

## 1. Einleitung

Das Forschungsprojekt betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Griffigkeit von Verkehrsoberflächen mittels Daten, die von einem Satelliten-Navigations-System in Verbindung mit Kfz-typischen Daten während eines Bremsvorganges erhalten werden. Die Bewegungsdaten des Fahrzeuges werden aus relativ genauen Navigationsinformationen in sehr kurzen Zeitintervallen per Funkübertragung oder direkt im Fahrzeug auf einem Datenträger abgelegt. Hieraus werden die ortsbezogenen Bremsverzögerungen ermittelt und ggf. mit denjenigen eines mitgeführten Beschleunigungsmeßgerätes verglichen. Aus den Bremsverzögerungen werden in Verbindung mit den Kfz-Kennwerten und der Straßengeometrie die jeweils ausnutzbaren Kraftschlussbeiwerte (sog. Reibwertmaxima) bzw. die örtliche Griffigkeit der Verkehrsoberfläche ermittelt.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Physikalische Grundlagen (kurzer Auszug)

Haftreibung – Gleitreibung – Rollreibung – Blockierreiwert - Reibwertmaximum

Haftreibung: auf einen auf einer Unterlage ruhenden Körper (Bild 1) wird eine Zugkraft ausgeübt. Ab einer bestimmten Kraft setzt sich der Körper ruckartig in Bewegung.

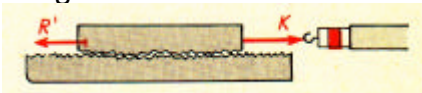


Bild 1

Die Kraft, die ihn an der Bewegung hindert, wird Haftreibungskraft genannt.

Bei der Gleitreibung (Reibung der Bewegung) ist die Gleitreibungskraft der zur Oberfläche parallelen Zugkraft entgegengesetzt.

Rollreibung entsteht beim Abrollen eines Rades auf einer Unterlage.

### 2.2 Gummireibung

Seit der Entwicklung des Luftreifens von Dunlop im Jahre 1888 interessieren die Vorgänge, die sich zwischen Fahrbahn und Reifen abspielen. Die für die Sicherheit bedeutende Größe ist der Anteil des Reibungswiderstandes.

Man spricht deshalb von Haftreibung nur, wenn ein Fahrzeug mit angezogener Bremse an einem Hang steht. Die Vorgänge während der Fahrt können mit den einfachen Begriffen (Haft- und Gleitreibung) nicht hinreichend genau beschrieben werden.

Bei der Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn spielen viele Komponenten eine Rolle. Beim Fahrbahnbelag wird zwischen Grob- und Feinrauheit unterschieden bzw. zwischen Macro- und Microtextur. Bild 2 zeigt einen Splittmastixbelag 0/5 mm mit ausgeprägter Feinrauheit.



Bild 2

Bei einem Gummireifen beeinflussen folgende Faktoren die Reibungsverluste:

- Adhäsion
- Hysterese
- Kohäsion
- Viskose Reibung

Die klassischen Reibungsgesetze der Physik, wie

- die Reibkraft ist proportional zur Normalkraft
- der Reibwert ist unabhängig von der Berührfläche
- der Haftreibbeiwert ist größer als der Gleitbeiwert
- der Reibwert ist unabhängig von der Geschwindigkeit

können bei Gummireifen nicht angewendet werden. Gummi zeigt ein viskoelastisches Verhalten. Es ist von vielen Komponenten seiner Gummimischung abhängig.



Bild 3

Der chemische Aufbau besteht aus fadenförmigen Gummimolekülketten. Diese sind ineinander verknäuel und in größeren Segmenten beweglich.

Der Adhäsionsanteil ist der Reibkraftanteil, der nötig ist, um die Berührungsflächen der beiden aufeinander reibenden Körper in Scherrichtung voneinander zu trennen. Man versteht darunter einen Mechanismus, der durch das Entstehen und Aufbrechen von Verbindungen im molekularen Bereich zwischen zwei Oberflächen entsteht. Bei glatten, ebenen Flächen ist der Adhäsionsanteil am größten. Eine trennende Wasserschicht lässt diesen Anteil sehr schnell absinken.

Der Hystereseanteil und damit ein Energieverlust erfolgt bei der Deformation von Gummi. Er entsteht beim Zusammendrücken und dem nachfolgenden Entspannen der Gummielemente beim Gleiten über die Rauigkeitsspitzen der Unterlage durch die Dämpfung des Gummis.

Der Anteil von Kohäsion tritt ein, wenn Gummi teilweise auf- bzw. herausgerissen wird. Er kann bei den Reibungsverlusten im allgemeinen vernachlässigt werden.

Eine viskose Scherspannung tritt auf, wenn sich zwischen Gummi und Fahrbahnoberfläche ein viskoses Zwischenmedium befindet.

Die Größe der viskosen Reibung ist abhängig von der Viskosität des Zwischenmediums, der Schichtdicke und der Gleitgeschwindigkeit. Bei Wasser als Zwischenmedium tritt reine Viskose bei Aquaplaning auf.

### **2.3 Reifenreibung**

Beim Beschleunigen und Bremsen auf der Fahrbahn tritt Reifenschlupf auf. Er entsteht bei der Relativgeschwindigkeit zwischen angetriebenem bzw. gebremstem Reifen und der Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Beim Bremsen zeigt der Tachometer eine zu geringe Geschwindigkeit an, weil sich die Räder infolge Schlupfanteil nicht ganz so schnell drehen, wie es der Geschwindigkeit des Fahrzeuges entspräche. Bei ABS-

gebremsten Fahrzeugen beträgt der Schlupfanteil etwa 15 bis 20 %. In diesem Bereich liegt das Reibwertmaximum.

Bei einem blockierten Rad beträgt der Schlupfanteil 100 %. Die dabei übertragbare Kraft wird durch den Blockierreibwert (Gleitbeiwert) bestimmt.

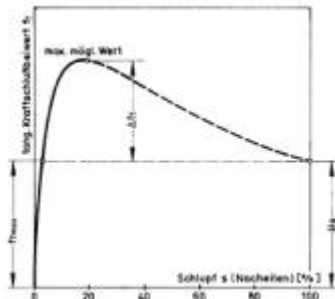


Bild 4

## 2.4 Kraftschlussbeiwert

(siehe auch RAL-L-1, Kommentar 1979)

Über das Kräftespiel zwischen Fahrzeug und Fahrbahn und die damit zusammenhängenden Probleme des tangentialen und radialen Reibungskoeffizienten bestehen zahlreiche Untersuchungen auf dem Kraftfahrzeug- und Straßenbausektor. Trotzdem ist es kaum möglich, absolut gültige Aussagen über das Kraftschlussvermögen zwischen Reifen und Straße zu treffen.

Die Schwierigkeiten liegen vor allem darin, dass der Kraftschluss von einer großen Anzahl von Faktoren abhängt, die im einzelnen noch nicht genau genug bekannt sind und die sich untereinander auf verschiedene komplizierte Weise beeinflussen. Er hängt unter anderem ab:

- von der straßenbautechnischen Größe der Deckenstruktur, besonders von der Oberflächenbeschaffenheit infolge der Baustoffeigenschaften, der querschnittsmäßigen Beschaffenheit der Straße infolge unterschiedlicher Beanspruchung durch den Verkehr, der gesamten und der jahreszeitlichen Liegezeit der Decke;
- von der klimatischen Größe mit allen Variationen, von der sommerlich trockenen über die feuchte bis zur nassen Straße mit einem geschlossenen Wasserfilm von unterschiedlicher Stärke, von der winterlich trockenen über die winterlich nasse, matschige und schneeglatte bis zur eisglatten Straße;
- von den fahrzeugtechnischen Größen wie Radlast, Schräglaufwinkel, Schwimmwinkel, Schwerpunktlage, Eigenlenkverhalten;
- von den reifentechnischen Größen Reifenbreite, Profilart, Profiltiefe, Gummizusammensetzung, Luftdruck;
- von den Fahrverhaltensgrößen Geschwindigkeit und Fahrweise.

Als Kraftschluss zwischen Reifen und Fahrbahn bezeichnet man einen aus Adhäsion, Reibung und Verzahnung bestehenden Zustand, wobei die beiden zusammenwirkenden Oberflächen des Reifens und der Fahrbahn als gleichwertige Partner anzusehen sind.

Unter der Griffigkeit, besser dem Kraftschlussvermögen einer Fahrbahndecke ist der Einfluss zu verstehen, den ihre Oberfläche durch ihre stoffliche Beschaffenheit und insbesondere durch ihre geometrische Feingestalt auf die Größe der maximal vom Reifen auf die Straße abstützbaren Antriebs-, Brems- und Seitenkräfte ausübt. Die

Griffigkeit einer Straßendecke wird in Deutschland allgemein durch den Gleitbeiwert bei definierten Versuchsbedingungen gekennzeichnet. Der Gleitbeiwert ergibt sich als Reibungskoeffizient eines blockierten Rades, also bei 100% Schlupf.

Als geeigneter tangentialer Kraftschlussverlauf wird die von 95% neuzeitlicher Straßendecken erreichte Griffigkeit zugrunde gelegt. Diese Schranke entspricht in der Wahrscheinlichkeitstheorie etwa der „2-Φ-Grenze“.

Für die 95%-Linie der Griffigkeit wurden im Bereich von 20 km/h bis 80 km/h nicht lineare Regressionen vorgenommen und die hieraus resultierenden Kurvenzüge bis  $v = 140$  km/h extrapoliert.

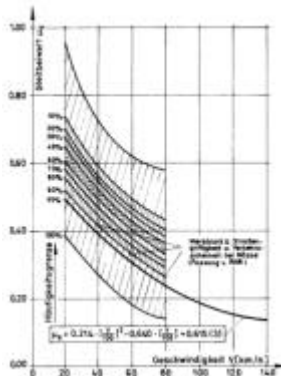


Bild 5

Als Kurve, die den wahrscheinlichen Verlauf der Griffigkeit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit am besten widerspiegelt, ergab sich ein Polynom zweiter Ordnung.

In den aktuellen Richtlinien RAS-L 1995 wird dieses Polynom für den maximalen tangentialen Kraftschlussbeiwert (= 95 % - Wert der Griffigkeitsbeiwerte) angesetzt, der nur geringfügig von den veralteten Richtlinien bzw. dem Kommentar aus dem Jahre 1979 abweicht.

$$\max f_T = 0,241 * \left(\frac{v}{100}\right)^2 - 0,721 * \left(\frac{v}{100}\right) + 0,708$$

In Bild 5 erkennt man, dass alle Versuche bei 80 km/h enden. Der weitere Kurvenverlauf ist nur eine eher theoretische Annahme, da über 80 km/h hinaus bis heute keine gesicherten Versuchsergebnisse – das tatsächliche Fahrverhalten von Straßenfahrzeugen betreffend – vorliegen.

Nach der aktuellen Formel von den RAS-L (1995) steigen die  $f_T$ -Werte fälschlicherweise ab einer Geschwindigkeit von ca. 150 km/h wieder an.

v	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$f_T$	0,458	0,408	0,362	0,321	0,285	0,254	0,228	0,207	0,190	0,178	0,171	0,169	0,171	0,179	0,191	0,208	0,230

### 3. Stand der Technik

Die Griffigkeit von Straßenoberflächen erfolgt derzeit in der Bundesrepublik Deutschland und in den meisten Ländern der Erde mittels Spezialfahrzeugen oder mittels einer kleinen Pendleinrichtung, die auf die zu untersuchende Straßenfläche gestellt wird.



Bild 6

In Bild 6 ist das Pendelgerät SRT dargestellt. Das im British Road Research Laboratory entwickelte Pendelgerät „Skid Resistance Tester“ SRT hat sich auch in der Bundesrepublik Deutschland durchgesetzt, als Ersatz zum Stuttgarter Reibungsmesser. Der SRT wird in Verbindung mit einem Wasser-Ausflussmesser eingesetzt. Die daraus gewonnenen Messergebnisse sind nur bedingt verwendbar.

Die Griffigkeitsmessungen werden in der Regel mit selbstfahrenden oder gezogenen Spezialfahrzeugen durchgeführt. Dabei wird ein Messrad eingesetzt, das entweder

- blockiert oder
- gebremst oder
- schräg gestellt oder
- in kombinierter Weise eingesetzt wird.

Folgende Fahrzeuge kommen zum Einsatz:  
Stuttgarter Reibungsmesser SRM (Bild 7)



Bild 7

An einem starken Lkw befindet sich am Heck in Fahrspurmitte ein längslaufendes Messrad, welches abgebremst wird. Die Reibungskraft wird über ein paralleles Gestänge auf das Messwerk übertragen. Die Messgeschwindigkeiten betragen in der Regel 40, 60 und 80 km/h.

Weitere Messfahrzeuge sind der Skiddometer (als Anhänger)



Bild 8

Er wurde vom schwedischen Strassen- und Verkehrsinstitut Linköping entwickelt. Mit einer starken Zugmaschine können Messungen bis zu 180 km/h durchgeführt werden.

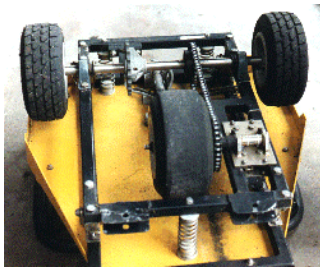


Bild 9

In Bild 9 ist die Unterseite des in England entwickelten Griptesters abgebildet. Das in der Mitte befindliche Messrad wird durch einen Kettenantrieb von der Hängerachse aus angetrieben. Es dreht sich etwas langsamer wie die beiden Räder. Es ist auf 15 % Schlupf eingestellt. Über Dehnmessstreifen wird die Längskraft am Messrad ermittelt.



Bild 10



Bild 11

Das in den Bildern 10 und 11 dargestellte SCRIM-Gerät (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine) wird auch in Deutschland eingesetzt. Es hat ein zur Fahrtrichtung um 20° schräg gestelltes Messrad auf der rechten Lkw-Seite. Das Messrad rollt unter Seitenschlupf ab. Damit wird der Seitenreibungsbeiwert ermittelt. Als Messrad wird ein profilloser schmaler Messreifen verwendet.



Bild 12



Bild 13

Auf den Bildern 12 und 13 ist der von der Universität Stuttgart entwickelte Universelle Reibungsmesser URM dargestellt. Das Messrad befindet sich in der rechten Fahrspur. Das Messrad ist am Fahrzeug so aufgehängt, dass es auch bei Kurvenfahrt ohne Sturz und seitenkraftfrei nachgeführt wird. Es wird definiert belastet und rechnergesteuert gebremst. Im Bereich des Messradspur wird auf die Fahrbahn ein konstanter



Wasserfilm aufgebracht. Aus den erfassten Größen Bremsmoment, Radlast, Fahrgeschwindigkeit und Schlupf lässt sich ein Maß für die Fahrbahngriffigkeit ableiten.

Eine ganz andere Art der Griffigkeitsmessung erfolgt mit dem Innentrommelprüfstand. Um dieses Zusammenwirken zwischen Reifen und Fahrbahn wissenschaftlich untersuchen zu können, hat die BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) einen Großversuchsstand gebaut: den Innentrommelprüfstand (Bild 14).

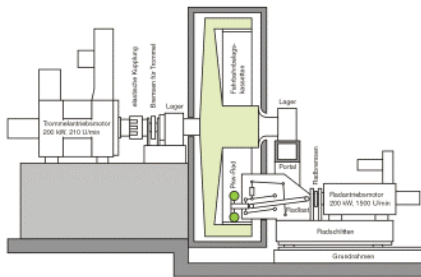


Bild 14

Kern der Anlage ist eine senkrecht rotierende Trommel mit einem Durchmesser von 3,80 m, die sich mit einer Geschwindigkeit bis 230 km/h drehen kann. In die Trommel werden Kassetten von 1 m Länge und 55 cm Breite eingebaut. Sie sind mit einem realen Fahrbahnbelag gefüllt. Auf diese Fahrbahn wird der Pkw-Reifen aufgesetzt.

Weitere Messgeräte sind (unvollständige Aufzählung):

- Remorque-LPC – Einachs-Messanhänger, von Citroen CX mit doppelter Hinterachse gezogen (Frankreich)
- Safegate Friction Tester, Spezial-Pkw Saab 9000 CS (Schweden)
- ATSM-Trailer (USA)
- Komatsu Skid Tester KST, Anhänger (Japan)
- Stradograph, Spezial-Lkw (Dänemark)
- OSCAR, Messachse (Norwegen)
- Delft Tyre Test Trailer (TU Delft)

Allen zuvor beschriebenen Messverfahren ist gemein, dass sie das tatsächliche Fahrverhalten eines Kraftfahrzeuges (hier: Pkw) z.T. nur in grober Vereinfachung nachvollziehen können. Die fahrdynamischen Eigenschaften eines Pkw lassen sich hiermit nur bedingt oder kaum ermitteln. Diese Frage spielt jedoch bei sicherheitsrelevanten Aspekten (wie z.B. Bremsweg, tangentialer und radialer Kraftschlussbeiwert sowie das Verhältnis beider Werte zueinander) eine bedeutende Rolle in der Verkehrssicherheit und bei der Unfallforschung.

## 4. Problemlösung mittels Kfz-Ortsdatenspeicherung

### 4.1 Verfahrensbeschreibung

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Griffigkeitswerte von Verkehrsflächen mit einem ganz neuen Verfahren zu ermitteln.

Die Reibungsbeiwerte der Straße ngriffigkeit werden mit einem normalen Pkw (oder sonstigen KfZ) durchgeführt, der mit den entsprechenden Messgeräten ausgestattet ist. Im Normalfall werden dies sein:

- Satellitennavigations-Zweikanal-Empfänger (mit oder ohne Differential-GPS) und – falls erforderlich bzw. zu Kontrollzwecken erwünscht

- Beschleunigungsmesser (Unfalldatenspeicher UDS von VDO-KIENZLE oder vergleichbare Messgeräte).

Bei der Fahrt über zu untersuchende Straßenabschnitte wird durch sehr kurze Bremsmanöver die Bremsverzögerung ermittelt. Dies geschieht einerseits direkt in dem Beschleunigungs-Messgerät, welches sich bei genügend starker Bremsverzögerung automatisch in Gang setzt. Andererseits werden mittels eines hochpräzisen Satelliten-Navigations-Systems (derzeit GPS) die Fahrdaten aufgezeichnet. Aus den genauen Fahrzeug-Ortsdaten im Sekunden- bzw. besser noch im 1/10-Sekunden-Intervall lassen sich die Werte von

- Ort (Lage und Höhe)
- Zeit
- Geschwindigkeit
- Bremsverzögerung

ermitteln. Daraus werden mit der Beziehung

$$f = \frac{a}{g} - \frac{s}{100} - \frac{W_L}{G}$$

die Kraftschlussbeiwerte  $f$  errechnet.

Es bedeuten:

- $a$  = Beschleunigung ( $\text{m/sec}^2$ ) =  $v \cdot dv/ds$
- $s$  = Längsneigung der Straße
- $W_L$  = Luftwiderstand des Pkw
- $G$  = Fahrzeuggewicht (beladen)

Die Geschwindigkeit (und daraus  $dv/dt$ ) ist absolut exakt zu ermitteln. Dies ist durch den Tachometer wegen des Radschlupfes nicht möglich. Andere Verfahren, die berührungslos optisch die Fahrbahn abtasten, sind anfällig für störende Einflüsse, wie z.B. nasse und spiegelnde Fahrbahnen. Als unabhängiges und sehr präzise arbeitendes Mess-System wird deshalb die Satelliten-Navigation gewählt.

Mit diesem Verfahren kann das tatsächlich vorhandene Reibwertmaximum und daraus wiederum die Straßengriffigkeit auf allen Verkehrsflächen mit jedem beliebigen Fahrzeug in allen Geschwindigkeitsbereichen festgestellt werden.

Die Ergebnisse können unmittelbar verwertet werden bei der

- Neuformulierung von Grenzwerten im Straßenentwurf
- Fahrzeug- und Reifenforschung
- Unfallforschung
- Unfallaufklärung und -auswertung
- Entwicklung eines kombinierten Fahrzeug-Datenspeichers
- Erweiterung einer Straßendatenbank.

#### **4.2 Durchführung der Griffigkeitstests**

Die Aufzeichnung der GPS-Daten während der Bremsversuche war zunächst mittels eines Einfrequenz-Empfängers von der Firma GARMIN (Typ GARMIN II+) in Verbindung mit einer Blackbox geplant.





Bild 15

Mit der Blackbox sollten die hohen Ungenauigkeiten (bis über 50 m Lagefehler) um den Faktor 10 reduziert werden mittels Korrekturdatenabgleich über einen Langwellensender. Im Jahre 1990 hatte der amerikanische Präsident Bill Clinton die seither aus militärischen Gründen vorhandenen GPS-Verfälschungen aufgehoben. Die Folge war: die Blackbox war unnötig und die Lagekoordinaten lagen im Genauigkeitsbereich von wenigen Metern. Die ersten Aufzeichnungen waren erfolgversprechend, aber trotzdem noch ungenau. Das lag an der geringen Datenrate von nur 1 Hertz. Vergleiche mit den Aufzeichnungen aus dem Unfalldatenspeicher der Firma VDO-KIENZLE (Automotive Mannesmann) zeigten z.T. gewisse Abweichungen. Während der Forschungsarbeiten hatte die Fachhochschule Konstanz für das Fach Ingenieurvermessung ein hochpräzises arbeitendes GPS-System Marke LEICA SR 530 angeschafft. Es handelt sich hierbei um einen Zweikanal-Empfänger mit Differential-GPS. Bei stationären Punktmessungen lassen sich damit Genauigkeiten im Millimeterbereich erzielen.

Die Bremsversuche wurden mit dem LEICA-Gerät ergänzt. Es ermöglicht eine Datenrate von 10 Hertz. Auf Bild 16 sind die Antennen für beide GPS-Systeme auf dem Autodach zu erkennen (in der Mitte LEICA, links daneben als kleine Flachantenne GARMIN).



Bild 16

Die seitherigen Ergebnisse vom LEICA-System sind weitgehend unbrauchbar. Das liegt einerseits am oft abgerissenen Empfangskontakt zu den Satelliten unter Brücken, andererseits aber an grundlegenden technischen Problemen. Nach intensiven Recherchen (u.a. auch bei der Firma ASTRIUM in München und Immenstaad, Abteilung Entwicklung Europäisches Satelliten-Navigations-System GALILEO) scheint festzustehen: LEICA arbeitet sehr präzise, ist aber für hohe Dynamik ungeeignet. Hierzu ist ein spezieller GPS-Empfänger erforderlich, der mindestens 1,5 (besser 2) g = ca. 15 bis 20 m/sec<sup>2</sup> folgen kann. Bei den Brems-tests wurden Werte weit über 10 m/sec<sup>2</sup> erreicht (z.B. mit einem Mercedes 500 CL auf dem Flugplatz Friedrichshafen). Geeignete GPS-Empfänger gibt es dafür auf dem Markt (USA und Kanada). Die einfacheren Geräte können nur den groben C/A - Code empfangen. Es müssen stets mindestens 4 Satelliten am Messort empfangbar sein, ohne Sichthindernis.

Bild 17 zeigt das Prinzip der Entfernungsmessung, Bild 18 die Anzahl der Satelliten pro 24 Stunden.

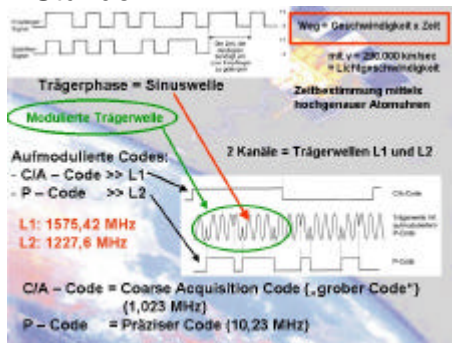


Bild 17



Bild 18

### 4.3 Testergebnisse

Die ersten Versuchsfahrten wurden mit dem privateigenen Pkw PASSAT durchgeführt, um die Lagekoordinaten zu ermitteln. Hierzu wurden verschiedene Software-Produkte getestet. Die besten Ergebnisse liefert für das GARMIN-Gerät das Programm FUGAWI. Das Problem besteht jedoch generell darin (auch bei LEICA), dass die Track-Aufzeichnungen auf ein metrisches Maß umzurechnen sind. Die in Deutschland üblichen Gauss-Krüger-Koordinaten werden von keinem Gerät unmittelbar abgespeichert.

Die verschiedenen Koordinatensysteme – ausgehend vom WGS84-System – verdeutlicht Bild 19.

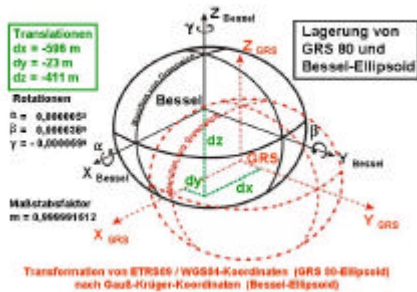


Bild 19

In Bild 20 sind die Rohdaten abgebildet, wie sie vom GARMIN-Empfänger abgespeichert werden. Aus ihnen sind die Werte Ort, Geschwindigkeit und Bremsverzögerung zu errechnen. Dies geschieht mittels Übertragung in eine EXCEL-Datei.

- # Jeder Datensatz enthält die folgenden Felder: # Geogr. Breite in Grad und Dezimalstellen (südl. Hemisphäre neg. Vorzeichen)
- # Geogr. Länge in Grad und Dezimalstellen (neg. Vorzeichen: westl. Greenwich)
- # UTM Rechtswerte (WGS84)
- # UTM Hochwerte (WGS84)
- # UTM Zone
- # Datum UTC (yyyymmdd)
- # Datum vor Ort (yyyymmdd)
- # Entfernung in Metern

```
47.7574396,9.5803303,5289504.28,543492.49,321,20000831,144333,17.8
47.7575845,9.5803839,5289520.41,543496.39,321,20000831,144335,16.6
47.7576864,9.5804268,5289531.76,543499.52,321,20000831,144337,11.8
47.7577561,9.5803732,5289539.48,543495.44,321,20000831,144339,8.7
```

Bild 20

Bild 21 zeigt eine Serie von Bremsstests vom 28.11.2000 auf dem Flughafen Friedrichshafen mit einem neuen Mercedes 500 CL. Dieser Pkw wurde von der Mercedes-Niederlassung Ravensburg für diese Testfahrten kostenlos zur Verfügung gestellt. Auf der Rollbahn wurde mehrmals hintereinander jeweils von 100 km/h und dann von 160 km/h mit höchster Bremslast auf Stillstand abgebremst. Im Bild ist davon nur ein Wert mit 160 km/h abgebildet.

Auf der extrem griffigen Landebahn wurden die Bremsstests sicherheitshalber nur von 120 km/h aus durchgeführt. Die Bremsverzögerungen betragen z.T. bis über  $12 \text{ m/sec}^2$ . Die Reibwertmaxima lagen zwischen 0,9 und 1,1.

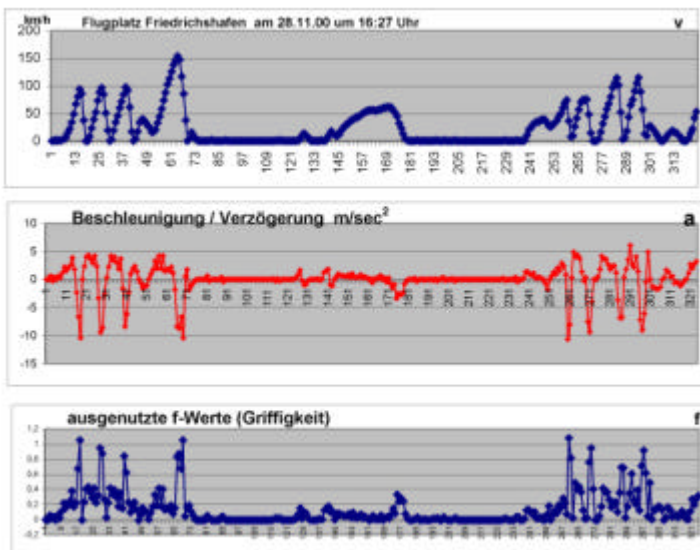


Bild 21

Bild 22 zeigt einen Ausschnitt eines Bremsversuches von Bild 21 von 120 km/h bis zum Stillstand.

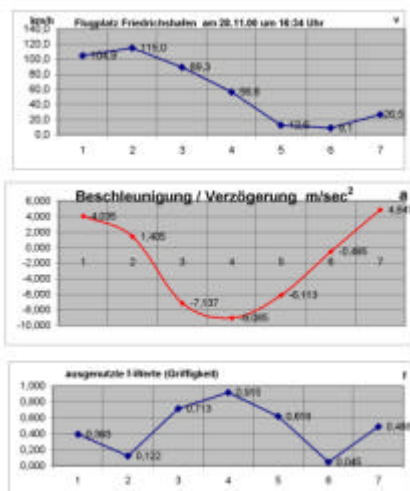


Bild 22

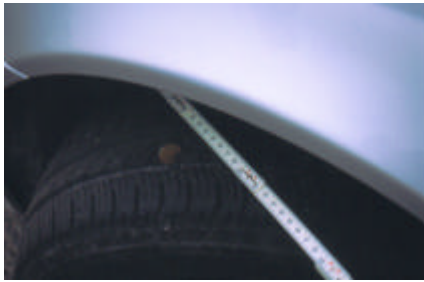


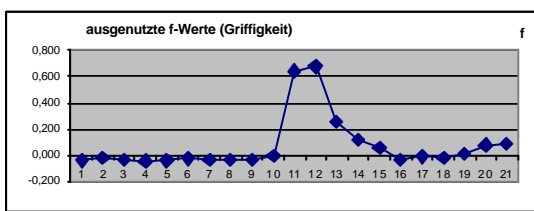
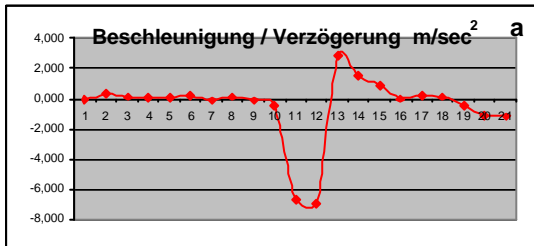
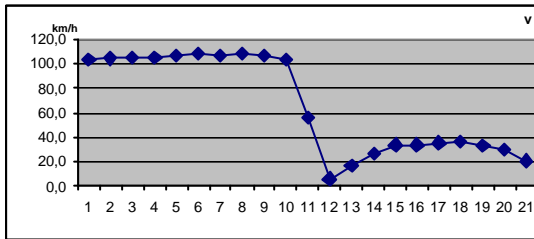
Bild 23

Die folgende Abbildung von Bild 24 stammt aus einer Testserie auf der B 30 neu bei Ravensburg. Die Tests wurden mit einem neuen Mercedes 220 CDI durchgeführt (siehe Bild23).

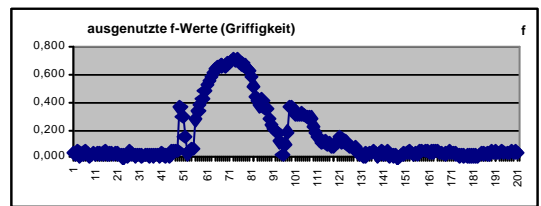
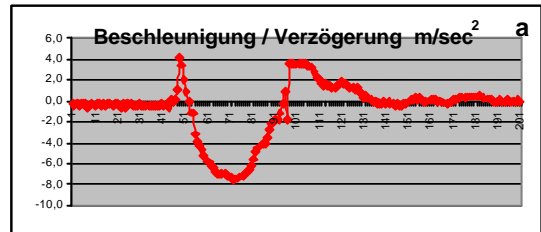
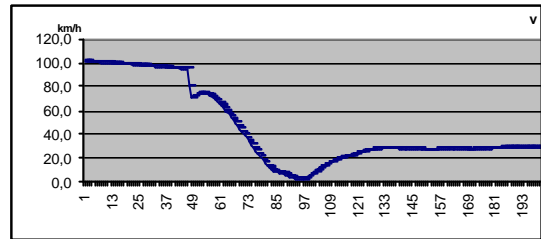
Test am 23.10.2001 um 11:23:15 Uhr - B 30 neu Nord bei Baidnt

**Vergleich: GARMIN : LEICA : UDS**

**GARMIN**



**LEICA**



**UDS-Aufzeichnung**

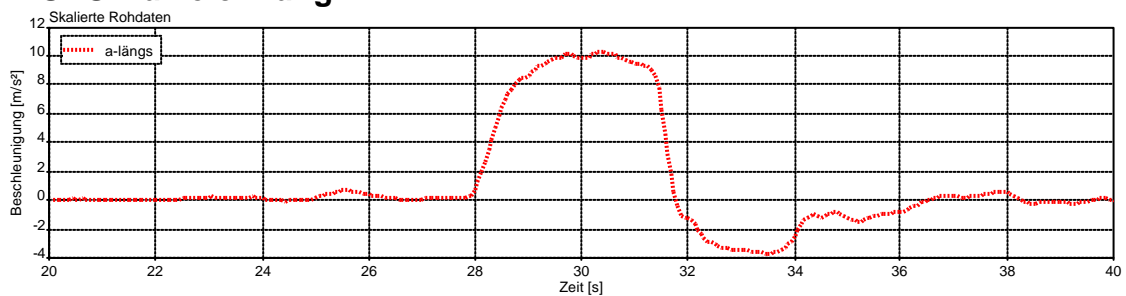


Bild 24

Bei der LEICA-Aufzeichnung sind untypische Zacken im Geschwindigkeitsprofil enthalten (der Empfänger verliert oft den Kontakt zu den Satelliten wegen sehr hoher Dynamik!).

Der steile Verlauf der Bremsverzögerung bei dem UDS-Gerät wirft einige Fragen auf. Diese können bei weiteren Versuchsreihen mit besseren GPS-Empfängern geklärt werden.

#### **4.4 Kritik**

Bei dieser Messmethode sollten GPS-Empfänger mit hoher Aufzeichnungsrate gewählt werden (mindestens 10 Hertz). Zweifrequenz-Empfänger sind wegen der weitaus höheren Genauigkeit Einfrequenzempfängern vorzuziehen. Die Dynamik der Empfänger muss mindestens 1,5 g betragen. Sinnvoll ist der Einsatz von Differential-GPS. Der Funkkontakt zwischen den GPS-Stationen sollte dabei mittels GSM-Technik erfolgen. Die Versuche wurden jeweils bis zum Fahrzeugstillstand durchgeführt. Dies ist jedoch prinzipiell nicht notwendig.

#### **5. Ausblick**

Die seitherigen Forschungsergebnisse zeigen, dass das Verfahren prinzipiell sehr gut geeignet ist, die Griffigkeit von Verkehrsflächen in allen Geschwindigkeitsbereichen mit jedem beliebigen Fahrzeug zu ermitteln. Die Bremsmanöver können dabei extrem kurz sein. Denkbar sind integrierte Aufzeichnungs-Systeme, die mit dem elektronischen Bordnetz gekoppelt sind.

Nutzungen und Einsätze sind denkbar bei

- Zusammenarbeit mit Institutionen der Unfallforschung und -aufklärung
- Entwicklung eines Unfalldatenspeichers, basierend auf GPS
- Entwicklung eines Fahrzeug-Datenspeichers, aus welchem für den Bordrechner wiederum Daten einfließen über den Straßenzustand sowie die Wirkung der Bremsanlage
- teilweiser Ersatz der schwerfälligen und z.T. ungenau arbeitenden Spezialfahrzeuge
- Vernetzung mit einer Straßendatenbank (diese existiert bereits; Griffigkeitswerte werden jedoch vereinzelt aus den tempo-konstanten Messungen der Spezialfahrzeuge eingegeben)
- Weiterentwicklung für die Fahrzeug-Bord-Elektronik
- Vollständige Integration in alle elektronischen Fahrzeugsysteme
- Verfahren für die amtliche Griffigkeitsmessung (Kontrolle durch Auftraggeber sowie Überwachung der Grenzwerte seitens des Straßenbau-Auftragnehmers im Rahmen der Gewährleistung).

Die Durchführung der Griffigkeitsermittlung mittels Kfz-Ortsdatenspeicherung in Verbindung mit der Satellitennavigation kann zu enormen Kostenersparnissen führen. Sehr teure Spezialfahrzeuge können dabei – zumindest teilweise - überflüssig werden.