“ anzeigen lassen. Nochmaliges klicken des Buttons entfernt die Werte wieder.

Wurden mehrere Datenreihen in das Diagramm eingefügt, lassen sich jeweils immer 2 Reihen miteinander vergleichen. Dazu markiert man die zwei Reihen durch anklicken der Messkurve mit der rechten Maustaste. In der Tabelle unten links erhalten diese Datenreihen nun die Werte „1“ und „2“. Klickt man jetzt auf „Delta bilden“, wird die Differenz der 2 Datenreihen gebildet. 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.

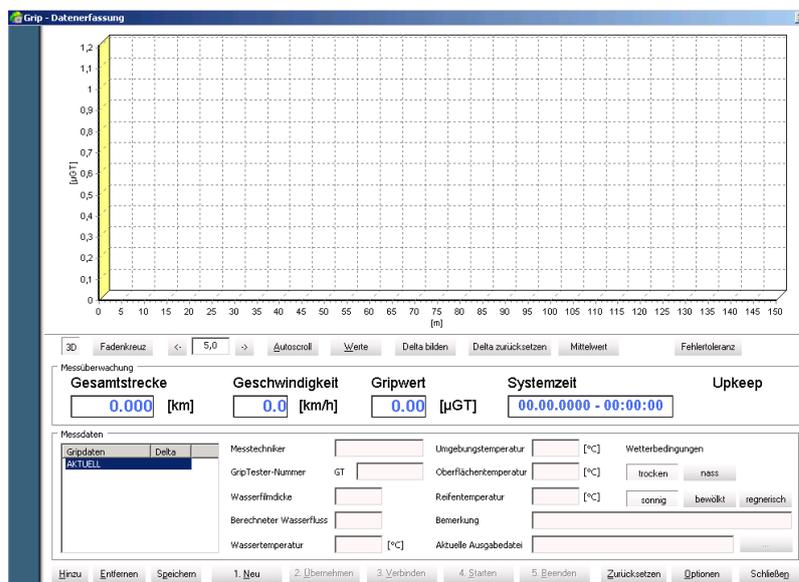


Abbildung 3-13: Oberfläche der Software Roadmanager

### 3.4.5 Messvorbereitung

Vor der eigentlichen Messung muss man sich kurz über die Messstrecke informieren:

- Wo ist die Messstrecke?
- Daten der Strecke (Länge, Oberfläche, Alter)?
- Ist der Messabschnitt gesperrt oder muss im fließenden Verkehr gemessen werden?
- Wendemöglichkeiten bzw. Haltemöglichkeiten am Start/Ende der Messstrecke?
- Wo gibt es Wasser zum Auffüllen des Tanks (Straßenmeisterei, etc.)?
- Wettervorhersage

#### Streckenbesichtigung:

Bevor die erste Messung durchgeführt wird, empfiehlt es sich, die Strecke vor Ort anzusehen und die Messabschnitte festzulegen.

Maximale Messabschnittslänge mit dem 600 L Tank bei einer Standardmessung (60 km/h, 25 l/min) ist 20 km.



### 3.5 Transport

Der Transport des GT mittels Wheellift darf nur für kurze Strecken eingesetzt werden und die Geschwindigkeit sollte 80 km/h nicht übersteigen. Bei der an und Abreise ist der GripTester im Laderaum zu transportieren (siehe Abbildung 3-14). Dabei ist zu beachten, dass alle Gegenstände im Fahrzeug ordnungsgemäß gesichert sind. Vor allem der GripTester ist mit einem Spanngurt zu sichern.

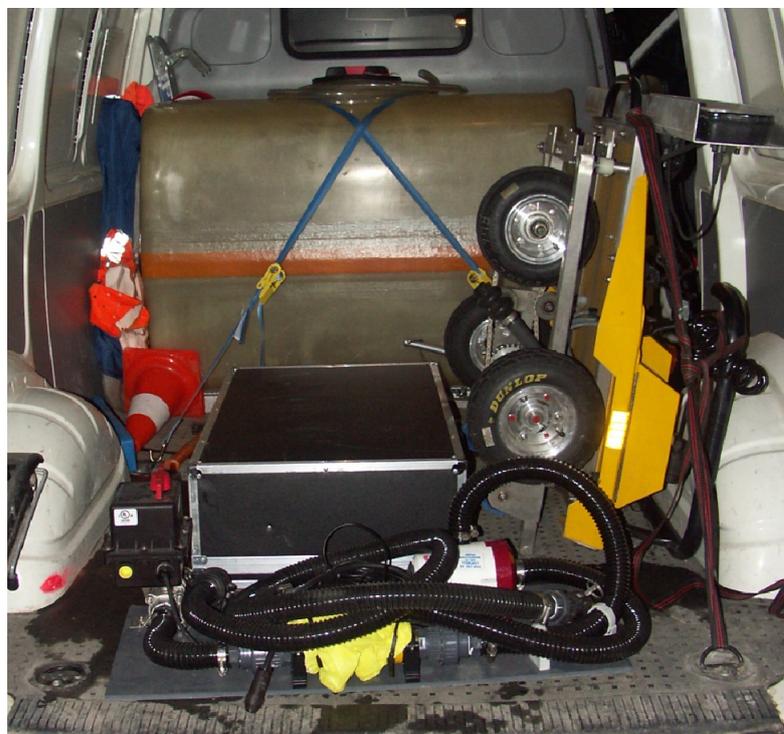


Abbildung 3-14: Transport im Fahrzeug

## 4 AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE

### 4.1 MS EXCEL

In diesem Kapitel wird das Einlesen der aufgezeichneten Rohdaten in das MS Excel (2003) beschrieben.

Zur Darstellung mittels Tabellenkalkulationsprogramm können die \*.grt Files einfach per Importfunktion eingelesen und weiterverarbeitet werden.

Schritt 1: Öffnen von *Daten* → *Externe Daten importieren* → *Daten importieren* (siehe Abbildung 4-1).

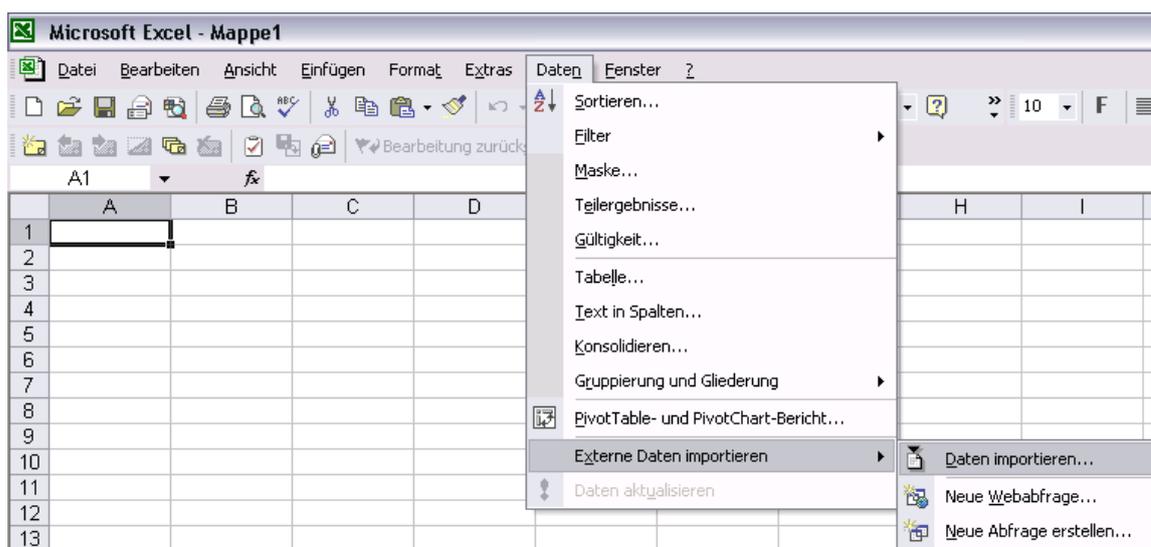


Abbildung 4-1: Registerkarte Daten/Externe Daten importieren

Schritt 2: Auswählen der \*.grt Datei und anschließend den Button „Öffnen“ drücken (siehe Abbildung 4-2).

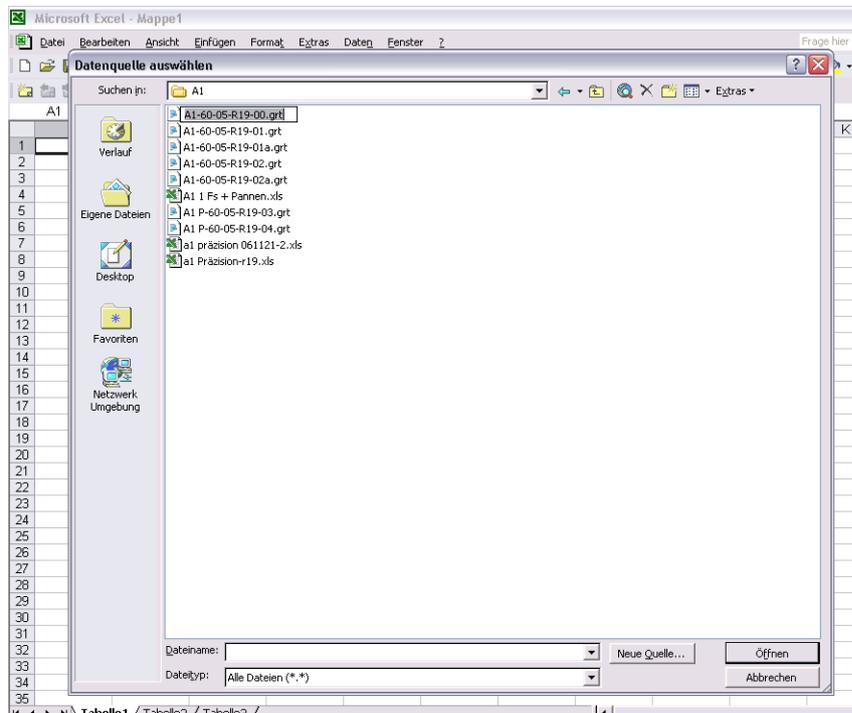


Abbildung 4-2: Auswahl der Datenquelle

Schritt 3: Auswählen des Dateityps: „Getrennt“ (siehe Abbildung 4-3)

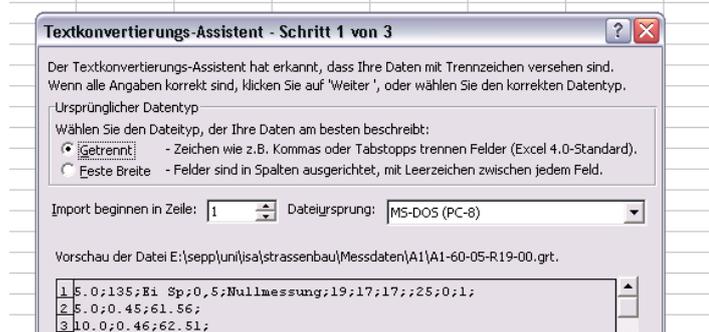


Abbildung 4-3: Auswahl „Getrennt“

Schritt 4: „Tabstopp“ und „Semikolon“ auswählen und anschließend den Button „Fertig stellen“ drücken (siehe Abbildung 4-4).



Abbildung 4-4: Auswahl „Tabstopp“ und „Semikolon“

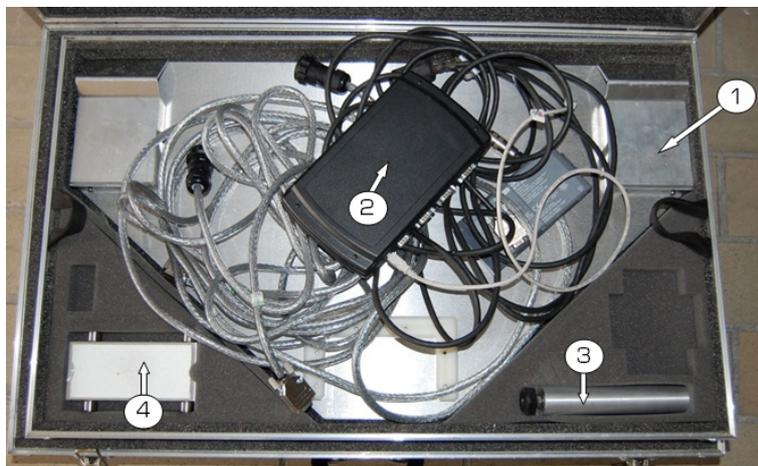
Jetzt stehen die Daten zur Weiterverarbeitung bereit.

## 5 WARTUNG

### 5.1 Messkoffer

Im Messkoffer befinden sich alle für den Betrieb notwendigen Kabel und die Hilfsmittel für die Kalibrierung und die Wartung des Messsystems.

In der ersten Lade (siehe Abbildung 5-1) befinden sich folgende Teile:



1. Kalibrierstand

2. USB-Box

3. Stütze

4. weiße Platte

Diverse Kabel (für Zug- und Schiebetrieb)

Abbildung 5-1: Messkoffer 1. Ebene

In der zweiten Lade (siehe Abbildung 5-2) befinden sich:



1. 1x Federwaage

2. 1x gelbe Steuerbox

3. 1x weiße Steuerbox

4. Diverse Kabel

5. 1x Wheellift Bedieneinheit

6. 1x Reifenluftpumpe

7. 1x Reifenluftdruckmessuhr

8. 1x Wasserwaage

9. 1x Fettpresse

Abbildung 5-2: Messkoffer 2. Ebene

Die linke Lade (siehe Abbildung 5-3) kann auch noch entfernt werden. Darunter befindet sich diverser Werkzeug für die Wartung und Kalibrierung.



Abbildung 5-3: Messkoffer 3. Ebene

## 5.2 Messbuch

Das Messbuch dient dazu um einen Überblick über alle Messungen mit den GT 440 zu erhalten.

Im Messbuch sind die wichtigsten Daten der Strecke zu erfassen:

- Datum
- Messstrecke
- Baujahr des Belages
- Wetter
- Lufttemperatur
- Fahrbahntemperatur
- Messreifennummer (befindet sich auf dem Reifen, z.B. A48-070908)
- Messgeschwindigkeit
- Wasserfilmdicke
- Messlänge: wenn möglich ist die Kilometrierung an zu geben oder wichtige Erkennungspunkte, damit man den Anfangspunkt wieder leicht findet.
- Dateibezeichnung

Das Messbuch ist penibel auszufüllen und Auffälligkeiten oder besondere Vorkommnisse sind zu vermerken.

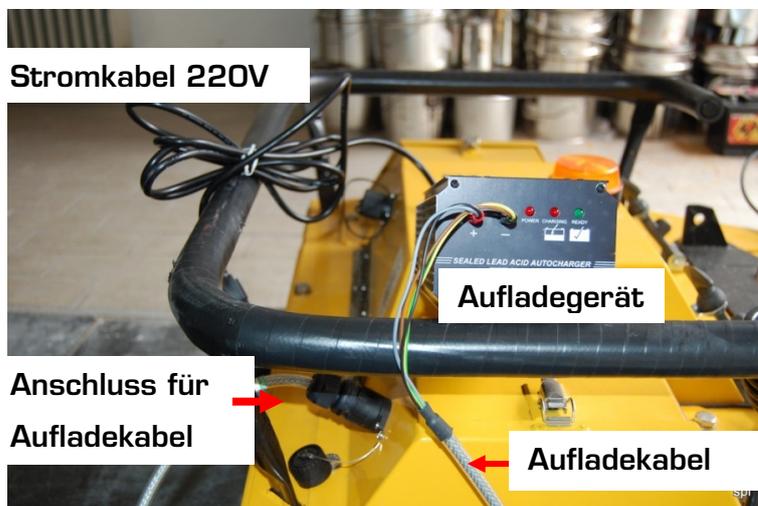
### 5.3 Laden der Batterien

Die Batterie wird mit dem beigelegten Ladegerät geladen. Es sind 2 Batterien vorhanden. Während dem Betrieb wird zuerst die linke Batterie entladen und dann automatisch auf die rechte Batterie um geschaltet. Der GT kann somit ca. 48 Stunden betrieben werden. Das Laden der Batterien dauert ca. 12 Stunden. Da es sich um versiegelte Batterien handelt, kann der GT in jede beliebige Position gebracht werden ohne dass eine Batterie beschädigt wird.

Die aktuelle Ladekapazität kann beim einschalten der SPU abgelesen werden. Der „>“ Pfeil zeigt die aktuelle Batterie an (siehe Abbildung 5-4: Batterie). Ein Wert unter 11.0 Volt weist auf eine „leere“ Batterie hin.



Abbildung 5-4: Batteriestand



5-5: Konfiguration während des Ladezustandes

## 5.4 Test der grundlegenden Funktionen (=FACTS)

Bei eingeschalteter Steuerungseinheit den GripTester aufstellen und kurz die „FACTS“ überprüfen.

### 5.4.1 Free (Frei) / Alligment (Allgemein)

Überprüfen auf freilaufende Räder und Übertragungssystem (Kette). Achse und Kette müssen im rechten Winkel zueinander stehen (das heißt, das Kettenrad auf der Antriebsachse darf sich nicht auf der Welle verschieben lassen), die Wasserdüse muss das Wasser direkt vor dem Messrad abgeben und das Zahnrad muss den Abstandssensor abdecken.

### 5.4.2 Chain (Kette)

Überprüfen der Kettenspannung und der Schmierung. Dazu muss die Kette von der Kettenführung abgehoben werden (siehe Abbildung 5-6). Das Kettenspiel muss zwischen 17 und 22 mm betragen. Die Kette muss leicht mit Kettenöl geölt sein. Es muss darauf geachtet werden, dass kein Öl auf die Reifen gelangt, insbesondere nicht auf den Messreifen.

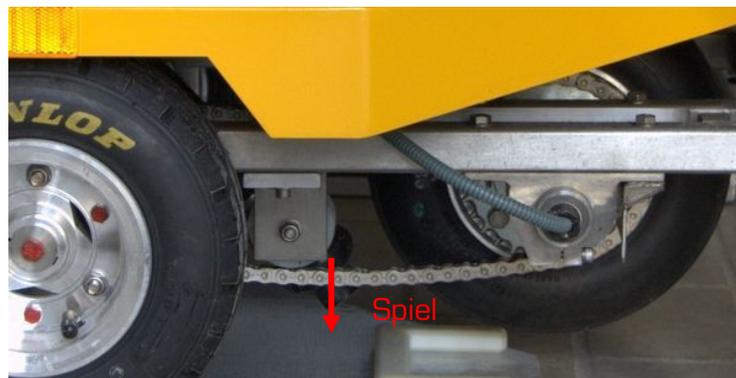


Abbildung 5-6: Kettenspiel

### 5.4.3 Tyres (Rad)

Das Messrad ist vor Beginn eines Messeinsatzes durch Augenschein auf eventuelle Beschädigung zu kontrollieren und eventuell vorhandener Schmutz ist zu entfernen. Dazu nur klares Wasser verwenden. Das Messrad hat in der Lauffläche eine Bohrungen (siehe Abbildung 5-7), die der Verschleißkontrolle dient. Ist die Bohrung weniger als 2 mm tief, so ist das Messrad auszutauschen. Weiters ist es wichtig, vor der Messung den Luftdruck des Messrades und der beiden Antriebsräder zu kontrollieren, um einen konstanten Luftdruck bei den Messungen zu gewährleisten. Das Messrad muss trocken, dunkel und bei etwa 3° C gelagert werden. Der Luftdruck im Messrad beträgt 20 psi = 1,38 bar bei 20° C.



Abbildung 5-7: Bohrung zur Verschleißmessung

#### Verwendung unterschiedlicher Reifen:

Zur Untersuchung der Wiederholbarkeit der GripTester - Messungen darf nur ein Messreifen verwendet werden, um mögliche Fehlerquellen auszuschließen. Werden unterschiedliche Reifen verwendet, ist dies im Messbuch zu protokollieren, damit dieser Parameter bei der Auswertung auch angegeben und berücksichtigt werden kann.

#### Reifenwechsel:

Zum Wechseln der verschiedenen Messreifen benötigt man Werkzeug aus dem Zubehörfächer. Durch das Lösen der 3 Radmuttern (siehe Abbildung 5-8) kann man das Rad abnehmen und ein anderes Rad montieren. Zum schnelleren Wechseln des Messreifens wird der Einsatz von einem Akkuschauber samt passender Stecknuss empfohlen.



Abbildung 5-8: Radmuttern

#### 5.4.4 Ssuspension

Eine Kontrolle an diesem Modell (GT 440) ist aufgrund der Bauart nicht nötig.

#### 5.5 Kalibrierung

Für die Durchführung der Kalibrierung wird der Messkoffer benötigt.

Die Kalibrierung muss unter folgenden Bedingungen durchgeführt werden:

- Trockene Umgebung
- 5°C – 25°C
- Ebener Untergrund
- Genügend Platz
- Bevor eine Zahl am Display abgelesen wird, ist darauf zu achten, dass Einfluss von Haftreibung und Hysterese entfernt wird. Das geschieht am einfachsten durch vorsichtiges Klopfen auf das Messrad.

Die Vorderseite der SPU beinhaltet einen ON/OFF Schalter, ein LCD Display, eine Enter Taste, eine Exit Taste und 2 Tasten zum scrollen im Menü (siehe Abbildung 5-9).



Abbildung 5-9: SPU – Einheit

### 5.5.1 Vorbereitung

- „FACTS“ überprüfen
- Einschalten
- GT mit allen Rädern am Boden vor und zurückbewegen
- Das Messrad leicht be- und entlasten durch vorsichtiges Anheben
- Die Federwaage Weigh-tronics überprüfen, ob diese, wenn sie Vertikal steht, 0 anzeigt, sonst die Taste ON/Zero zum Nullsetzen drücken.

### 5.5.2 Einstellen von LOAD Zero

*Zur Info: Zero bedeutet immer eine Einstellung ohne Kraft und Gain immer mit einer aufgebrachten Kraft, welche mittels Federwaage aufgebracht wird.*

Zum Kalibrieren muss der GT jetzt auf den Kalibrierstand (siehe Abbildung 5-10) gestellt werden und der Stützfuss (höhenverstellbares Rohr) muss untergestellt werden. Mittels der Wasserwaage ist der GT jetzt so einzustellen, dass die Wasserblase innerhalb der Grenzen ist. Die Wasserwaage dazu auf den Rahmen und nicht auf die gelbe Verkleidung legen.

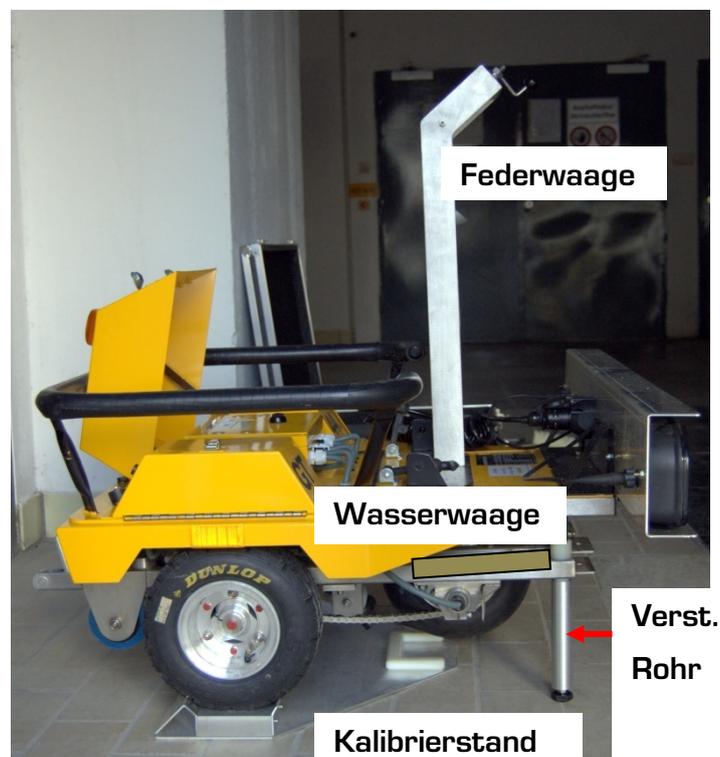


Abbildung 5-10: Konfiguration des Kalibrierstandes

- Mittels den Knöpfen an der SPU, in den **Calibration Mode** wechseln und Enter drücken (siehe Abbildung 5-9)
- Auf der Anzeige steht **Load Zero**, wieder Enter drücken.
- Dann steht links der angestrebte Wert 0000 und rechts die Abweichung (z.B. 0005).
- Leicht auf das Messrad klopfen um die letzten Einflüsse zu beseitigen.
- Jetzt noch einmal die Enter Taste drücken.
- Es erscheint Wait...
- Es erscheint Done. → Load Zero abgeschlossen.



Abbildung 5-11: Kalibrierung Load Zero

### 5.5.3 Einstellen von LOAD Gain

Für Load Gain wird jetzt die Federwaage benötigt. Die Konfiguration des Messstandes sehen sie in Abbildung 5-10. Die Schlinge der Federwaage muss durch das Loch gefädelt werden (siehe Abbildung 5-12) und um den Achsstummel in die vorhandene Nut eingelegt werden (siehe Abbildung 5-13). Die Waage selbst wird mittels der zwei Führungstifte fixiert.



Abbildung 5-12: Führungstifte

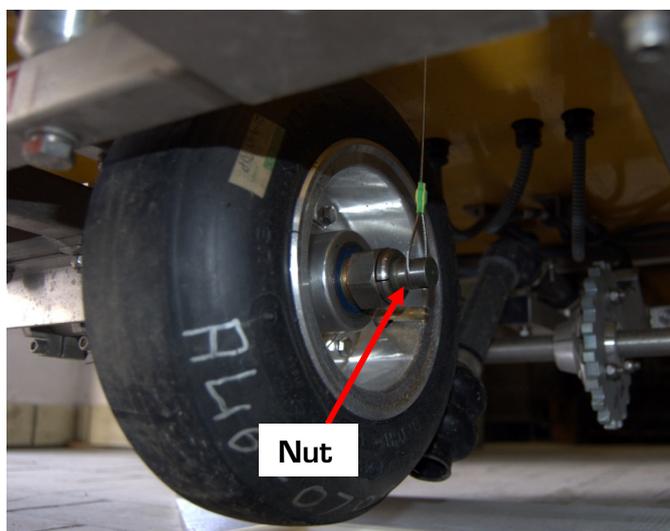


Abbildung 5-13: Einhängen der Schlinge

- Mittels den Knöpfen an der SPU, in den **Calibration Mode** wechseln und Enter drücken (siehe Abbildung 5-9)
- Auf der Anzeige steht **Load Gain**, wieder Enter drücken.
- Dann steht links der angestrebte Wert 0410 und rechts muss 0000 stehen, sonst überprüfen ob schon eine Kraft auf die Achse wirkt.
- Jetzt eine Kraft von 20 kg mittels betätigen der Kurbel der Federwaage aufbringen
- Leicht auf das Messrad klopfen um die letzten Einflüsse zu beseitigen.
- Enter Taste drücken.
- Es erscheint Wait...
- Es erscheint Done. → Load Gain abgeschlossen



Abbildung 5-14: Kalibrierung Load Gain

#### 5.5.4 Einstellen von DRAG Zero

Zum Einstellen von Drag Zero/Gain muss der Kalibrierstand umgebaut werden (siehe Abbildung 5-16). Der Stützfuß muss entfernt werden und in das Gestell der Federwaage muss die weiße Platte mit Rollen eingelegt werden (siehe Abbildung 5-15) und dann muss die Federwaage horizontal in das halbe Plastikrechteck gelegt werden und der Messreifen ist zentral auf die weiße Platte zu stellen.

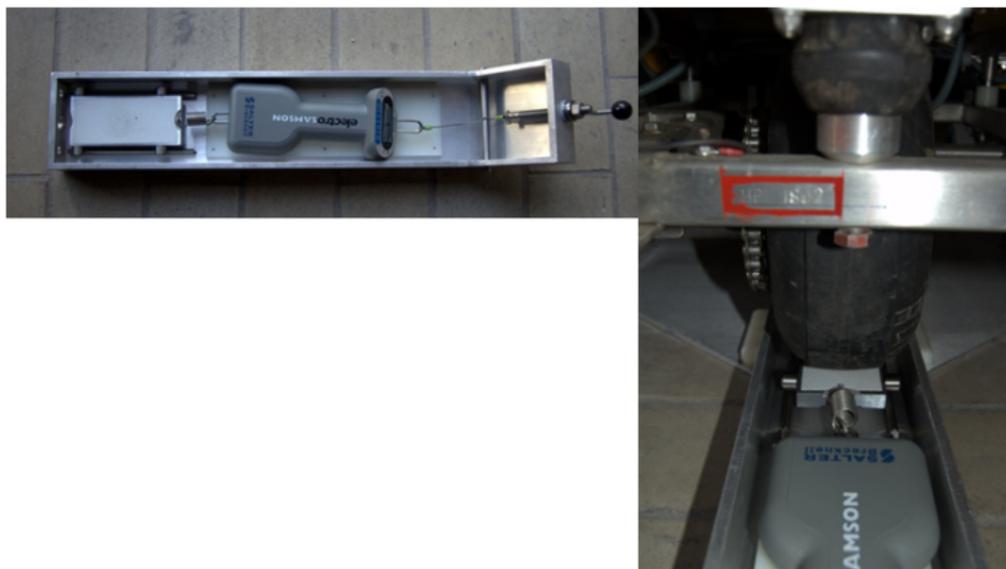


Abbildung 5-15: Drag Zero Weigh-tronic Konfiguration



Abbildung 5-16: Konfiguration des Kalibrierstandes für *Drag Zero* und *Drag Gain*

- Eine Vorbelastung ist mit ca. 15 kg durchzuführen. Dazu mittels Kurbeln 15 kg einstellen und dann wieder komplett entlasten.
- Mittels den Knöpfen an der SPU, in den **Calibration Mode** wechseln und Enter drücken (siehe Abbildung 5-9)
- Auf der Anzeige steht **Drag Zero**, wieder Enter drücken.
- Dann steht links der angestrebte Wert 0000 und rechts wieder die Abweichung
- Vorsicht es darf keine Belastung in horizontale Richtung geben. Die Abweichung muss also nahe bei  $\pm 0000$  sein.
- Leicht auf das Messrad klopfen um die letzten Einflüsse zu beseitigen.
- Enter Taste drücken.
- Es erscheint Wait...
- Es erscheint Done. → Drag Zero abgeschlossen



Abbildung 5-17: Kalibrierung *Drag Zero*

### 5.5.5 Einstellen von DRAG Gain

Der Kalibrierstand bleibt unverändert.

- Mittels den Knöpfen an der SPU, in den **Calibration Mode** wechseln und Enter drücken (siehe Abbildung 5-9)
- Auf der Anzeige steht **Drag Gain**, wieder Enter drücken.
- Dann steht links der angestrebte Wert 0203
- Jetzt langsam eine Kraft mittels Kurbeln aufbringen, bis am Display des GT rechts +0001 aufscheint. Sofort aufhören zu kurbeln.
- Die Federwaage wieder auf 0 zurücksetzen.
- Jetzt eine Kraft von 15 kg mittels betätigen der Kurbel der Federwaage aufbringen.
- Leicht auf das Messrad klopfen um die letzten Einflüsse zu beseitigen.
- Enter Taste drücken.
- Es erscheint Wait...
- Es erscheint Done. → Drag Gain abgeschlossen



Abbildung 5-18: : Kalibrierung *Drag Gain*

## 5.6 Schnellkalibrierung

- Einschalten
- GT mit allen Rädern am Boden vor und zurückbewegen
- Das Messrad leicht be- und entlasten
- Mittels den Knöpfen an der SPU, in den **Calibration Mode** wechseln und Enter drücken (siehe Abbildung 5-9)
- Das Messrad entlasten (ca. 10 mm Abstand vom Boden)
- Auf der Anzeige steht **Load Zero**, wieder Enter drücken.
- Dann steht links der angestrebte Wert 0000 und rechts die Abweichung (z.B. 0005) Die Abweichung muss innerhalb von  $\pm 0010$  sein.
- Wenn der Wert innerhalb der Grenzen liegt, kann mit den Messungen begonnen werden
- Liegt der Wert außerhalb, müssen zuerst die „**FACTS**“ überprüft werden und dann eine komplette Kalibrierung (siehe 5.5) durchgeführt werden.



Abbildung 5-19: Schnellkalibrierung

## 5.7 Distanzkalibrierung

Die Distanzkalibrierung ist nötig, damit der GripTester eine genaue Geschwindigkeit und Distanz ausgibt und findet immer im Zugbetrieb statt. Die Differenzen rühren von den verschiedenen Messreifen und von der Profiltiefe der Reifen her. Da die Parameter von den Reifen bestimmt werden, muss die Distanzkalibrierung auch immer mit den in den Messungen verwendeten Reifen durchgeführt werden. Dazu muss in regelmäßigen Abständen, jeweils aber nach längeren Messpausen, eine Distanzkalibrierung durchgeführt werden.

Die Kalibrierstrecke befindet sich ca. zehn Minuten vom Labor entfernt in der Nähe der Simmeringe Haide. Einen detaillierten Routenplan finden Sie in den Beilagen.

Für die Aufzeichnung ist eine Streckenlänge von 1000 m auszuwählen. Eine zu lange oder zu kurze Strecke führt zu ungenauen Ergebnissen.

Die Teileliste und das Vorgehen bis zur eigentlichen Distanzkalibrierung entspricht der aus dem Zugbetrieb (siehe Kapitel 3). Auch müssen vor Beginn die „**FACTS**“ überprüft werden und eine Schnellkalibrierung oder falls erforderlich eine Komplettkalibrierung durchgeführt werden. Die wichtigsten Bestandteile sind hier noch einmal angeführt:

- Messfahrzeug inkl. spezieller Kupplung
- GripTester 440
- Messkoffer inkl. aller Verbindungskabel
- 600 L Wassertank
- 2x Spanngurte für den Wassertank
- Spanngurt zur Transportsicherung
- Verbindungschläuche
- Wasserpumpe
- Zuggabel inkl. Wheelift
- Wheelift Bedieneinheit (befindet sich im Messkoffer)
- Laptop „GripTester“ inkl. Dongel

Die Kalibrierstrecke muss möglichst genau mittels Messrad und Farbspray markiert werden. Der „Start A“ (= Ende von „Start B“) der Strecke befindet sich kurz nach der Autobahnbrücke und der „Start B“ (= Ende von „Start A“) in der Nähe eines Gebäudes samt „Brücke“ über die Ost-Autobahn (siehe Abbildung 5-20). Die Strecke muss vorher abgefahren werden um diese von eventuellem Schmutz zu befreien.



Abbildung 5-20: Kalibrierstrecke

Dann muss das Messrad möglichst genau über dem markierten Start positioniert werden. Das Messrad muss exakt über dem markierten Strich stehen. Der GT kann auch langsam zurückbewegt werden um eine genaue Position zu erlangen.



AA 612

## Griffigkeitsmessungen mit dem GripTester MK2

Ausgabe 1

Seite 46 von 48

Der nächste Schritt ist, dass in der Software Roadmanager der Optionendialog (siehe Kapitel 2.4.3.1 und Abbildung 5-21) geöffnet wird um dort die Messung starten zu können. Für die Durchführung einer Distanzkalibrierung muss zunächst die Streckenlänge von 1000 m im Feld „Festgelegte Streckenlänge“ eingegeben werden. Durch „Start“ löst man den Beginn der Messung aus.

Erst dann setzt man das Fahrzeug in Bewegung mit eingeschalteter Wasserzufuhr (siehe Kapitel 2.4.2). Dann fahren sie langsam mit ca. 20 bis 30 km/h Richtung Ende der Strecke. Kurz vor dem Ende der Strecke wieder langsam werden und das Messrad wieder exakt über dem markierten Ende positionieren und das Wasser abdrehen.

Mit dem Button „Stop / Berechnen“ ermittelt Sie die Differenz zwischen Sollmessstrecke und zurückgelegter Strecke. Dieser Wert wird im Feld „berechneter Wert“ ausgegeben. Die Einheit ist „dpr“ distance per rotation, also eine Umdrehung des Rades. Um die Distanzkalibrierung abspeichern zu können, muss im Feld „Radbezeichnung“ eine Bezeichnung eingegeben werden. Die Bezeichnung des Rades ist die Radnummer und ein fortlaufender Kleinbuchstabe (z.B. A37-05520\_a). Der Kleinbuchstabe dient dazu um die verschiedenen Kalibrierfahrten unterscheiden zu können. Es sind immer mindesten 4 Messfahrten, jeweils 2 in jede Richtung, durchzuführen.

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 eingestellt.

PPK	2 PPK		
13.06.2006	A37-05519_b	0.789578	
22.08.2008	A37-05520_c	0.777311	

Abbildung 5-21: Dialogfenster für Distanzkalibrierung



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
  
VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

Institut für Verkehrswissenschaften  
Labor des Forschungsbereichs Straßenwesen  
Gußhausstraße 28 / E230 / 3  
1040 WIEN  
Tel.: +43-1-58801-23301  
Fax: +43-1-58801-23399  
DVR: 0005886

AA 612

**Griffigkeitsmessungen mit dem  
GripTester MK2**

Ausgabe 1

Seite 47 von 48

## 6 MITGELTENDE UNTERLAGEN

**GripTester MK2 D-type Maintenance Manual**, Findlay Irvine Limited, Midlothian, 2008

**GripTester Automatic Watering System Operations Manual**, Issue 2, Findlay Irvine Limited, Midlothian, 2005

**RoadManager – Modul Grip - Erfassung Benutzerhandbuch**, Mechatronic, Darmstadt, 2004

## 7 VERTEILER

QM

AGL

## 8 BEILAGEN

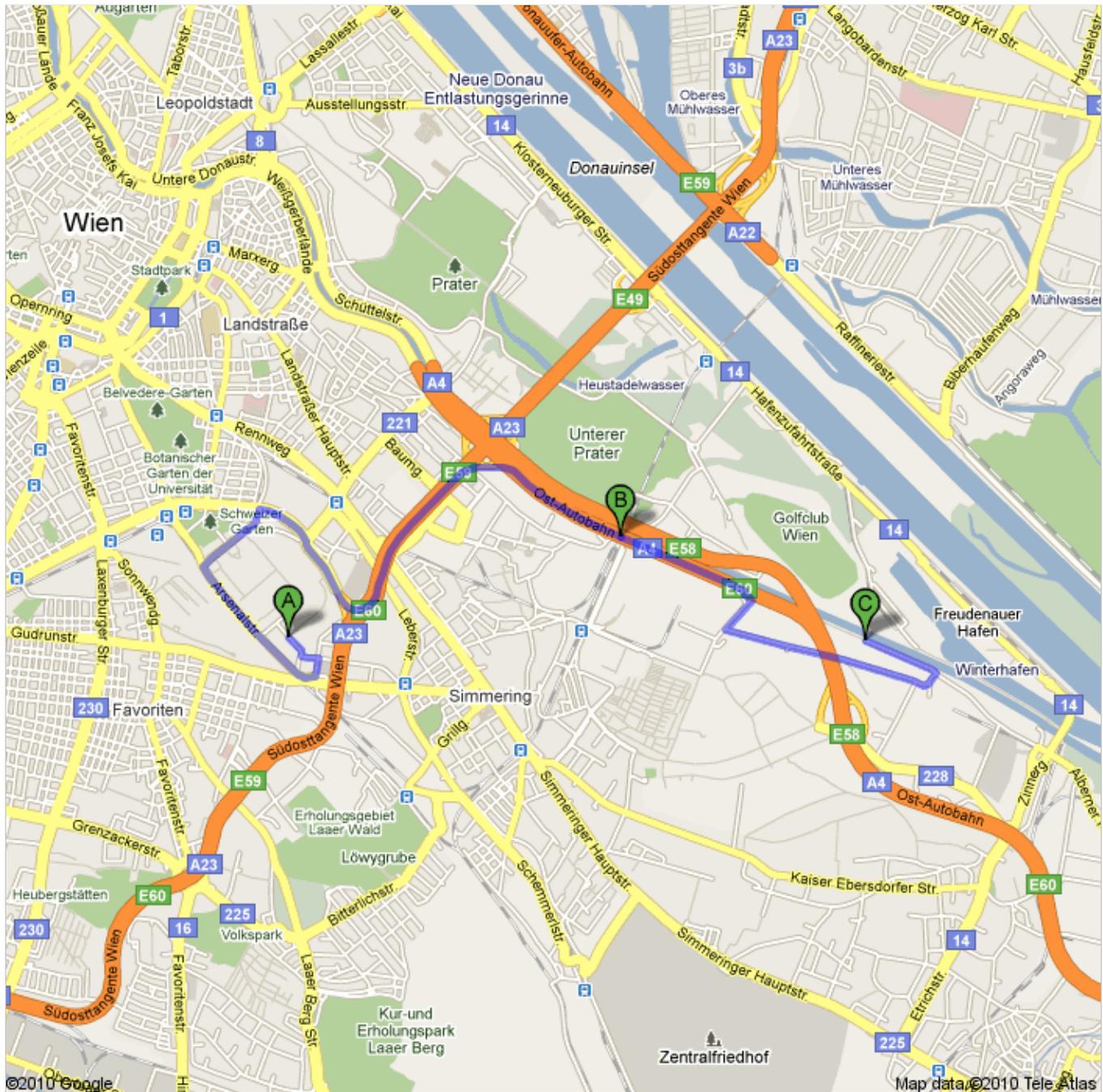
Messbuch

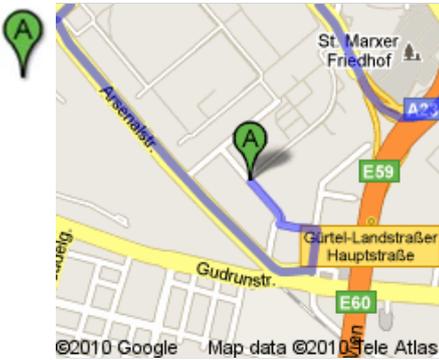
Anfahrtsplan Kalibrierstrecke





**Route nach Simmeringer Lände, 1110 Wien**  
**10,6 km – ca. 15 Minuten**  
Kalibrierstrecke, GripTester MK2





Faradaygasse, 1030 Wien

1. **Südost** auf **Faradayg.** Richtung **Gänsbacherg.**



0,2 km weiter  
gesamt 0,2 km



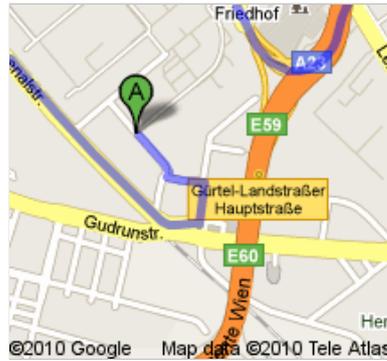
2. 1. **links** auf **Gänsbacherg.** nehmen



0,1 km weiter  
gesamt 0,3 km



3. 1. **rechts** auf **Schlechtastr.** nehmen



0,2 km weiter  
gesamt 0,5 km



4. Bei **Arsenalstr.** **rechts** abbiegen  
Ca. 2 Minuten



1,3 km weiter  
gesamt 1,8 km



5. Bei **Ghegastr. rechts** abbiegen  
Ca. 1 Minute.



0,7 km weiter  
gesamt 2,5 km



6. Bei **B221/Heinrich-Drimmel-Platz/Wiener Gürtel-Bundesstraße rechts** abbiegen  
Weiter auf Wiener Gürtel-Bundesstraße  
**Teilweise gebührenpflichtige Straße**  
Ca. 2 Minuten



1,0 km weiter  
gesamt 3,4 km

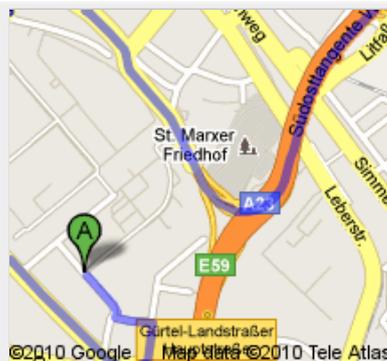
7. Die Auffahrt nach **A23** nehmen  
**Gebührenpflichtige Straße**



83 m weiter  
gesamt 3,5 km



8. Bei Gabelung **links** halten, Schildern nach **A23/Praha/ A22/Gänserndorf/B8** folgen und **A23** nehmen  
**Gebührenpflichtige Straße**  
Ca. 2 Minuten



1,6 km weiter  
gesamt 5,2 km



9. Bei Ausfahrt **Knoten Prater** in **A4** Richtung **Budapest/ Bratislava/Simmering/Haide/B228** einfädeln  
**Gebührenpflichtige Straße**  
Das Ziel befindet sich rechts  
Ca. 1 Minute.



1,5 km weiter  
gesamt 6,6 km

Gesamt: **6,6 km** – ca. **9 Minuten**



gesamt 0,0 km

A4

10. Richtung **Südost** auf **A4**  
**Gebührenpflichtige Straße**  
 Ca. 1 Minute.



1,0 km weiter  
 gesamt 1,0 km

11. **Rechts** halten Richtung **7. Haidequerstr.**  
**Teilweise gebührenpflichtige Straße**



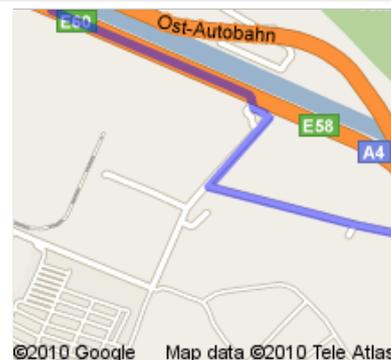
0,2 km weiter  
 gesamt 1,2 km

12. Bei **7. Haidequerstr.** **rechts** abbiegen  
 Ca. 1 Minute.



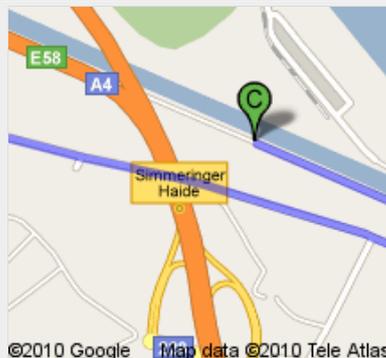
0,3 km weiter  
 gesamt 1,5 km

13. 1. **links** auf **Wildpretstr.** nehmen  
 Ca. 2 Minuten



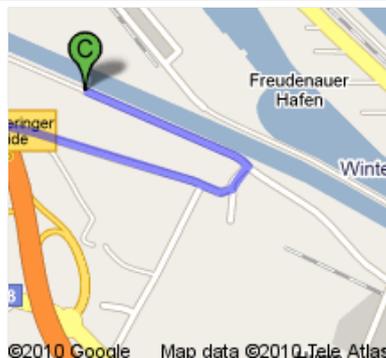
1,0 km weiter  
 gesamt 2,5 km

14. Dem Streckenverlauf folgen bis **Johann Petrak G.**  
Ca. 1 Minute.



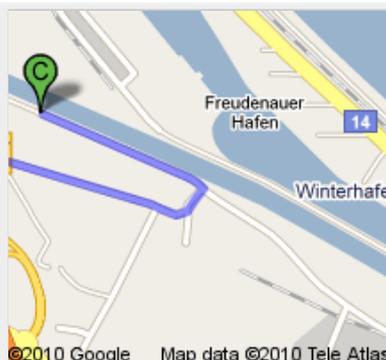
0,6 km weiter  
gesamt 3,2 km

15. Dem Streckenverlauf folgen bis **Margetinstr.**



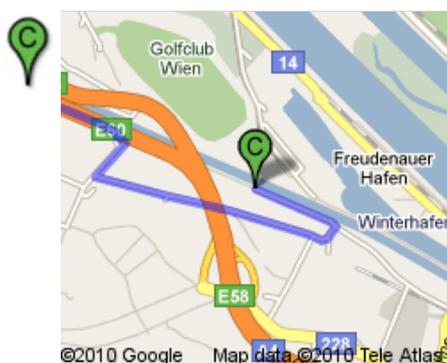
0,2 km weiter  
gesamt 3,4 km

↶ 16. Bei **Simmeringer Lände links** abbiegen  
Ca. 1 Minute.



0,6 km weiter  
gesamt 4,0 km

**Gesamt: 4,0 km – ca. 6 Minuten**



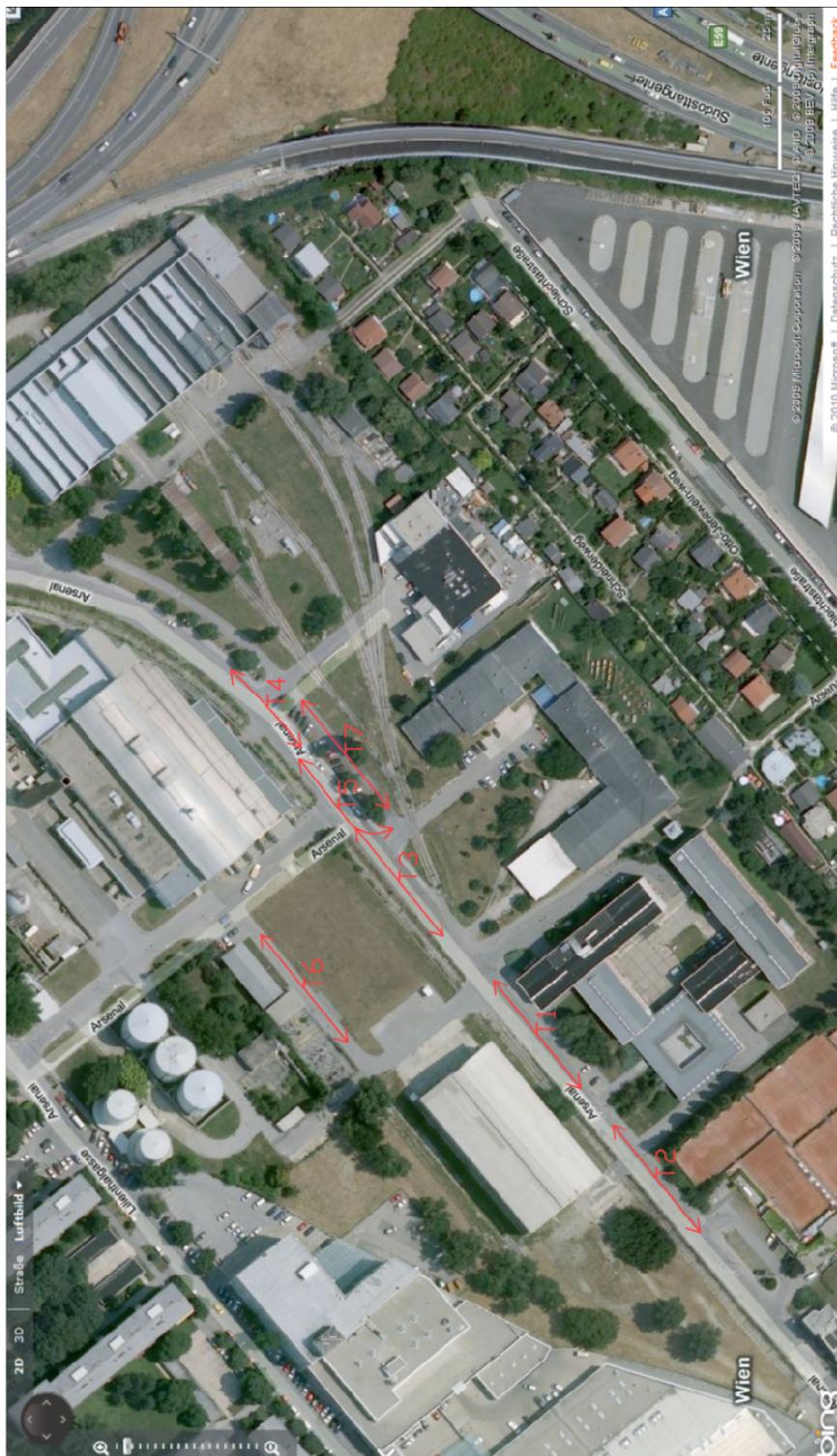
Simmeringer Lände, 1110 Wien

Diese Route dient nur zu Planungszwecken. Es ist möglich, dass die Verkehrsverhältnisse aufgrund von Baustellen, Verkehr, Wetter oder anderen Ereignissen von den in der Karte dargestellten Suchergebnissen abweichen können. Sie sollten daher Ihre Route entsprechend planen. Sie müssen alle Zeichen oder Hinweise bezüglich Ihrer Route beachten.

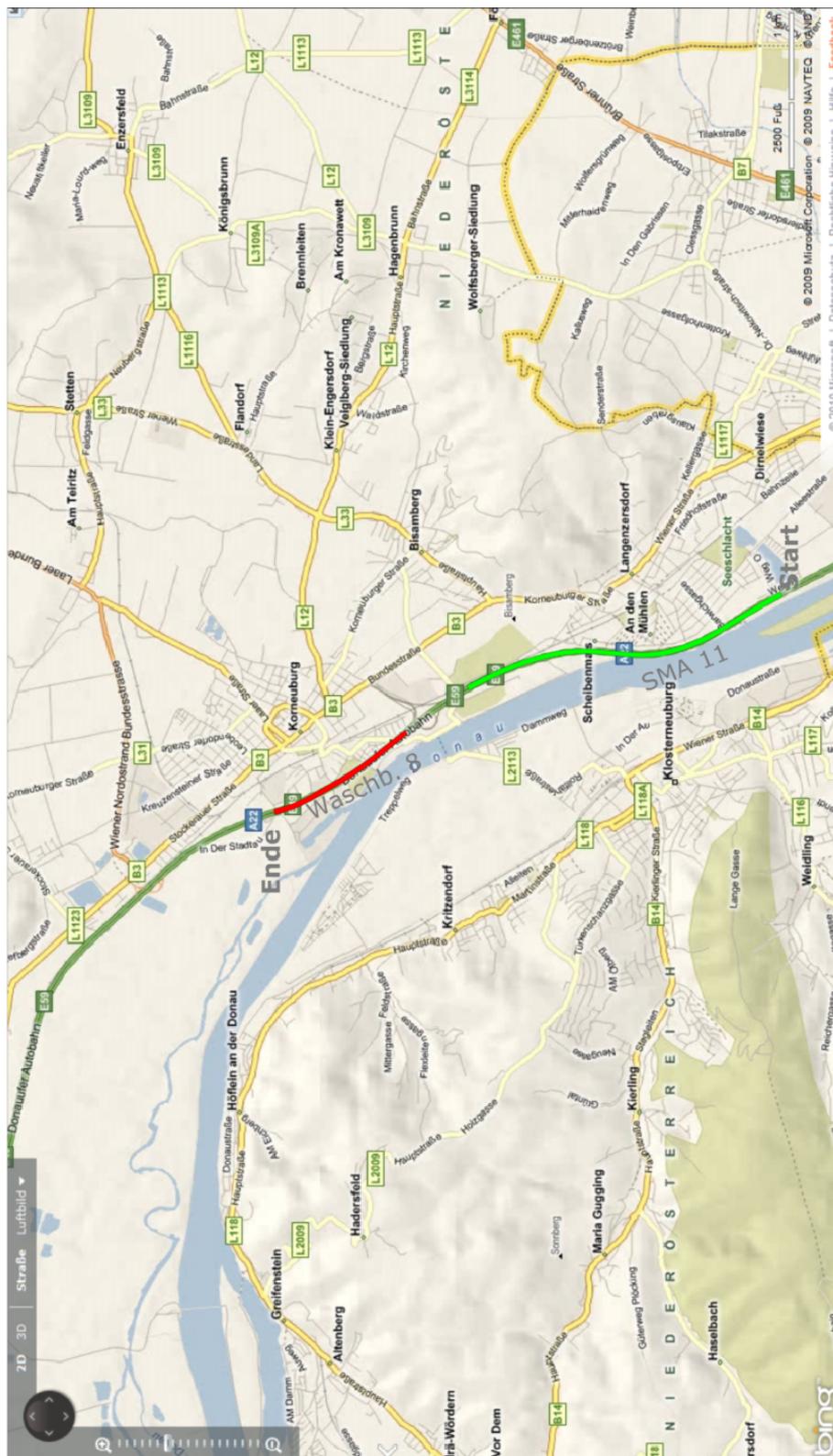
Kartendaten ©2009 Tele Atlas

# ANHANG B: LAGEPLÄNE / MESSSTRECKEN ÜBERSICHT

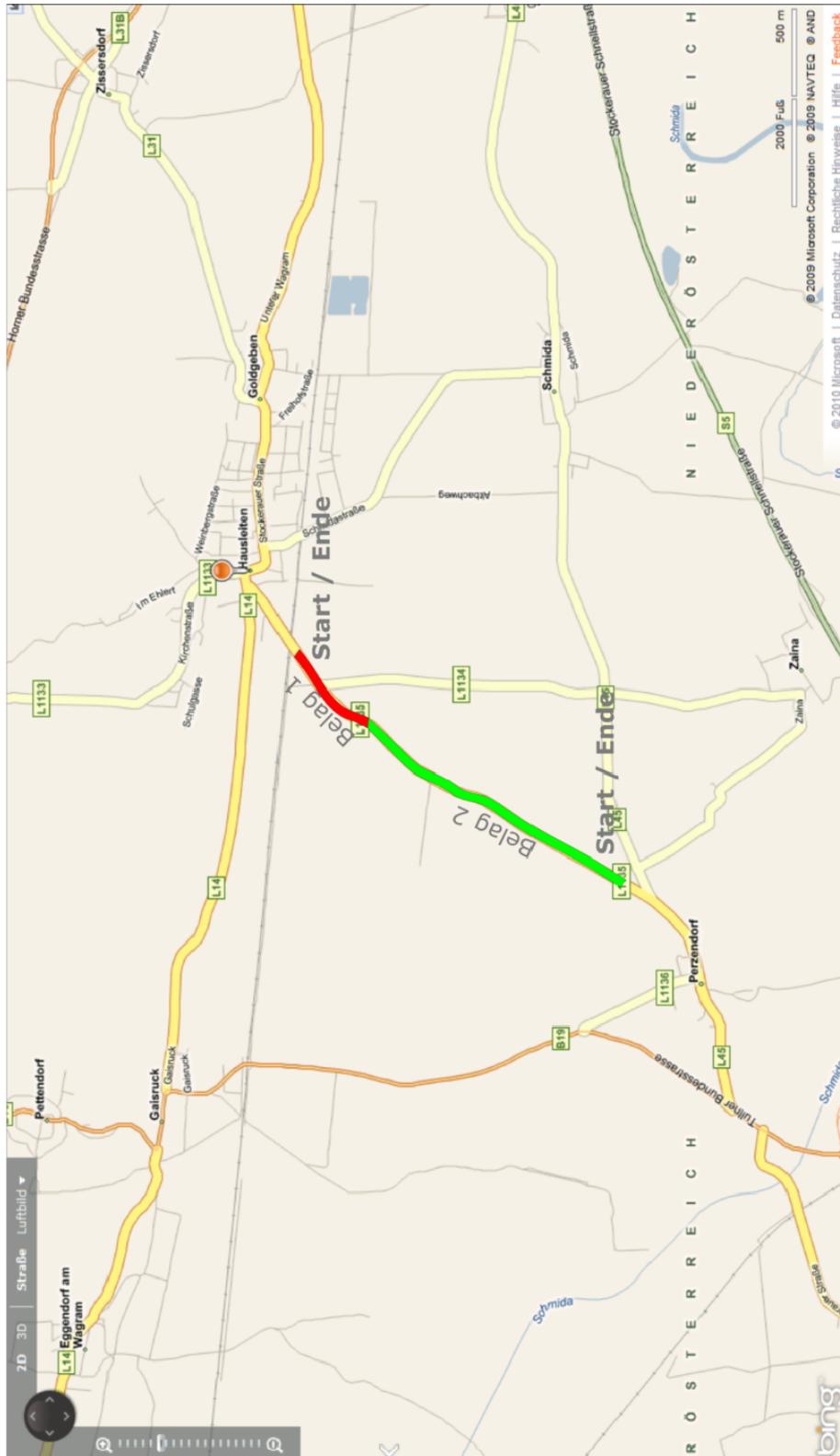
## Messstrecken Schiebebetrieb Arsenal/Wien



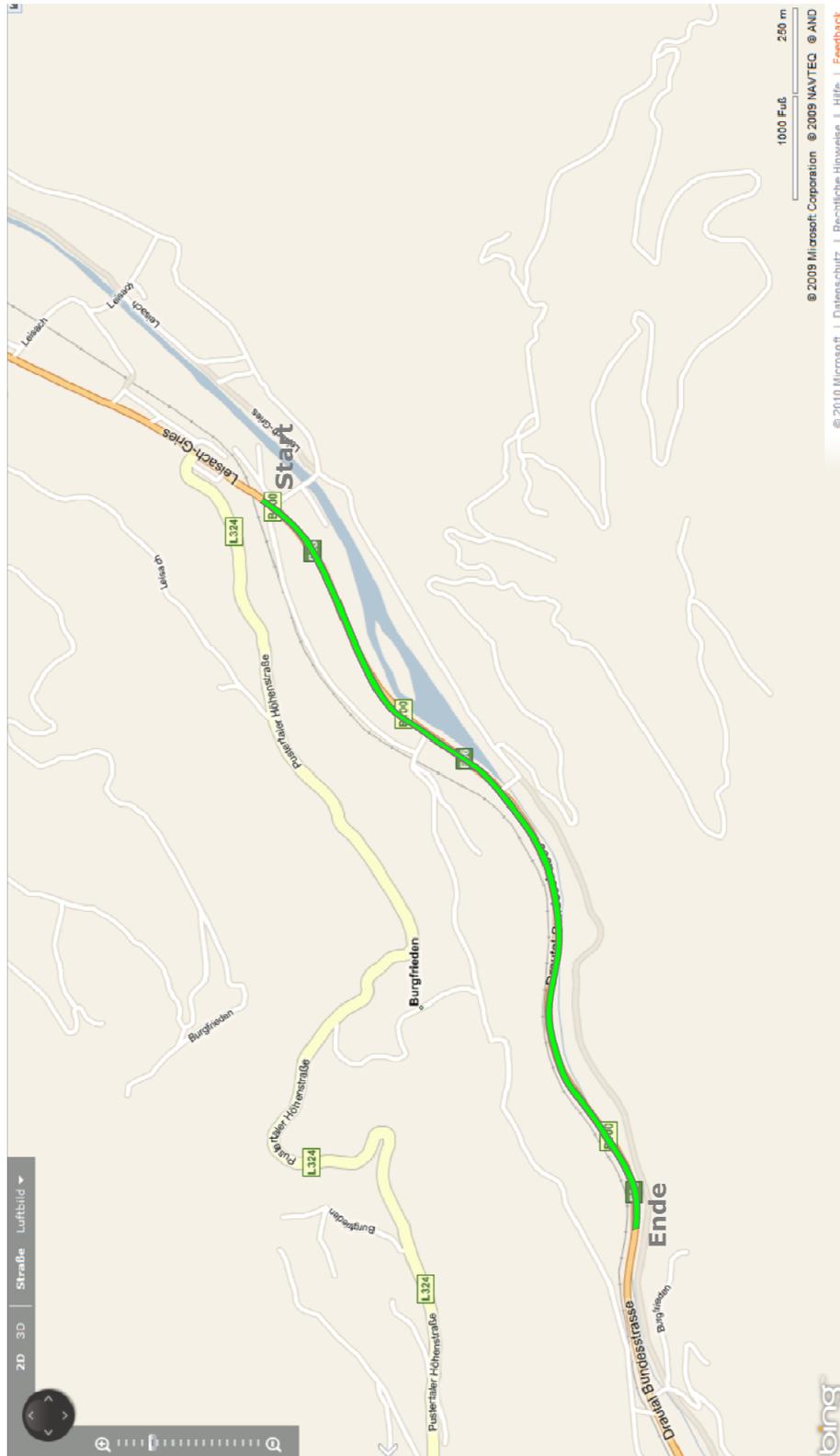
# Messstrecken Zugbetrieb Wien – NÖ A22



# Messstrecken Zugbetrieb Hausleiten/NÖ L1135



# Messstrecken Zugbetrieb Lienz/Osttirol B100



## ANHANG C: DETAILERGEBNISSE MESSUNGEN

