

Erfassen und Bewerten der Fahrbahngriffigkeit mit den Meßverfahren SRM und SCRIM

Ermittlung von Vergleichs- und Wiederholstreuung bei SRM-Messungen

**Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen
Bereich Straßenverkehrstechnik**

Erfassen und Bewerten der Fahrbahngriffigkeit mit den Meßverfahren SRM und SCRIM

Dipl.-Ing. J. Kamplade
Dr.-Ing. H. Schmitz

Ermittlung von Vergleichs- und Wiederholstreuung bei SRM-Messungen

Dr. rer. nat. P. Krieg

Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach, Dezember 1984

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bereich Straßenverkehrstechnik

Brüderstraße 53

D-5060 Bergisch Gladbach 1

Telefon: (02204) 430

Telex: 8878483 bas d

Druck: Druck- + Verlagshaus Wienand, Köln

Vorwort

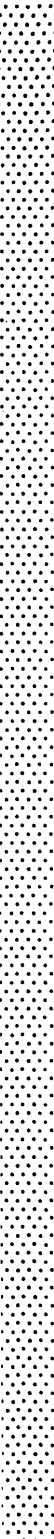
Seit einiger Zeit wird das in anderen Ländern verbreitete Griffigkeitsmeßgerät "SCRIM" wegen seiner hohen Leistungsfähigkeit auch in der Bundesrepublik Deutschland versuchsweise eingesetzt. Die Bundesanstalt für Straßenwesen hat deshalb die Eignung dieses Meßverfahrens in Relation zu dem in der Bundesrepublik gebräuchlichen Verfahren mit dem blockierten Schlepprad, das als Meßfahrzeug unter dem Namen Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) bekannt ist, aufgrund der im In- und Ausland verfügbaren Daten untersucht und für eine von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erbetene Stellungnahme den nachfolgenden Bericht gefertigt. Die Untersuchungsmethoden und Schlußfolgerungen wurden mit der FGSV im September 1983 eingehend erörtert. Als Ergebnis der Beratungen hat die FGSV festgestellt, daß beide Meßverfahren SRM und SCRIM für Griffigkeitsmessungen als geeignet anzusehen sind.

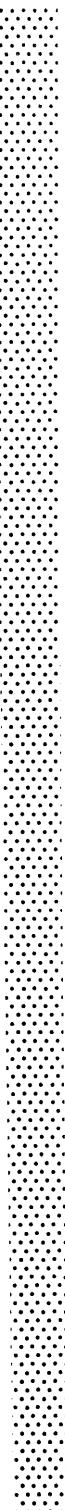
Da der Bericht und eine ergänzende Untersuchung über die Genauigkeit von SRM-Messungen Ergebnisse von wissenschaftlichem Interesse enthalten, werden sie hiermit allgemein zugänglich gemacht.

K. Krell



Erfassen und Bewerten
der Fahrbahngriffigkeit
mit den Meßverfahren
SRM und SCRIM





KURZFASSUNG, ABSTRACT, RÉSUMÉ

Erfassen und Bewerten der Fahrbahngriffigkeit mit den Meßverfahren SRM und SCRIM

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Fahrbahngriffigkeit für Forschungsaufgaben und bei Einzeluntersuchungen mit dem Blockierten Schlepprad (SRM) gemessen. Um zu klären, ob für netzdeckende Routinemessungen dieses Gerät oder das für solche Aufgaben speziell konzipierte Gerät SCRIM (Meßprinzip schräglauflaufendes Rad) eingesetzt werden soll, wurden beide Meßverfahren miteinander verglichen. Die Vergleiche beziehen sich unter anderem auf die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse, ihre Korrelation zu anderen Griffigkeitsbewertungen, ihre Abhängigkeit von jahreszeitlichen Einflüssen und auf die quantitative Leistungsfähigkeit der Meßgeräte. Sie fußen auf einer Vielzahl von Veröffentlichungen und auf neuen Ermittlungen. Die Frage der relativen Aussagefähigkeit verschiedener Griffigkeitskenngrößen wird erstmals mit korrelations- und regressionsanalytischen Ansätzen an parallelen Griffigkeitsmeßreihen und später erhobenen Unfallzahlen geprüft.

Die Auswertungen zeigen hinsichtlich der meisten Bewertungsaspekte ein ausgeglichenes Ergebnis; für den Einsatz in der Forschung und bei Einzeluntersuchungen wird die Beibehaltung des Meßverfahrens Blockiertes Schlepprad empfohlen. Sollen jedoch ganze Streckennetze regelmäßig durchgemessen werden, so hat für diese Routineaufgabe die Verwendung des SCRIM-Gerätes Vorteile. Entscheidend hierfür ist die in diesem Fall deutlich größere Meßleistung dieses Meßverfahrens, ohne daß die Aussagefähigkeit der Meßergebnisse geringer wäre. In dem für Routinemessungen relevanten Bereich niedriger Griffigkeiten wurden für dieses Gerät vielmehr tendenziell bessere Korrelationen zum Unfallanteil bei Nässe festgestellt.

Measurement and evaluation of skid resistance by means of SRM and SCRIM

In the Federal Republic of Germany, skid resistance measurements for purposes of research or on individual road sections are mostly performed by means of the locked wheel (SRM). In order to answer the question of the appropriate test method for area-wide routine measurements, the locked wheel or the SCRIM (principle of constant side slip angle), the latter being specially designed for such tests, the two methods were examined. The comparisons included, among other factors, the reproducibility of results, correlations with the friction values of other test equipment, seasonal effects on test results, and output efficiency. The comparisons were made based on large number of relevant publications and on new studies. Correlation and regression analyses were used for the first time to rate the validity of different skid resistance characteristics in parallel test series conducted by means of the two measuring methods on many road sections and the accident figures collected afterwards.

The investigations show for most comparisons balanced results. It is recommended to continue using the locked wheel for research purposes and individual studies. However, as far as performance characteristics are asked for in routine measurements on entire sections of the highway network, the use of SCRIM shows advantages. Decisive is its greater output efficiency in such applications without compromising the quality of evaluating skid resistance levels adequate to traffic safety. In the range of low skid values, being the values relevant for routine tests, the results obtained by means of the SCRIM tend to correlate better with the percentage of wet surface accidents.

Mesure et appréciation de l'adhérence des chaussées
à l'aide des procédés de mesure SRM et SCRIM

En République Fédérale d'Allemagne l'adhérence des chaussées est mesurée pour des buts de recherche et pour des études individuelles avec la roue bloquée (Indicateur de frottement de Stuttgart, SRM). En vue de juger si soit le SRM soit le SCRIM (principe roue envirée) spécialement conçu à ces fins est approprié aux mesures de routine sur le réseau entier ces deux procédés de mesure ont été comparés. Les comparaisons concernent entre autres la reproductibilité des résultats de mesure, leur corrélation avec d'autres appréciations de l'adhérence, leur dépendance des variations saisonnières et le rendement quantitatif des appareils de mesure. Elles se basent sur une multiplicité de publications et sur de nouvelles études. La valeur intrinsèque relative de différentes grandeurs caractéristiques de l'adhérence est prouvée pour la première fois à l'aide d'analyses de corrélation et de régression faites avec des séries de mesure parallèles et des taux d'accidents recensés ultérieurement.

Pour la plupart des comparaisons les dépouillements démontrent des résultats équilibrés; pour des buts de recherche et pour des études individuelles il est recommandé de maintenir le procédé de mesure roue bloquée. Dans le cas où des sections entières du réseau routier doivent être régulièrement mesurées l'utilisation de l'appareil SCRIM présente cependant des avantages. Le rôle décisif joue son plus grand rendement de mesure sans que la signification des résultats soit moindre. Dans la fourchette des valeurs d'adhérence peu élevées qui sont importantes pour les mesures de routine cet appareil fournit plutôt des résultats qui tendent à mieux corrélérer avec le pourcentage d'accidents sur chaussée mouillée.

I N H A L T

	Seite
1 Aufgabenstellung	1
2 Einführung	2
3 Anwendung von Griffigkeitsmeßverfahren	6
4 Die Meßgeräte SRM und SCRIM	9
4.1 SRM (Stuttgarter Reibungsmesser)	9
4.2 SCRIM (Sideways-force Coefficient Routine Investigation Machine)	12
5 Quantitative Leistungsfähigkeit	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 Reichweite der Meßgeräte	14
5.3 Reichweite der Meßreifen	15
5.4 Verkehrssicherung	16
5.5 Reparaturanfälligkeit, Geräteunterhalt	17
5.6 Datenaufbereitung	17
6 Meßunsicherheiten	18
6.1 Definitionen	18
6.2 Verfügbare Untersuchungen	19
6.3 Ergebnisse, Folgerungen	20
7 Griffigkeitsänderungen und jahreszeitliche Griffigkeitsschwankungen	22
7.1 Rauheitsänderungen und ihre Abbildung in Griffigkeitswerten	22
7.2 Untersuchungsergebnisse	23
8 Aussagefähigkeit von Griffigkeitskennwerten	29
8.1 Allgemeines	29
8.2 SRM und SCRIM im Spektrum der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Griffigkeitsmeßverfahren	30

8.3	Vergleichende Korrelationen mit den Unfallanteilen bei Nässe	33
8.3.1	Untersuchungsansatz	33
8.3.2	Erhebung der Griffigkeits- und Unfalldaten	33
8.3.3	Struktur der Daten, Länge der Teilstrecken	34
8.3.4	Vergleichende Korrelationsbetrachtungen	35
8.3.5	Der Unfallanteil bei Nässe als Funktion der Griffigkeit	39
9	Zusammenfassende Wertung und Folgerungen für die Einsatzbereiche der Geräte SRM und SCRIM	41
	SCHRIFTTUM	45
	ANLAGEN A 1 - A 16	

1 Aufgabenstellung

In der Bundesrepublik Deutschland wird die Straßengriffigkeit für Forschungsaufgaben und bei Einzeluntersuchungen an ausgewählten Meßstellen seit fast 30 Jahren mit dem "blockierten Schlepprad" [1], das als Meßfahrzeug unter dem Namen "Stuttgarter Reibungsmesser (SRM)" bekannt ist, gemessen. Für vereinfachte Griffigkeitsprüfungen hat zudem das Pendelgerät mit dem Ausflußmesser [2] als stationär eingesetzte Gerätekombination eine größere Verbreitung gefunden.

Seit längerem wird die Frage diskutiert, ob zusätzlich zu den genannten Geräten ein weiteres Griffigkeitsmeßgerät bzw. -meßverfahren für Routineuntersuchungen benötigt wird. In zahlreichen Ländern wird für diesen Zweck das nach dem Prinzip des schräglaufenden Rades arbeitende Meßgerät "SCRIM" verwendet; auch in der Bundesrepublik Deutschland wird es seit 1980 von einigen Straßenverwaltungen [3] versuchsweise eingesetzt. Die Aussagefähigkeit der Meßwerte dieses Verfahrens ist jedoch in der Bundesrepublik Deutschland bis heute umstritten [4].

Es soll deshalb die Zweckmäßigkeit dieses Meßverfahrens näher untersucht und insbesondere der Frage nachgegangen werden, wie die Aussagefähigkeit der Meßwerte des SCRIM in Relation zu dem in der Bundesrepublik Deutschland anerkannten SRM zu beurteilen ist.

2 Einführung

Im Straßenverkehr setzen die laufenden Änderungen von Fahrgeschwindigkeit und Fahrtrichtung, das Fahren in Kurven, das Ausweichen und Abbremsen ein hohes Maß an Reibung zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahn voraus. Dieser Reibung sind Grenzen gesetzt, die bei Nässe in einem weiten Bereich variieren und von den Eigenschaften der Fahrzeugreifen (Gummi, Profil, Abnutzung), der Fahrbahn (Mikro- und Makrorauheit) sowie von der Geschwindigkeit beeinflusst werden.

Zur Beurteilung des Beitrages der Fahrbahnrauheit zu dieser Reibung sind verschiedene Meßverfahren entwickelt worden. Sie haben zum Ziel, entweder die Mikro- und Makrorauheit der Fahrbahnoberfläche unmittelbar zu beschreiben und zu quantifizieren, oder sie messen die Wirkung der Rauheit auf einen definierten Bewegungszuständen unterworfenen Reifen (bzw. auf einen kleineren Gleitkörper aus Gummi am Pendelgerät) unter beispielhaften Annäherungsverhältnissen.

Bei der Simulation der Bewegungszustände des Reifens werden bestimmte Fahr- und Reibgeschwindigkeiten sowie Reibrichtungen längs oder quer zur Fahrbahn erzeugt. Das Verhältnis zwischen Reib- und Fahrgeschwindigkeit wird als Schlupf bezeichnet. Bei einem Schlupf von 100 % dreht sich das Meßrad nicht mehr, die Reibgeschwindigkeit ist gleich der Fahrgeschwindigkeit und man spricht vom Meßprinzip "blockiertes Rad". Wählt man einen Reibungszustand, bei dem die Reibgeschwindigkeit geringer ist als die Fortbewegungsgeschwindigkeit des Meßrades, so liegt ein Meßprinzip "mit Schlupf" vor. Der Schlupf wird bei in Fahrtrichtung abrollendem Rad durch Bremsung erreicht. Bei einem zur Fahrtrichtung schräg abrollenden Rad wird der Schlupf allein infolge der Schrägstellung des ungebremsten Rades erzeugt, wobei für die Größe des Schlupfes neben der Fahrgeschwindigkeit der Schräglaufwinkel des Rades kennzeichnend ist.

Isotrope Rauheitseigenschaften der Fahrbahn vorausgesetzt, ist es ohne größere Bedeutung, ob mit Schlupf in Längs- oder Querrichtung, also mit Brems- oder Seitenschlupf, gemessen wird, wenn die jeweiligen Gleitgeschwindigkeiten beachtet

werden [5]. Sind die Griffigkeitseigenschaften in Fahrtrichtung und quer dazu jedoch unterschiedlich, z.B. infolge gerichteter Einflüsse aus der Verkehrsbeanspruchung, wie dies mit der stationären Griffigkeitsmeßmethode Pendelgerät (SRT) feststellbar ist [5], dann müssen sich solche Unterschiede auch auf entsprechend gemessene Kennwerte auswirken.

Der Reibungszustand "blockiertes Rad" ist allgemein verständlich und bedarf keiner Erläuterung. Er wird auch als "Auffangposition" in der Reibungskurve über dem Schlupf bezeichnet, da "der Kraftfahrer bei einer Gefahrenbremsung das Blockieren der Räder nicht sicher vermeiden kann" ([6], S.184). Manche Autoren sehen den durch das blockierte Rad erzeugten Reibungszustand zum Kennzeichnen der Straßengriffigkeit als den maßgebenden an. Vom theoretischen Standpunkt wäre dennoch der Ermittlung der "Bruchlast" der Vorzug zu geben [6], wobei mit Bruchlast die "Kraftschlußgrenze" bezeichnet wird, die bei einem bestimmten Schlupfbetrag, dem kritischen Schlupf, erreicht wird, dessen Größe jedoch auch von der Höhe der Griffigkeit und den Versuchsbedingungen abhängig ist und nach [6] im Bereich von 10 ... 30 % Bremsschlupf und 15 ... 20° Schräglauf liegt.

Die Reibungskräfte steigen mit wachsendem Schlupf zunächst steil an, um in einem bestimmten Schlupfbereich, der mit wachsendem Griffigkeitsniveau zunehmend höher liegt, ihr Maximum zu erreichen (Anlage 1). Danach nehmen die übertragbaren Kräfte mit weiter steigendem Schlupf allmählich wieder ab, um schließlich bei einer Gleitgeschwindigkeit entsprechend der Fahrgeschwindigkeit (100 % Schlupf) in die vom blockierten Rad aktivierbaren Reibungskräfte einzumünden (Abb. 1.1). In der Meßpraxis verzichtet man im allgemeinen auf die exakte Bestimmung des jeweils kritischen Schlupfes und wählt einen einheitlichen Schlupfbetrag als Referenzschlupf. Dies gilt sowohl für die auf Längs- als auch für die auf Seitenschlupf basierenden, international bekannten Meßgeräte (z.B. Skidometer und SCRIM). Der Referenzschlupf wird so festgelegt, daß auf einem sehr griffigen Belag annähernd die maximale Reibungskraft gemessen wird, wodurch bei niedrigeren Griffigkeiten tendenziell etwas geringere

Werte als beim jeweils exakt kritischen Schlupf erhalten werden.

Die Wahl eines bestimmten Referenzschlupfes hat erhebliche meß- und anwendungstechnische Vorteile. Das Abweichen vom theoretisch idealen Schlupfmaß ist bei Routinemessungen, die in erster Linie der relativen Beurteilung von Fahrbahngriffigkeiten dienen, von geringer Bedeutung. Die daraus resultierenden Abweichungen gegenüber einer "idealen Bewertung" erscheinen gering im Vergleich mit anderen Vereinfachungen, die bei der Realisierung praxisgerechter Meßverfahren getroffen werden müssen. Solche Vereinfachungen sind notwendig bei der Wahl einer bestimmten Methode der Annäherung, bei einer Beschränkung auf eine einheitliche, rechnerische ("theoretische") Wasserfilmdicke trotz sehr unterschiedlicher Makrorauheiten der Fahrbahn und bei der Wahl eines speziellen Reifens mit bestimmtem Gummi und Profil sowie ggf. variierender Profiltiefe.

So wird in der Meßpraxis die komplexe Eigenschaft Fahrbahngriffigkeit bei Nässe immer auf eine (oder wenige) einfach zu ermittelnde, verfahrensgebundene Kenngröße reduziert. Um dennoch eine möglichst hohe Aussagefähigkeit erwarten zu können, wählt man in Analogie mit eingängigen Modellvorstellungen möglichst kritische oder beispielhaft mittlere Voraussetzungen für die einzelnen Parameter aus. Die Aussagefähigkeit der mit diesen Meßverfahren ermittelten Kenngrößen für die Fahrbahngriffigkeit wird mit statistischen Analysen geprüft. An vielen Fahrbahnabschnitten unterschiedlicher Rauheit erhobene Griffigkeitskennwerte und Unfallzahlen bei Nässe werden korrelativ untersucht. Je stärker die Fähigkeit des Meßverfahrens ausgeprägt ist, Abschnitte mit hohen (niedrigen) Unfallanteilen bei Nässe mit niedrigen (hohen) Kennwerten zur Fahrbahngriffigkeit in das dem Meßverfahren eigene Ergebnisspektrum einzuordnen, um so aussagekräftiger ist das Meßverfahren und die ihm zugrundeliegende Parameterkombination.

Obwohl primär die Aussagefähigkeit und die Genauigkeit eines Prüfverfahrens wichtig sind, kommt es nicht zuletzt auf die

Möglichkeit seiner praktischen Verwirklichung an. "Der Kostenaspekt, der sich aus den Faktoren Personalqualifikation, Geräte- und Zeitaufwand ergibt, kann seinerseits dazu führen, daß die Aussagefähigkeit eines Verfahrens zwar gegeben ist, aber mangels seiner Anwendung nicht genutzt wird". [7].

3 Anwendung von Griffigkeitsmeßverfahren

In der Bundesrepublik Deutschland wurden seit der Entwicklung des Prototyps "Stuttgarter Reibungsmesser" [8, 10] - beginnend 1950 - in erheblichem Umfang Aufwendungen für die Forschung auf dem Gebiet der Griffigkeit gemacht. Die Bedeutung der Straßengriffigkeit für die Verkehrssicherheit wurde in technischen Regelwerken erstmals 1966 und danach 1968 [1] näher dargestellt. Dabei wurden Richtwerte festgelegt, die sich auf das Meßprinzip "blockiertes Schlepprad" mit den am Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) gewählten Versuchsbedingungen beziehen. Zu diesem Zeitpunkt existierten bereits vier Meßfahrzeuge mit blockierten Schlepprädern dieser Bauart, ein fünftes kam im Jahr 1970 hinzu. Der Einsatz dieser Geräte blieb bis heute vorwiegend auf Messungen für die Grundlagenforschung und für die Entwicklung von Fahrbahnbelägen beschränkt. In Bayern, das über ein eigenes Gerät verfügt, wird auf Fernstraßen auch die Griffigkeit neuer Deckschichten überprüft.

In anderen Ländern wurden teils ähnliche Wege beschritten, teils jedoch auch mobile Meßverfahren entwickelt, die sich auf das Meßprinzip des mit Schlupf abrollenden Rades stützen. So hat das 1968 in England vom "Transport and Road Research Laboratory" als Prototyp hergestellte und 1972 für die industrielle Fertigung freigegebene Gerät SCRIM international eine große Verbreitung gefunden. Das Gerät wird dort zum Teil mit relativ großen Meßleistungen von 5000 bis 15000 km pro Gerät und Jahr [9] genutzt.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, Griffigkeitsmessungen für unterschiedliche Fragestellungen mit einem einzigen Gerät durchzuführen oder für verschiedene Aufgabenbereiche mehrere spezielle Meßgeräte einzusetzen. Dabei sind folgende Anwendungsbereiche von Bedeutung:

- a) Grundlagenforschung, basierend auf universellen Meßmöglichkeiten mit Längs- und Seitenschlupf bei kleinen bis großen Schräglaufwinkeln [8], z.B. zur Erfassung des komplexen Kraftschlußverhaltens von Reifen.

- b) Forschung zur Entwicklung und Verbesserung von Fahrbahnbelägen unter Einsatz spezieller Meßverfahren bei variablen Versuchsbedingungen (Meßgeschwindigkeiten, Wasserfilmdicken).
- c) Einzeluntersuchungen an neuen und bestehenden Straßen bei zweifelhafter Griffigkeit unter sorgfältiger Auswahl der Meßstellen.
- d) Regelmäßige flächendeckende Routinemessungen ganzer Straßennetze im Rahmen der Straßenunterhaltung.
- e) Messung der Griffigkeit unter räumlich begrenzten Verhältnissen, z.B. auf Straßenmarkierungen.
- f) Messung von Mikro- und Makrotextur als fahrbahnseitige Einflußgrößen auf die Griffigkeit.

Der Bereich a) erfordert einen technisch sehr aufwendigen Gerätetyp, mit dem prinzipiell auch praxisbezogene Messungen durchgeführt werden können, wie dies z.B. in Japan der Fall ist [9]. Ein Gerät dieses Typs stellt in der Bundesrepublik Deutschland der Universelle Reibungsmesser (URM) dar.

Die Bereiche b) und c) werden in der Bundesrepublik Deutschland traditionell vom Stuttgarter Reibungsmesser (blockiertes Rad) ausgefüllt.

Für den Bereich d) soll geprüft werden, ob dieses Gerät auch bei Erfassung größerer Netzlängen ausreichend leistungsfähig ist oder ob hierfür der Einsatz eines anderen Meßverfahrens zweckmäßiger ist. Wegen seiner Leistungsfähigkeit und seiner internationalen Verbreitung steht für diese Aufgabe das nach dem Prinzip des schräglaufenden Rades arbeitende Meßgerät SCRIM zur Diskussion.

In den Bereichen e) und f) werden bis heute im In- und Ausland überwiegend stationäre Meßverfahren, wie das SRT-Pendelgerät (Einfluß der Mikrotextur auf die Griffigkeit) und das Sandfleckverfahren bzw. der Ausflußmesser (Erfassung der Komponente Makrotextur) eingesetzt. Der technische Aufwand ist relativ gering und die Geräte können bei geringen Investitions-

kosten überall einfach vorgehalten werden. Der hohe Personalaufwand setzt jedoch einer breiteren Anwendung dieser Geräte Grenzen.

Da diese stationären Meßverfahren, die auf ihren Spezialgebieten unentbehrlich sind, nicht in unmittelbarer Konkurrenz zu den Großgeräten SRM und SCRIM zu sehen sind, können sie bei den weiteren Erörterungen über deren künftige Verwendung in der Bundesrepublik Deutschland außer Betracht bleiben.

4 Die Meßgeräte SRM und SCRIM

4.1 SRM (Stuttgarter Reibungsmesser)

Beim SRM ist das Meßrad am Heck eines Lastkraftwagens als Schlepprad angebaut. Es wird von einer eigenen Bremse bis zum Blockieren abgebremst und nach einem Gleitweg von 20 m (oder auch 40 m) kurzzeitig wieder freigegeben. Dieser Vorgang wird innerhalb einer Meßspurlänge von insgesamt 250 m über ein Regelsystem 10 mal wiederholt. Gemessen wird die aus dem Drehmoment des blockierten Rades abgeleitete Reibungskraft, die wegen der aus den Verzerrungen des Reifenlatsches folgenden unvermeidlichen Exzentrizitäten der resultierenden vertikalen Reaktionskraft der Radlast etwas größer ist als die eigentliche Reibungskraft zwischen Reifen und Fahrbahn. Die daraus resultierenden Abweichungen im Meßergebnis, die von dem anstehenden Griffigkeitsniveau beeinflusst werden, liegen beim zur Zeit für die Messungen benutzten Reifen im mittleren Griffigkeitsbereich (0,4 bei $V = 60$ km/h) bei 5 % [15]. Diese Abweichungen sind für den praktischen Gebrauch der Meßwerte als relative Größe im allgemeinen von untergeordneter Bedeutung. Zu beachten sind sie beim Vergleich mit Gleitbeiwerten von blockierten Meßrädern anderer Bauart sowie bei der Berechnung von Bremswegen aus Gleitbeiwertkurven.

Das Meßrad des Stuttgarter Reibungsmessers überträgt die Reibungskraft über ein Parallelogramm auf das Meßwerk. Weicht der Winkel des Parallelogramms infolge unterschiedlicher Einfederungen des Meßfahrzeuges vom rechten Winkel ab, so führt dies in Grenzen auch zu entsprechend abweichenden Meßwerten. Solche Abweichungen können auftreten infolge unterschiedlicher Füllungsgrade des für die Annäherung der Meßspur mitgeführten Wassertanks und durch Spurrinnen in der Fahrbahn, weil das Meßrad zwischen den Radspuren des Fahrzeuges mittig montiert ist. Zur Eliminierung des ersten Fehlereinflusses besitzt ein Teil der Meßfahrzeuge eine automatische Niveauregulierung der Hinterachse [16,17]. Der zweite Einfluß kann nur bei Kenntnis der Spurrinntiefe rechnerisch kompensiert werden. In vielen

Fällen erübrigt sich eine Korrektur aus den Winkelabweichungen im Parallelogramm, weil der Fehlereinfluß im allgemeinen unter 2 - 3 % bleibt [18].

Die Meßradbelastung wird bei drei Geräten mit Gewichten und bei zwei Geräten mit Luftdruck aufgebracht. Die letzte Version hat den Vorteil einer höheren Eigenfrequenz und einer geringeren Reaktion des Meßrades [18] auf Längsunebenheiten. Die Gewichtsbelastung ist einfacher, vermeidet Störquellen und Einflüsse auf die Meßgenauigkeit, die aus Variabilitäten eines mit Steuer- und Regeleinrichtungen versehenen Belastungssystems entstehen können.

Zur Annäherung der Meßspur führen die Meßfahrzeuge einen aufgebauten Wassertank (1,5 bis ca. 4 m³ Volumen) mit, der es bei durchgehender Messung und der vereinbarten Wasserfilmdicke erlaubt, zwischen 6 und 16 km [17] Spurlänge mit einer Füllung zu messen. Die Wassermenge wird so dosiert, daß sie - bezogen auf die aufgrund von besonderen Untersuchungen abgeschätzte Verteilbreite - ausreicht, um vor dem Meßrad eine rechnerische Dicke des Wasserfilmes von 1 mm zu erreichen. Ohne Nachtanken können zwischen 20 und 55 Meßergebnisse gemäß Merkblatt als Mittelwert einer 250 m langen Meßspur erfaßt werden, wobei Unterschiede zwischen den Einrichtungen der einzelnen Geräte zur Dosierung je nach Verteilbreite ebenfalls eine Rolle spielen.

Die Meßgröße wird überwiegend analog aufgezeichnet und von Hand bzw. halbautomatisch im Büro ausgewertet. Die Zuordnung der Meßergebnisse zur Streckenkilometrierung erfolgt bisher jeweils in einem gesonderten Arbeitsgang. Das Verfahren, die Ergebnisse sofort zu digitalisieren, wird bei dem in Stuttgart eingesetzten Gerät angewandt [19]. Wegen der intermittierenden Arbeitsweise des Meßsystems (20 m Blockieren, 5 m Freilauf) und der Wirkung der Massenkräfte während des jeweiligen Blockiervorganges ist die konkrete Integration der analogen Meßanzeige bei den verschiedenen Meßgeschwindigkeiten nicht einfach, weil sie sich auf einen unbeeinflußten Abschnitt der Blockierphase beschränken muß.

Als Meßreifen wurde früher ein normal profilierter, in Sonderanfertigung hergestellter Pkw-Reifen (Phoenix-P3) mit 8 mm Profiltiefe eingesetzt, der bis zu einer Profiltiefe von 4 mm benutzt wurde. Zur Zeit wird ein spezieller Meßreifen (PIARC-Europa-Reifen, PIARC = Permanent International Association of Road Congresses) mit 4 einfachen im Neuzustand 7,5 mm tiefen Längsrillen verwendet, der bis zu einer Restprofiltiefe von 5 mm genutzt werden soll.

Für Forschungs- und Entwicklungszwecke wird bei 40, 60 und 80 km/h (z.T. auch bei 100 km/h und darüber) gemessen und bei Routinemessungen nach Merkblatt [1] bei 40 oder 60 km/h auf Straßen mit langsamen sowie bei 60 oder 80 km/h auf Straßen mit schnellem Verkehr. Die 250 m langen Abschnitte werden nach Augenschein aus den zu bewertenden längeren Abschnitten ausgewählt. Eine sorgfältige Auswahl durch einen entsprechend vorgebildeten Ingenieur ist bei kritischen Griffigkeitsverhältnissen wichtig, um bei baulich oder verkehrlich bedingt wechselnden Griffigkeiten den Prüffehler für den zu bewertenden längeren Abschnitt in Grenzen zu halten.

Bei Routineuntersuchungen erschwert die mittige Montage des Meßrades am Fahrzeugheck des SRM die normalerweise in der rechten Rollspur vorgenommenen Griffigkeitsmessungen auf Straßen mit Gegenverkehr erheblich, wenn breitere Rand- oder Seitenstreifen fehlen. Auf schmaleren Straßen und immer dann, wenn mit Hochborden (Brücken, Wasserschutzgebiete usw.) zu rechnen ist, kann nur in der linken Rollspur gemessen werden. Dies erfordert besondere Sicherungsmaßnahmen mit Begleitfahrzeugen oder kurzfristige Sperrungen des Verkehrs in beiden Richtungen.

4.2. SCRIM (Sideways-force Coefficient Routine Investigation Machine)

Das Griffigkeitsmeßsystem SCRIM benutzt das Meßprinzip des zur Fahrtrichtung schräggestellten, unter Seitenschlupf abrollenden Meßrades. Gemessen wird die Reibungskraft, die das Rad in die Fahrtrichtung zurückdrängen möchte. Das Verhältnis der gemessenen Seitenkraft zur Radlast ist der Seitenkraftbeiwert (englisch: sideways-force coefficient), auch Seitenreibungsbeiwert (lateral friction coefficient) oder Querreibungsbeiwert (französisch: coefficient de frottement transversal) genannt. Der Schräglaufwinkel beträgt 20° . Verwendet wird ein von der PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) empfohlener profilloser, schmaler Meßreifen der Größe 3 x 20 (76 x 508).

Wegen der speziellen Ausrichtung des Meßfahrzeuges auf den Routinebetrieb ist das Meßrad mit der rechten Radspur spurkonform zwischen der Vorder- und Hinterachse seitlich eingebaut. Dies erübrigt in aller Regel zusätzliche Sicherungsmaßnahmen bei Griffigkeitsmessungen auf Autobahnen und Landstraßen. Weil das Meßrad innerhalb des Fahrzeugumrisses verschwindet, die zur Annäherung der Meßspur benötigte Wassermenge gering ist und vom nachfolgenden Hinterrad des Trägerfahrzeuges breiter verteilt wird, ist bei Messungen ein relativ unauffälliges Mitschwimmen im Verkehr möglich.

Die seitliche Reibungskraft wird unmittelbar in Höhe der Radnabe mit Hilfe einer Zugmeßdose gemessen. Die ordnungsgemäße Kalibrierung des Meßwerkes und die Kontrolle der gesamten Meßkette ist in einfacher Weise möglich. Die Aufstandslast des Meßrades ist durch ein Gewicht vorgegeben. Die bei der Einfahrt in enge Kurven am Meßrad zusätzlich wirkenden Seitenkräfte und der sich in Kurven geringfügig ändernde Schräglaufwinkel ist im Hinblick auf die Beurteilung der Griffigkeitsmeßergebnisse von untergeordneter Bedeutung. Das Meßsystem ist einfach gehalten und kommt mit wenig beweglichen Teilen und ohne Regelsystem für den Meßablauf aus, da die Reibungskraft kontinuierlich anliegt.

Die Meßspur wird aus einem mitgeführten, meist ca. 3 m³ großen Wassertank über ein Ausflußsystem mit einer rechnerischen Wasserfilmdicke von ca. 0,5 mm angehät. Die Konstanthaltung dieser Wasserfilmdicke ist nur bei einem Teil der SCRIM-Geräte optimiert [20]. Die in England vorgehaltenen Geräte besitzen standardmäßig keine Einrichtung, um bei allen Füllhöhen des Wassertanks die Druckhöhe an der Wasseraustrittsdüse stets gleichzuhalten, da der entsprechende Einfluß auf das Griffigkeitsmeßergebnis dort als vernachlässigbar eingestuft wird. Die Reichweite des Gerätes beträgt mit einer Wasserfüllung ca. 60 km.

Gemessen wird kontinuierlich bei gleichbleibender Geschwindigkeit und in der Regel über längere Strecken. Je nach Meßgeschwindigkeit wird alle 10 oder 20 m ein Mittelwert für den Seitenreibungsbeiwert berechnet und mit der zugehörigen Geschwindigkeit ausgedruckt. Einem Meßergebnis soll ein über 100 m Meßspurlänge gemittelter Wert zugrundegelegt werden. Die Meßergebnisse werden einschließlich der Meßgeschwindigkeit, den Straßendaten und der Kilometrierung für eine vollständig DV-integrierte Weiterverarbeitung (tabellierte Aufbereitung mit streckenbezogenen Histogrammen, Statistik) auf Magnetband gespeichert. Schwachstellen im Griffigkeitsband können aber auch über eine Anbord-Kontrolle der laufend mit der Streckenkilometrierung ausgedruckten Meßwerte ermittelt werden.

Die Meßgeschwindigkeit liegt in der Regel bei 50 oder 80 km/h, in Frankreich auch bei 60 und 100 km/h. Einheitliche Verfahrensregeln für die Messungen wurden mit einem detaillierten Vorschlag vom "PIARC-Committee on Surface Characteristics" auf dem Weltstraßenkongreß 1979 in Wien empfohlen [21].

5 Quantitative Leistungsfähigkeit

5.1 Allgemeines

Wesentlichen Einfluß auf die Gesamtleistung eines Griffigkeitsmeßverfahrens haben folgende Faktoren:

- Wasserverbrauch bzw. Reichweite der Meßgeräte pro Tankfüllung
- Mittlere Reichweite eines Meßreifens
- Erforderliche Verkehrssicherungsmaßnahmen
- Reparaturanfälligkeit, Wartung und Instandsetzung des Meßgerätes
- Zeitaufwand bei der Datenaufbereitung.

Hinzu kommen noch klimatisch bedingte Einschränkungen (keine Messungen in den Wintermonaten und bei sehr niedrigen Temperaturen). Da diese Einschränkungen für alle Meßverfahren gelten, sind sie bei der vergleichenden Wertung zwischen SRM und SCRIM für die Meßleistung ohne Bedeutung.

5.2 Reichweite der Meßgeräte

Maßgebend für den spezifischen Wasserverbrauch eines Griffigkeitsmeßverfahrens sind die rechnerische, vom Meßverfahren abhängige Dicke des Wasserfilms sowie dessen Breite, die unter Berücksichtigung der Abmessungen des Meßreifens zur Annäherung der Meßspur erforderlich ist. Zusammen mit dem Tankvolumen bestimmen diese Größen die Reichweite des Meßverfahrens, nach

der eine näher oder ferner gelegene Stelle (in der Regel eine Straßenmeisterei) zum Nachfüllen von Wasser angefahren werden muß.

Setzt man gleiche Tankvolumen voraus, so ergibt sich für die maximalen Reichweiten von SRM und SCRIM eine Relation von etwa 1:5. Dies bedeutet zum Beispiel: 16 km Reichweite für den 1981 von der BAST verbesserten und in Betrieb genommenen SRM [17] und 80 km Reichweite für das 1974 in Frankreich in Betrieb genommene SCRIM-Gerät [22]. Im praktischen Einsatz bedeutet dies auf Autobahnen kontinuierliche Messungen nur beim SCRIM ohne Leer- und Rückfahrten von einer Autobahnmeisterei zur nächsten. Wenn auf Landstraßen gelegentlich Wassertankmöglichkeiten in kürzeren Abständen als auf Autobahnen ohne Umwege und Entnahmeprobleme gegeben sind, reduziert sich der auch hier diesbezüglich anfallende erhebliche zusätzliche Aufwand beim SRM entsprechend.

Ein Ausgleich zwischen den grundsätzlich unterschiedlichen Voraussetzungen bei den beiden Meßverfahren ist nur möglich, wenn mit dem Gerät SRM nicht durchgehend gemessen wird. Würde man hier z.B. eine 25 %-ige Streckendeckung für ausreichend erachten (z.B. eine Standardmessung von 250 m Länge pro km, wofür annähernd 300 m/km angenäßt werden müßten), so könnte man eine Reichweite von etwa 50 km erzielen. Die auf der Basis durchgehender Messungen sehr hohen Leistungsvorteile des SCRIM könnten mit weiterer Reduzierung des tatsächlich durch den SRM gemessenen Streckenanteils auch ganz ausgeglichen werden. Damit ist jedoch systembedingt ein Verlust an Information verbunden.

5.3 Reichweite der Meßreifen

In Abhängigkeit vom Meßreifen (Gummi, Profil), der festgelegten Mindestprofiltiefe, vom Meßverfahren und von der Belagsrauheit variiert der Reifenverschleiß und die Streckenlänge, nach der ein neuer Meßreifen montiert werden muß, von ca. 10 bis über 100 km am Gerät SRM und von 100 bis 1.000 km

am Gerät SCRIM [9]. Für diesen Unterschied zwischen den beiden Geräten dürften neben dem Reibungszustand die am SRM als Kompromißlösung zwischen Einsatzleistung und Meßgenauigkeit gewählte Mindestprofiltiefe von 5 mm anzusehen sein.

Da die Reichweite der Meßreifen jedoch in der Regel über mehrere Wassertankfüllungen hinausgeht, ist sie für die grundsätzliche Beurteilung der Leistung beider Meßverfahren von nachrangiger Bedeutung.

5.4 Verkehrssicherung

Bei Messungen der Fahrbahngriffigkeit haben zusätzliche, über die dem Meßfahrzeug eigenen Warneinrichtungen (gelbe Rundumleuchte, Sicherheitsanstrich) hinausgehende Maßnahmen zur Verkehrssicherung einen maßgebenden Einfluß auf die erreichbaren Meßleistungen. Sie machen die Messungen ferner von der Mitwirkung anderer Dienststellen abhängig und sollten deshalb bei routinemäßigen umfangreichen Meßreihen im Straßennetz möglichst ganz entfallen können.

Beim Verfahren SRM ist im Hinblick auf die flexibleren Einsatzgrenzen im Rahmen von Einzeluntersuchungen, Gutachten und Forschungsarbeiten zur Erfassung der linken und/oder der rechten Rollspur eines Fahrstreifens das Meßrad am Fahrzeugheck mittig angebaut. Daraus folgt allerdings auch der u.U. besondere Aufwand für die Verkehrssicherung während des Messens. Ins Gewicht fallen dabei neben dem zusätzlichen Aufwand an Personal und Fahrzeugen die organisatorischen Probleme (Vorbereitung, Abstimmung, Wartezeiten, Abzug der Polizeifahrzeuge für Noteinsätze usw.). Bei Messungen mit dem Gerät SCRIM sind dagegen bei normalen Messungen auf Außerortsstraßen zusätzliche Maßnahmen zur Verkehrssicherung nicht erforderlich. Das Meßfahrzeug mißt routinemäßig in der rechten Rollspur ohne Spurversatz des Trägerfahrzeuges.

5.5 Reparaturanfälligkeit, Geräteunterhalt

Zeiten, die für die Wartung und Instandsetzung der Meßsysteme aufgrund ihrer Reparaturanfälligkeit erforderlich sind, haben einen großen Einfluß auf die jährliche Meßleistung. Ihr Anteil ist umso höher, je aufwendiger die Gerätekonzeption und je geringer die spezifische Leistung ist. Vor diesem Hintergrund sind für das SCRIM-Gerät gegenüber dem Stuttgarter Reibungsmesser Vorteile zu erwarten. Dies kann abgeleitet werden aus dem einfacheren Geräteaufbau des SCRIM-Gerätes, der ohne die Steuer- und Regeleinrichtungen für den intermittierenden Meßzyklus mit den vielfältigen hydraulischen, mechanischen und pneumatischen Zusatzaggregaten des blockierten Rades auskommt. Vergleichbare Erfahrungswerte liegen jedoch noch nicht vor.

5.6 Datenaufbereitung

Für eine rationelle Verwendung der Meßergebnisse aus Routineuntersuchungen ist eine vom Meßsystem erzeugte durchgehende Stationierung der Meßdaten und ihre Verknüpfung mit Streckendaten, die über eine Bedienungstastatur während der Meßfahrt zum Erhalt von Zusatzinformationen eingegeben werden kann, von besonderer Bedeutung. Wenn die Zuordnung dieser Daten erst in einem gesonderten Arbeitsgang nach den Messungen erfolgen kann, ist der Meßingenieur hierbei in zusätzliche zeitaufwendige Arbeitsgänge eingebunden.

Dieser Aspekt ist beim Verfahren SCRIM seit längerer Zeit zufriedenstellend gelöst. Für die vorhandenen Exemplare des Stuttgarter Reibungsmessers sind die diesbezüglichen Voraussetzungen bis jetzt unterschiedlich. Die Anfang der 70-er Jahre entwickelte und nur bei dem in Stuttgart eingesetzten Gerät eingebaute digitale Datenaufbereitung war nicht auf die routinemäßige Behandlung großer Meßdatenmengen ausgelegt worden. Daraus folgt derzeit noch ein Vorteil für das Verfahren SCRIM, der jedoch nicht grundsätzlich mit den Unterschieden zwischen den Meßprinzipien der beiden Geräte zusammenhängt.

6 Meßunsicherheiten

6.1 Definitionen

Die Meßunsicherheiten bei Griffigkeitsmessungen sind relativ groß, weil es sich um komplexe Meßtechniken und nur scheinbar um zerstörungsfreie Meßverfahren handelt. Für das Meßergebnis maßgebende Eigenschaften der Reibpartner Reifen und Fahrbahnoberfläche ändern sich während der Messung und durch dieselbe (Temperatur des Reifens, Reifenoberfläche, Fahrbahnrauheit).

Nicht näher definierbare und in ihrer Auswirkung nach Größe und/oder Richtung nicht quantifizierbare Abweichungen verursachen Streuungen. Die Quellen dieser Streuungen können in folgende Bereiche untergliedert werden:

- Meßgerät (Maschine, Annässung, dynamische Radlast, Meßkette usw.)
- Meßreifen (Herstellung, Alter, Nutzung, Oberflächenzustand, Profiltiefe)
- Bedienung (Kalibrierung, Spurhaltung, Meßgeschwindigkeit, Auswahl des Meßabschnitts)

Die Summe der Streuungen wird in Vergleichsmessungen (Ringversuchen) mehrerer Geräte erfaßt und mit statistischen Methoden in Wiederhol- und Vergleichstreuung gegliedert. Sie kennzeichnen die Meßgenauigkeit unter Wiederholbedingungen (ein- und dasselbe Gerät, derselbe Operateur einer Prüfstelle, jeweils dieselbe Probe) und unter Vergleichbedingungen (mehrere Geräte gleicher Bauart, verschiedene Operateure, verschiedene Prüfstellen, dieselben Proben) [23,24,25]. Die Vergleichstreuung ist stets größer als die Wiederholstreuung, da sie systematische Fehlerkomponenten der Geräte enthält, die innerhalb einer Prüfstelle nicht oder nur zum Teil erfaßt werden können.

An den Umfang und an die Durchführung von Ringversuchen bzw. Vergleichsmessungen, deren Ergebnisse als Basis für die Ermittlung von Wiederhol- und Vergleichstreuung herangezogen werden sollen, stellen die DIN- und ISO-Vorschriften hohe Anforderungen [25,26]. Danach sollen vor allem eine aus-

reichende Anzahl von Prüfstellen (5 bis 8 nach DIN 51848 bzw. ISO 5725) und Proben (6 nach ISO 5725) an den Versuchen beteiligt und der gesamte Anwendungsbereich des zu prüfenden Meßverfahrens hinsichtlich der Ergebnisse überdeckt sein. Ferner verlangen die Normen die routinemäßige Anwendung des Meßverfahrens, um praxisnahe Werte für die Meßunsicherheiten zu erhalten. Dies bedeutet, daß die Geräte für Vergleichsmessungen nicht besonders vorzubereiten sind und jedes Gerät mit seiner eigenen Einrichtung vom eigenen Personal kalibriert wird.

6.2 Verfügbare Untersuchungen

Für eine Abschätzung der Meßunsicherheit am SRM stehen Meßergebnisse aus mehreren begrenzten Vergleichversuchen der Jahre 1970, 1971, 1972 und 1981 zur Verfügung, die in der Regel auf 2 verschiedenen Straßenoberflächen mit 3 bis 5 Geräten stattfanden (Anlage 2) [27]. Mit Ausnahme des Versuches 1972 [28], der mit einer besonderen Zielsetzung nur auf einem Belag und nur mit einem Reifen vorgesehen worden war, war auch jeweils eine der Gerätezahl entsprechende Anzahl Reifen (beim Versuch 1981 PIARC-Europareifen längsgerillt, ansonsten Phoenix P3-Reifen) an den Messungen beteiligt. Da für zwei Geräte 1972 jedoch zusätzliche Messungen mit verschiedenen Reifen vorgelegen haben, konnten diese ebenfalls bei den Auswertungen in [27] berücksichtigt werden.

Allerdings ist festzuhalten, daß bei den umfangreicheren Messungen 1970 und 1971 mit jeweils 5 Geräten eine der beteiligten Prüfstellen die Meßreifen stellte und dabei eine Anzahl Reifen auswählte, die sich bei Versuchen auf Standardoberflächen in ihren Reibungseigenschaften als in engen Grenzen übereinstimmend erwiesen haben [29]. Der Einfluß der Reifenstreuung auf die Meßunsicherheit muß also geringer sein als bei routinemäßigen Messungen. Ferner wurden alle Geräte von einem Institut mit der institutseigenen Einrichtung kalibriert und vorsorgliche Überprüfungen des technischen Gleichstandes der Geräte vorgenommen [30].

Für das Meßverfahren SCRIM stehen Untersuchungen aus den Jahren 1978 und 1979 zur Verfügung [31], die auf jeweils 8 unterschiedlich griffigen Straßenoberflächen stattfanden. An den Versuchen waren 6 bzw. 7 Geräte beteiligt, wobei jedes Gerät mit dem Reifen gemessen hat, der gerade auf dem Gerät war, was bedeutet, daß die beteiligten Reifen aus verschiedenen Laborbeständen und Produktionsserien stammten [32].

6.3 Ergebnisse, Folgerungen

Die oben dargestellten und weitere Unterschiede bei Anlage und Aufbereitung der Ringversuche verbieten es, die für beide Meßverfahren ermittelten Meßunsicherheiten vorbehaltlos zu vergleichen. Sie werden deshalb in Anlage 3 nur im Sinne einer Orientierung einander gegenübergestellt.

Für das Meßverfahren SCRIM stehen für die Meßgeschwindigkeit 50 km/h, der überwiegenden Standardmeßgeschwindigkeit in England (Land- und Stadtstraßen), Werte zur Verfügung, die den Forderungen der DIN gerecht werden. Der Variationskoeffizient, der den relativen Meßfehler vergleichbar kennzeichnet, beträgt 6,3 % für die Versuche in [31], die praxisgerecht vor der einheitlichen Kalibrierung der beteiligten Geräte ("before recalibration") gefahren wurden.

Für das Meßverfahren SRM stehen keine gleichermaßen fundierten Versuche zur Verfügung. Was für die Standardmeßgeschwindigkeiten in Deutschland 40, 60 und 80 km/h verfügbar ist [27], wurde in der Anlage 2 tabellarisch wiedergegeben. Die daraus ermittelten, in der Anlage 3 zusammengefaßten mittleren Variationskoeffizienten für das Verfahren SRM sind mit 6,2, 6,8 und 8,8 % für die genannten Meßgeschwindigkeiten nicht günstiger als das für das SCRIM-Gerät genannte Ergebnis.

Demnach ist die Genauigkeit beider Meßverfahren derzeit als etwa gleich gut einzuordnen. Wesentliche Verbesserungen

können in der allgemeinen Meßpraxis bei keinem der beiden Geräte erwartet werden. So können bei breit angelegten routinemäßigen Griffigkeitsuntersuchungen auch die in [33] inzwischen empfohlenen Maßnahmen der Reifenbehandlung beim SRM gegenüber den o.g. Meßunsicherheiten keine Verbesserungen bewirken, da bei den umfangreicheren Vergleichversuchen vorausgewählte, möglichst gleichanzeigende Meßreifen verwendet worden waren und insofern günstigere Voraussetzungen bestanden als sie bei Routinemessungen und zudem über einen Reifenverschleißbereich von 7,5 bis 5 mm Profiltiefe eingehalten werden können.

7 Griffigkeitsänderungen und jahreszeitliche Griffigkeitsschwankungen

7.1 Rauheitsänderungen und ihre Abbildung in Griffigkeitswerten

Verkehr und Witterung verändern die Rauheit der Fahrbahnoberfläche zeitlich und örtlich. Mit der Intensität der polierenden Einwirkung der Fahrzeugreifen nimmt die Mikrorauheit ab und erreicht im Fahrbahnquerschnitt im Zentrum der Rollspuren die niedrigsten Werte und im Längsschnitt dort, wo die Kraftschlußbeanspruchungen vom Verkehrsablauf her besonders groß sind. Dies sind Bereiche mit ausgeprägten Beschleunigungen längs und/oder quer zur Fahrtrichtung (starke Krümmungen, Längsneigungen). Hinzu kommen insbesondere auf bituminösen Belägen größere Veränderungen der Makrotextur, die rollenden und saugenden sowie nachverdichtenden Einwirkungen der Reifen zuzuschreiben sind und die bei steigenden Temperaturen je nach Zusammensetzung der Deckschicht in relativ kurzen Zeiträumen stattfinden können.

Verschiedene Faktoren, insbesondere von den Niederschlägen und von Temperaturwechseln abhängige Verwitterungsprozesse, erhöhen dagegen die Fahrbahnrauheit. Klimabedingt jahreszeitlich stärker wechselnde Einflüsse auf diese Verwitterungsprozesse und die Stabilität der Fahrbahnoberfläche führen in Wechselwirkung mit den verkehrlichen Einwirkungen und den Maßnahmen des Winterdienstes zu mehr oder weniger ausgeprägten kurz- sowie längerfristigen Veränderungen und Schwankungen der Fahrbahnrauheit. Dieses Phänomen und die deutliche Abbildung dieser Schwankungen in im Winter deutlich höheren sowie im Sommer niedrigeren Griffigkeitswerten wurde zuerst in englischen Untersuchungen erkannt und gründlich erforscht [35].

Die Griffigkeitsänderungen sind nach Größe und Verlauf sehr unterschiedlich und hängen außer vom Klima von folgenden Einflußfaktoren ab:

- Art und Herkunft der Mineralstoffe
- Deckenbauweise

- Verkehrsbelastung
- jahreszeitliche Schwankungen der Verkehrsmenge
- Anteil der Spikereifen

Auf diesen Gründen sind die Griffigkeitsschwankungen, die auf verschiedenen Straßen auftreten, sehr unterschiedlich, was den Vergleich einzelner Griffigkeitswerte, die aus Routinemessungen verschiedener Zeiten stammen, ganz erheblich erschwert. Ferner können sie durch Griffigkeitswerte mehr oder weniger stark abgebildet werden, je nachdem ob das Meßverfahren (in Abhängigkeit von Meßreifenprofil, Reibungszustand, Meßgeschwindigkeit usw.) sensibler auf Differenzen in der Mikro- und/oder Makrotextur reagiert und abhängig davon, ob unter den konkreten baulichen, verkehrlichen und witterungsmäßigen Voraussetzungen die eine und/oder andere Rauheitskomponente größeren Veränderungen unterliegt.

7.2 Untersuchungsergebnisse

Zum Phänomen der jahreszeitlichen Griffigkeitsschwankungen wurden bisher keine Meßreihen mit dem Verfahren SRM bekannt, die auf wöchentlichen oder monatlichen Beobachtungen basieren. Allein für das Pendelgerät wurden in Deutschland detaillierte ca. 1 Jahr umfassende Untersuchungen veröffentlicht [11]. Sie sind in der Anlage 4 wiedergegeben. Die Abbildungen machen deutlich, daß die erfaßten Griffigkeitsunterschiede tatsächlichen Veränderungen des Belages zuzuschreiben sind und nicht wie manchmal vermutet, Unvollkommenheiten der Griffigkeitsmessung. Sie zeigen ferner, daß die jahreszeitlichen Schwankungen von zahlreichen kurzfristig wechselnden Änderungen, die in wenigen Tagen ablaufen können, überlagert werden. Längerfristige Vorgänge, wie die allmähliche Abnahme der mittleren Griffigkeit mit dem Alter der Decke bei stärkerem Verkehr sowie besondere Veränderungen durch Zu- oder Abnahme in der Verkehrsbelastung oder in der Folge außergewöhnlich hoher Temperaturen, kommen hinzu.

Eine Abschätzung der Größenordnung, mit der das Meßverfahren SRM jahreszeitliche Änderungen der Fahrbahngriffigkeit abbildet, erlauben Ende der fünfziger Jahre durchgeführte Untersuchungen, die bis zu 5 Messungen pro Jahr auf einigen Fahrbahn-Abschnitten enthalten [36]. Weitergehende Orientierungen ermöglichen zahlreiche halbjährliche Messungen auf 7 -9 Jahre lang beobachteten bautechnischen Versuchsstrecken [37-42]. Aus diesen Messungen wurde die in Anlage 5 aufbereitete Tabelle zusammengestellt. Berücksichtigt wurden alle 40 Beläge aller 8 Versuchsstrecken in Bayern der Jahre 1961-1971. Die maßgebenden Mineralstoffe in der Splitt- und Sandkomponente dieser Beläge sind Glaukoquarzit, Glaukoquarzit und Kies, Basalt und Kies, Basalt, Granit und Diabas. Für Griffigkeitsänderungen besonders anfälliges Kalkgestein ist nicht enthalten. Die mittleren DTV-Werte während der Beobachtungszeit der Strecken lagen auf den 7 Bundesstraßen zwischen 2000 und 7000 und auf der Autobahn bei 20.000 Fahrzeugen.

Ermittelt wurden jeweils die größte der sukzessiven Differenzen in der Fahrbahngriffigkeit zwischen den halbjährlich aufeinanderfolgenden Meßterminen (Frühjahr-Herbst bzw. Herbst-Frühjahr) sowie die Anzahl der in der zugehörigen Beobachtungsreihe möglichen Differenzbildungen, die im Mittel $n = 12$ beträgt. Die größten Differenzen zwischen benachbarten Meßterminen liegen je nach Belag und auf die Herbstwerte bezogen bei 21 bis 58 %, und ihr mittlerer Wert beträgt 35 % bei einem zugehörigen mittleren Gleitbeiwert von 0,39 der jeweils anliegenden Herbstmessungen.

Die beobachteten jahreszeitlichen Griffigkeitsdifferenzen sind um so größer je niedriger die Griffigkeit des Belages ist. Ermittelt man aus der vorliegenden Stichprobe mit Hilfe der Regressionsrechnung die in der Höhe des Richtwertes [1] von $\mu = 0,33$ bei der Meßgeschwindigkeit 60 km/h im Mittel zu erwartende "größte" Differenz, die bei sukzessiven halbjährlichen Beobachtungen in einem von etwa 12 Fällen erreicht oder überschritten wird, so ergibt sich ein $\Delta\mu = 0,15$

(bzw. 45 % von 0,33). Diese Differenz, die auf den untersuchten Strecken unter mittleren Randbedingungen (klimatisch, verkehrlich sowie bezüglich der Zufälligkeit der Meßzeitpunkte am Anfang und Ende der Meßsaison) auf einem bautechnisch für diese Veränderungen durchschnittlich sensiblen Belag anzusetzen ist, fällt zahlenmäßig etwa mit der Abschätzung von WEHNER in [43] zusammen, die für "Einzelabweichungen vom langfristigen Mittel bis zu etwa $\pm 0,06$..." lautet (entsprechend $\Delta \mu \approx 0,12$) "bei der Meßgeschwindigkeit 60 km/h ... bei Straßendecken, die nicht hauptsächlich aus Kalkstein bestehen."

Der langfristige Mittelwert aus den mittleren Differenzen aller Abschnitte (N = 40) beträgt 14 % bzw. $\Delta \mu = 0,06$. Übertragen auf den Richtwert von 0,33 ergibt sich unter Berücksichtigung der Abhängigkeit der Differenzen von der Höhe der Gleitbeiwerte für den langfristigen Mittelwert 24 % bzw. $\Delta \mu = 0,08$. Die in [43] angegebenen mittleren Schwankungen von $\pm 0,03$ (entsprechend einem $\Delta \mu \approx 0,06$) sind unter Berücksichtigung von Definitionsunterschieden etwas niedriger.

Weitere halbjährliche Griffigkeitsbeobachtungen in den Jahren 1970 bis 1978 sind in den Abbildungen der Anlage 6 dargestellt. Neben Messungen auf Autobahnen im westdeutschen Raum sind insbesondere Meßreihen wiedergegeben, die auf sehr unterschiedlichen Belägen der Inntalautobahn mit dem in Österreich eingesetzten SRM ermittelt wurden [44,45]. Die Darstellungen veranschaulichen die unterschiedliche Ausprägung der Griffigkeitsdifferenzen zwischen den halbjährlichen Messungen auf sehr verschiedenen Strecken. Ferner zeigen die Untersuchungen auf der Inntalautobahn besonders deutlich, daß die bautechnischen Parameter (hier z.T. auch Kalkstein in der Deckschicht) einen sehr großen Einfluß auf die quan-

titative Ausprägung der jahreszeitlichen Griffigkeitsschwankungen haben können. Die zwischen 1971 und 1978 auf den einzelnen Versuchsabschnitten erfaßte durchschnittliche Differenz zwischen den Messungen im Frühjahr und im Herbst lag je nach Belag bei 12 bis 60 % des im Herbst beobachteten mittleren Griffigkeitwertes. Diese Meßreihen bestätigen, wie der in der Anlage enthaltene Ausschnitt der Jahre 1972 - 1975 zeigt, daß die Griffigkeitsschwankungen umso stärker ausgeprägt sind, je geringer die Fahrbahngriffigkeit (Sommerwerte) eines Belages (hier insbesondere in Abhängigkeit von den Mineralstoffen) ist.

Die Problematik jedes Vergleiches und jeder Verallgemeinerung von quantitativen Angaben über jahreszeitliche Schwankungen der Fahrbahngriffigkeit haben die mit dem SRM gemessenen Beispiele bereits deutlich gemacht. Ergänzt werden diese Erkenntnisse durch Untersuchungen in den USA [46,47], die ebenfalls mit einem blockierten Rad gemacht wurden, aber unter Verwendung des ASTM-Griffigkeitsmeßreifens, der bezüglich der Abbildung der jahreszeitlichen Schwankungen mit dem heute in Deutschland verwendeten PIARC-Reifen vergleichbar sein dürfte (gleiche Gummimischung, gleiches Profil).

In [47] sind Meßreihen wiedergegeben, die Griffigkeitsbeobachtungen auf drei Belägen in Zeitabständen von i.M. etwa 2 Tagen über eine ganze Meßsaison von Anfang April bis Mitte November enthalten, und in der die kurzfristigen Instabilitäten, die die jahreszeitliche Tendenz der Griffigkeitsänderungen überlagern besonders deutlich werden (s. Anlage 7). Die von den kurzfristigen Griffigkeitsunterschieden befreite jahreszeitliche Tendenz der Griffigkeitsänderung der beiden bituminösen Decken umfaßt zwischen April und August einen mittleren Griffigkeitsabfall von $SN_{40} = 44$ auf $SN_{40} = 32$, also eine Gleitbeiwertdifferenz von $\Delta \mu = 0,12$. Ermittelt wurden diese Werte bei einer Meßgeschwindigkeit von 40 Mph, also etwa 64 km/h und bei einer Annäherung von ca. 0,55 mm theoretischer Wasserfilmdicke. Insgesamt zeigt der für die beiden

bituminösen Beläge ermittelte Verlauf der Gleitbeiwerte einen sehr ähnlichen Charakter wie die deutschen Beobachtungen mit dem Pendelgerät in Abb. 4.2.

Weitere in den USA beobachtete Griffigkeitsunterschiede zwischen Sommer und Winter haben eine ähnliche Größenordnung wie die unter 7.2 für den SRM ermittelten Zahlen. Die mittleren Differenzen der von kurzfristigen Instabilitäten befreiten mittleren Verlaufskurven in [44] ergeben für bituminöse Fahrbahnen bei DTV-Werten über 3500 Beträge von $\Delta SN_{40} = 12$ (entsprechend $\Delta \mu = 0,12$). Ferner wird in [46] gezeigt, daß die Griffigkeitsschwankungen auf stärker belasteten Fahrstreifen deutlicher ausgeprägt sind als auf schwächer belasteten Fahrstreifen einer Fahrbahn.

Vor diesem Hintergrund kann erwartet werden, daß die mit dem Meßverfahren SCRIM bisher ermittelten jahreszeitlichen Schwankungen der Fahrbahngriffigkeit [35,48,20] nach relativer Größe und Verlauf ähnlich große Bewertungserschwernisse mit sich bringen, wie sie bei kritischer Würdigung auch für den SRM festzustellen sind. Deutlich macht dies eine Gegenüberstellung der aus [44,45] und [20,49] entnommenen Untersuchungen mit dem SRM auf 16 Belägen der Inntalautobahn und mit dem SCRIM-Gerät auf 12 unterschiedlichen Streckenabschnitten rund um Lyon. In den Tabellen der Anlage 8 wurden jeweils die mittleren halbjährlichen Griffigkeitsdifferenzen über mehrere Jahre ermittelt. Hierzu wurden in Abb. 8.1 die aus etwa 10 Meßterminen pro Jahr bestehenden Griffigkeitsbeobachtungen in Lyon auf jeweils zwei Termine reduziert, die den Meßzeitpunkten April (Mai) und Oktober (September) auf der Inntalautobahn entsprechen. Die mit dem SRM bei 3 Meßgeschwindigkeiten beobachteten mittleren relativen Griffigkeitsdifferenzen von 21,4, 14,3 und 19,8 % sind vergleichbar mit dem Wert von 18,5 % aus den Beobachtungen mit dem SCRIM-Gerät.

Bei den Griffigkeitsmeßreihen liegt ein durch die Verwendung von Spikesreifen im Winter mitgeprägtes Bild der Jahresganglinien der Fahrbahnrauheit zugrunde. Es ist deshalb möglich, daß diese Griffigkeitsschwankungen unter heutigen Verkehrs-

einwirkungen in Deutschland ohne die Verwendung von Spikesreifen zu geringeren Werten tendieren würden.

In jedem Fall sind die Probleme, die aus den laufenden Veränderungen der Fahrbahnrauheit für eine zeitlich weitreichende Bewertung der Griffigkeit entstehen, erheblich. Um sie in vertretbaren Grenzen zu halten, sollten Griffigkeitsmessungen - da niedrige Griffigkeiten überwiegend im Sommer auftreten - in dieser Zeit durchgeführt werden. Die Einschränkung der Meßsaison auf möglichst wenige Monate im Bereich des "Griffigkeitstales" im Sommer kann die Bewertungserschwernisse weiter reduzieren. Mehrere (z.B. drei [48] Messungen im Sommer steigern die Aussagefähigkeit des daraus gebildeten "mittleren Sommer-Wertes".

8 Die Aussagefähigkeit von Griffigkeitskennwerten

8.1 Allgemeines

Eine vollständige Beschreibung der Griffigkeitseigenschaften einer Fahrbahn müßte die vielfältigen Reaktionen der Fahrzeugreifen auf die Rauheitseigenschaften der Fahrbahn bei realitätsnahen Nässezuständen berücksichtigen. Unterschiedliche Profile, Profiltiefen und Gummieigenschaften ergeben in Wechselwirkung mit der jeweiligen Fahrbahnrauheit im Mikro- und Makrobereich bei variierenden Reibungszuständen und auf die Rauheit abgestimmten, an definierten Niederschlagsintensitäten orientierten Wasserfilmdicken eine Vielzahl von Kraftschlußbeiwerten. Eine daran anzuschließende, auf die Verkehrssicherheit abzielende Bewertung würde allerdings auf große Probleme stoßen; für die Praxis wäre eine solche Vorgehensweise in Anbetracht der Vielzahl der erforderlichen Einzelmessungen nicht geeignet.

Alle Griffigkeitsmeßverfahren von praktischer Bedeutung zielen deshalb darauf ab, mit wenigen Messungen oder möglichst nur mit einer Messung auszukommen. Den hierfür ausgewählten Versuchsbedingungen werden beispielhaft mittlere oder auch kritische Verhältnisse zugrundegelegt. Es wird ein bestimmter Reifen mit voller bis mittlerer Profiltiefe eingesetzt oder auch, in Annäherung an den Reifenzustand bei zulässiger Mindestprofiltiefe, ein Reifen mit glatter Lauffläche. Ohne Rücksicht auf die Fahrbahnrauheit werden eine einheitliche Wassermenge und ein definierter Referenzschlupf verwendet. Mitunter wird - entsprechend der Verfahrensweise bei der Entwicklung von Fahrbahnbelägen, die sowohl für den Einsatz auf Straßen mit schnellem wie auch mit langsamem Verkehr geeignet sein sollen - die Meßgeschwindigkeit über zwei oder mehr Stufen variiert, sofern man nicht in Anbetracht der begrenzten Meßkapazitäten lieber mehr Straßen und stattdessen nur einen Kennwert erfaßt und dies mit einer der Straßenart angemessenen Geschwindigkeit, wodurch auch Verkehrsbehinderungen bei Messungen weitgehend vermieden werden können. Einer routinemäßigen Erfassung der Fahrbahngriffigkeit sollte stets nur eine einzelne, möglichst einfach zu ermittelnde Kenngröße zugrundeliegen.

Allerdings gibt es bei der Festlegung einer konkreten Kombination von Versuchsbedingungen unterschiedliche Auffassungen. Die Einschätzungen, welcher Reibungszustand, welcher Reifen usw. am besten geeignet sind, lassen sich im Hinblick auf die vielfältigen Aspekte des Kraftschlußgeschehens bei Nässe argumentativ kaum auf einen gemeinsamen Nenner bringen. Es gibt jedoch Möglichkeiten der quantitativen Untersuchung und Eingrenzung. So ist es vor allem möglich, die Meßwerte verschiedener Verfahren einer unabhängigen, aus dem Unfallgeschehen abgeleiteten Maßzahl für die Verkehrssicherheit bei Nässe, gegenüberzustellen. Je größer die Affinität zwischen den Griffigkeitsbewertungen eines Meßverfahrens und den relativen Unfallzahlen bei Nässe innerhalb einer größeren Stichprobe ist, umso geeigneter ist die dem Verfahren zugrundegelegte Kombination von Versuchsbedingungen für eine Ermittlung von Fahrbahnabschnitten mit für die Verkehrssicherheit problematischen Rauheitsmerkmalen.

Zunächst sollen jedoch im folgenden Abschnitt die relativen Aussagedifferenzen zwischen den Meßverfahren SRM und SCRIM vor dem Hintergrund der Korrelationsmaße des SRM gegenüber weiteren Griffigkeitsmeßverfahren nach dem Prinzip des blockierten Rades betrachtet werden.

8.2 SRM und SCRIM im Spektrum der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Griffigkeitsmeßverfahren

Im Rahmen der deutsch-französischen Zusammenarbeit wurden 1975 und 1976 Vergleichsmessungen mit vier verschiedenen Griffigkeitsmeßverfahren auf für solche Programme relativ vielen Belägen mit einem breiten Griffigkeitsspektrum

durchgeführt [50]. Drei der Meßverfahren, der Stuttgarter Reibungsmesser (SRM), der französische Remorque-LPC (R-LPC) und der schweizerische Skiddometer BV 8 (SKID) kennzeichneten die Griffigkeiten nach dem Meßprinzip "blockiertes Rad". Das vierte Meßfahrzeug, ein von der französischen Straßenverwaltung betriebenes SCRIM-Gerät, ermittelte den Seitenreibungsbeiwert am schräg zur Fahrtrichtung abrollenden Meßrad.

Ziel dieser Messungen war es, die Beziehungen zwischen den zahlenmäßig sehr unterschiedlichen Meßergebnissen dieser Verfahren und den in den einzelnen Ländern gebräuchlichen Bewertungsgrenzen (Richtwerten für die Fahrbahngriffigkeit) zu quantifizieren. Mit Hilfe der Regressionsrechnung wurden Schätzfunktionen für die wechselseitigen mittleren Erwartungswerte zwischen den einzelnen Meßverfahren ermittelt [50]. Je größer die relative Streuung der Einzelergebnisse um diese mittlere Beziehung ist, umso weniger gut sind die Verfahren in der Bewertung der Fahrbahnrauheit bezüglich deren Oberflächenwirkung "Fahrbahngriffigkeit" vergleichbar. Der Grad des korrelativen Zusammenhanges wird mit dem Korrelationskoeffizienten quantifiziert.

Weil die mittleren Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Griffigkeitsbewertungen nicht in allen Fällen im untersuchten Bereich eindeutig linearer Natur sind und weil die Meßverfahren die Fahrbahngriffigkeit zahlenmäßig sehr unterschiedlich stark aufspreizen, bietet sich für eine Bewertung der Rang-Korrelationskoeffizient nach Spearman (r_s) an [51]. Er wurde für alle drei Meßgeschwindigkeiten (40, 60, 80 km/h) jeweils für alle sechs Beziehungen zwischen den vier Geräten ermittelt (Tabelle in Anlage 9).

Die Ergebnisstrukturen sind besser zu übersehen in den schematischen Darstellungen auf der Anlage 9 unten. Die hinsichtlich des Meßprinzips zusammengehörigen blockierten Räder bilden in dem formalen Schema ein Dreieck, das Schräglaufrad wurde mit seiner Sonderstellung in der Mitte angeordnet. Die auf den Dreieckslinien angegebenen Korrelationskoeffizienten kennzeichnen die Ähnlichkeit zwischen den Rangfolgen, in die die blockierten Räder die untersuchten Beläge nach ihrer Griffigkeit eingestuft haben. Die auf den sternförmigen Verbindungen angegebenen Korrelationskoeffizienten bewerten die Vergleichbarkeit der Rangfolgen der einzelnen blockierten Räder mit der des Schräglaufrades (SCRIM). Insgesamt korrelieren die Meßverfahren bei den höheren Meßgeschwindigkeiten 60 und 80 km/h, wie sie bei Außerortsstraßen vornehmlich verwendet werden, besser als bei der Meßgeschwindigkeit 40 km/h.

Ferner ist festzustellen, daß die Rang-Korrelationen der blockierten Räder untereinander im Mittel keine besseren Koeffizienten liefern als die der blockierten Räder gegenüber dem SCRIM-Gerät. Relativ hoch (ca. 0,9) sind die Korrelationskoeffizienten für alle drei Meßgeschwindigkeiten zwischen dem SCRIM-Gerät und dem Skiddometer (SKID), dem blockierten Rad mit längsgerilltem Meßreifen, wie er inzwischen auch auf dem SRM heute in Deutschland mit der gleichen Gummimischung und Profilierung, jedoch mit verkleinerten Abmessungen (PIARC-Europareifen, längsgerillte Ausführung) verwendet wird. Geringere Korrelationskoeffizienten ergaben sich zwischen dem SRM mit dem seinerzeit noch verwendeten feinprofilierten Reifen und den SCRIM-Ergebnissen. Auch harmonisierten die Rangfolgen des SRM mit allen übrigen Geräten eher schlechter als die der anderen Geräte untereinander.

8.3 Vergleichende Korrelationen mit den Unfallanteilen bei Nässe

8.3.1 Untersuchungsansatz

Es gibt mehrere Untersuchungen mit den Meßverfahren SRM [52, 53, 54] und SCRIM [20, 55, 56, 57, 58], in denen Zusammenhängen zwischen Griffigkeitsmeßergebnissen und Unfallzahlen nachgegangen wird. Die Ergebnisse sind teilweise unterschiedlich und lauten für den SRM bezüglich der Hypothese Unabhängigkeit "auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 1\%$ verworfen" [52] und "auf einem Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ nachgewiesen" [53]. Vergleiche zu Untersuchungen mit dem Meßverfahren SCRIM sind wegen dieser uneinheitlichen Ausgangsbasis nicht möglich. Sie würden ferner nur begrenzt aussagefähig sein, da die Unfallstatistiken in den Untersuchungsländern (Deutschland, England, Irland und Frankreich) und die aus dem Unfallgeschehen abgeleiteten Maßzahlen (in deutschen Untersuchungen der "Unfallanteil bei Nässe"), aber auch der Verkehr, die zugrundeliegenden Straßenarten (z.B. Landstraßen in Irland, Autobahnen in Deutschland), die Witterungsverhältnisse und einiges mehr nicht vergleichbar sind.

Um dennoch eine Bewertung im Sinne der Frage zu ermöglichen, "welche der alternativen Meßverfahren die beste Korrelation mit der Gefahr des Auftretens von Rutschunfällen liefert" [59], oder daß vielleicht "keine der Methoden in dieser Hinsicht den anderen überlegen ist" [43], oder ob es "notwendig werden könnte, eine Kombination der verschiedenen Meßverfahren anzuwenden" [60], waren Untersuchungen erforderlich, in denen Zusammenhänge zwischen Unfallzahlen und Fahrbahngriffigkeiten in gleicher Weise und unter den gleichen Voraussetzungen ermittelt werden.

8.3.2 Erhebung der Griffigkeits- und Unfalldaten

Für diese Untersuchungen standen die im Auftrag des Landschaftsverbandes Rheinland im Jahre 1980 mit dem SCRIM-Gerät einer privaten Firma aus England auf ca. 500 km Richtungsfahrbahnen im Bereich des Autobahnamtes Köln gemessenen Seiten-

reibungsbeiwerte zur Verfügung. Parallel zu diesen Messungen waren mit einem der Stuttgarter Reibungsmesser der BAST die Gleitbeiwerte am blockierten Schlepprad bei der Meßgeschwindigkeit 80 km/h unter Verwendung des Meßreifens 165 SR 15 (PIARC-Europa-Reifen, längsgerillte Version) erfaßt worden. Danach wurden die Unfallzahlen der im gleichen Jahr (1980) auf diesen Strecken angefallenen Unfälle ermittelt. Für die Erhebung der Daten standen Unfalldatenbänder der amtlichen Unfallstatistik zur Verfügung. Auszug und Aufbereitung der Daten erfolgten programmatisch unter Einsatz der Datenverarbeitungsanlage der BAST.

Zusätzlich wurden für eine zahlenmäßig breitere Unfalldatenbasis auch die Unfallzahlen des Zeitraumes 1979-1981 ermittelt; eine inhaltliche Unschärfe der sich auf dieses Zahlenmaterial abstützenden Auswertung im Zusammenhang mit größeren Abweichungen des tatsächlichen Griffigkeitsniveaus im Laufe dieses dreijährigen Zeitraumes gegenüber den 1980 gemessenen Werten wurde dabei in Kauf genommen.

8.3.3 Struktur der Daten, Länge der Teilstrecken

Während seitens des Gerätes SCRIM mit Ausnahme der Baustellenbereiche durchgehende Meßdaten - wenn auch teilweise durch verkehrsbedingte Überholungen von langsameren Fahrzeugen und Abweichungen von der Nenngeschwindigkeit verzerrt - zur Verfügung standen, waren mit dem SRM in Anlehnung an das "Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe" nur Standardmessungen von jeweils 250 m Länge pro Streckenkilometer ausgeführt worden. Mit Rücksicht auf den spezifischen Wasserverbrauch des Gerätes und die Abstände zwischen den Autobahnmeistereien waren diese in zwei Überfahrten, zunächst auf den geraden und dann auf den ungeraden Kilometern gemessen worden. Dabei kam in der zweiten Überfahrt ein neuer Meßreifen zum Einsatz, so daß alle ermittelten Gleitbeiwerte bei Profiltiefen gemessen wurden, die deutlich über 5 mm lagen. Durch die Vorgabe, die Meßgeschwindigkeit 80 km/h am SRM stets im Rahmen der für Forschungszwecke üblichen Genauigkeit einzuhalten, kam es bei Verkehrsbehin-

derungen, aber auch vereinzelt durch Bedienungs- oder Gerätestörungen und im Zusammenhang mit dem Nachtanken von Wasser zur Auslassung von Messungen. Da sich die Lücken jedoch in Grenzen hielten, wurde eine dritte Überfahrt zur Schließung dieser Lücken nicht mehr durchgeführt.

Alle derartigen Streckenkilometer wurden bei der gesamten Auswertung dann später ausgeklammert, also auch für das Meßverfahren SCRIM nicht berücksichtigt. Ferner wurde mit dem Entwurf der Auswertestruktur eine zusätzliche Auswertemöglichkeit geschaffen, die Vergleiche zuläßt, die die geringere quantitative Leistungsfähigkeit des SRM ausgleichen; die Meßwerte des SCRIM wurden für diesen Zweck so reduziert, daß jeweils nur ein den SRM-Messungen entsprechender Streckenabschnitt von $12 \times 20 = 240$ m Länge je Streckenkilometer übrig blieb.

Darüber hinaus wurde die Länge der Streckenabschnitte für die korrelativen Vergleiche auf 2 km festgelegt, damit Effekte, die aus der Aufteilung der Messungen am SRM in zwei Überfahrten resultieren könnten, nicht zu dessen Lasten wirksam werden können. Ferner wurde durch den Einsatz von zwei Reifen weder der zulässige Verschleißbereich des Meßreifens zwischen 7,5 und 5 mm ausgeschöpft, noch können mit dem Reifenverschleiß zusammenhängende Streueinflüsse auf die Griffigkeitswerte voll durchschlagen. Durch die Mittelbildung über zwei diesbezüglich unabhängige Meßergebnisse werden sie vermindert; die beiden Meßreihen des SRM waren auf verschiedenen Streckenabschnitten begonnen und in regelloser Folge durchgemessen worden. Am Gerät SCRIM wurden dagegen alle Messungen mit einem Reifenexemplar abgewickelt. Es hatte am Ende der Meßserie mit einigen Wiederholungen 600 km Laufleistung erreicht. In den Meßwerten des SCRIM ist somit der ggf. vorhandene Streueinfluß aus der Reifenabnutzung voll enthalten.

8.3.4 Vergleichende Korrelationsbetrachtungen

Die Hintergründe für Straßenverkehrsunfälle sind sehr komplexer Natur. Die Straße kommt nur partiell und nur als eine unter vielen an einem Unfall mitwirkenden Ursachen in Betracht.

Soll in einfachen Regressionsansätzen der Einfluß der Fahr-
bahngriffigkeit auf das Unfallgeschehen dargestellt werden,
so kann ein überzeugender Nachweis nur dann erwartet werden,
wenn der Einfluß dieses Straßenmerkmals sehr stark ausge-
prägt ist. Die zur Bewertung der Abhängigkeitsmaße zu ermit-
telnden Korrelationskoeffizienten können nur kleine und
mittlere Größenordnungen erreichen, da die absoluten Unfall-
zahlen auf den Untersuchungsabschnitten meist klein sind und
die Zielgröße, der Unfallanteil bei Nässe, dann zufallsbedingt
großen relativen Abweichungen unterliegt.

Wählt man zur Reduzierung dieser Zufallseinflüsse eine größere
Länge für die Fahrbahnabschnitte, so führt dies zu einer zu-
nehmenden Nivellierung der Abschnittsmittelwerte für die Fahr-
bahngriffigkeit und zu einer entsprechenden Einengung der
Möglichkeit, den Einfluß niedriger Griffigkeiten auf das Un-
fallgeschehen in seiner vollen Breite darstellen zu können.
Ferner würde der Einfluß von Meßunsicherheiten der Griffig-
keitsmeßverfahren auf die Güte der Korrelation zunehmend un-
terdrückt, was genau im Gegensatz zum eigentlichen Versuchs-
ziel stünde, die Aussagefähigkeit zweier Meßverfahren im re-
lativen Vergleich so wirklichkeitsnah wie möglich zu prüfen.
Noch praxisnäher wäre eine kürzere als die aus erfassungs-
spezifischen Gründen gesetzte Mindestabschnittslänge von
2 km.

Um die zufallsbedingten Streuungen des Unfallanteils bei
Nässe in Grenzen zu halten, wurden in Anlehnung an die
früheren Forschungsarbeiten von SCHULZE [52] nur Strecken-
abschnitte in die Korrelationsanalyse einbezogen, auf denen
die Gesamtzahl der Unfälle im Beobachtungszeitraum, d.h. im
Unfalljahr 1980 bzw. im Unfallzeitraum 1979-1981 die Zahl 10
erreicht oder überschritten hat. Ferner wurde das gesamte
Material programmatisch auf der Rechenanlage so strukturiert
und für die einzelnen Vergleiche aufbereitet, daß jede parallele
Korrelationsanalyse mit den drei Verfahren zur Erfassung der
Griffigkeit

- SRM, gerasterte Erfassung mit 250 m/km
- SCRIM, gerasterte Erfassung mit 240 m/km
- SCRIM, lückenlose Erfassung (1000 m/km)

stets vergleichbare 2 km-lange Streckenelemente berücksichtigt, die mit allen drei Methoden vollständig bewertet, aus denselben Fahrbahnkilometern gebildet wurden und sich nicht überlappen.

Ermittelt und den vergleichenden Betrachtungen zugrundegelegt werden Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman (r_s), also parameterfreie Abhängigkeitsmaße, da die Daten wegen der Verteilungsstruktur der Unfallanteile bei Nässe keine binormale Grundgesamtheiten bilden können. Ferner ist ihre Höhe von den unterschiedlichen Maßsystemen, die den Abbildungen der Fahrbahngriffigkeit mit dem Verfahren SRM und SCRIM zugrundeliegen, unabhängig. Vor allem aber sind sie erforderlich, um auch bei Vorliegen eines nichtlinearen Zusammenhangs der einen oder anderen Griffigkeitsmeßgröße mit dem Unfallanteil bei Nässe eine korrekte und vergleichbare Ermittlung der Abhängigkeitsmaße erwarten zu können.

Die Ergebnisse der Korrelationen enthält die Tabelle der Anlage 10. Der Zusammenhang der Griffigkeit mit dem Unfallgeschehen ist in fast allen Fällen auf einem sehr hohen Signifikanzniveau gesichert (die Null-Hypothese wird in der Regel auf dem 0,1 %-Niveau verworfen). Die Korrelationsmaße aus der durchgehenden Messung sind meist etwas höher als bei den gerasterten Meßwerten des SCRIM-Gerätes (240 m/km) und hier auch noch etwas höher als bei der entsprechenden Messung mit dem SRM (250 m/km). Die Differenzen sind jedoch überwiegend vor dem Hintergrund der vorhandenen Stichprobenumfänge gering.

Die Abstufungen zwischen den Korrelationsmaßen der drei Verfahren der Griffigkeitserfassung und den Unfallzahlen treten

in ähnlicher Weise auf, wenn statt des Unfallanteiles bei Nässe entsprechend der Definition in [52] $U_N = U_{na\beta} / (U_{\text{ohne Angabe}} + U_{na\beta})$ der etwas einfacher zu ermittelnde Anteil der Unfälle auf nasser Fahrbahn an den Gesamtunfällen als Zielgröße verwendet wird. Relativ höhere Korrelationskoeffizienten kennzeichnen die Auswertungen, die allein Richtungsfahrbahnen mit zwei Fahrstreifen umfassen. Derartig abgegrenzte Stichproben wurden zusätzlich ausgewertet, um die Ergebnisse besser abzusichern und um Streuungsanteile zu vermindern, die aus den Einflüssen unterschiedlicher Querschnittsausbildungen auf das Unfallgeschehen [63] resultieren können.

Werden bei der Berechnung der Unfallanteile bei Nässe auch die beiden angrenzenden Unfalljahre 1979 und 1981 berücksichtigt, so nivellieren sich die Unterschiede zwischen den Korrelationsmaßen der drei Methoden der Griffigkeitserfassung weitgehend. Reduziert man jedoch die Analysen auf den eigentlich für die Praxis von Routinemessungen relevanten Griffigkeitsbereich, d.h. nur auf die untere Hälfte des auf Fahrstreifen von Bundesautobahnen anzutreffenden Griffigkeitspektrums (den Bereich der Richtwerte \pm ca. 0,10 am blockierten Rad), so ist eine Abstufung mit der Tendenz bessere Aussagefähigkeit der durchgehend und am Schräglaufrad des SCRIM gemessenen Griffigkeitskenngrößen auch bei der Auswertung über drei Unfalljahre deutlich. Ein möglichst gutes und bezüglich der Verkehrssicherheit aussagefähiges Differenzierungsvermögen vor allem im unteren Griffigkeitsbereich ist besonders relevant für Messungen, die vorwiegend Entscheidungshilfen bei Prioritätenreihungen für griffigkeitsverbessernde Maßnahmen oder für vorbeugende Verkehrsbeschilderungen liefern sollen.

Die Anlagen 11 und 12 veranschaulichen mit je einem Beispiel für die beiden Geräte den Streubereich der Datenkollektive. Sie enthalten auch lineare Regressionen, die näherungsweise den mittleren Zusammenhang der Einflußgröße Griffigkeit mit der Zielgröße Unfallanteil bei Nässe wiedergeben.

8.3.5 Der Unfallanteil bei Nässe als Funktion der Griffigkeit

Der mittlere Einfluß der Fahrbahngriffigkeit auf den Unfallanteil bei Nässe kann - vor allem im höheren Griffigkeitsbereich - besser dargestellt werden, wenn das Datenmaterial klassiert ausgewertet wird. Diese Analysen, differenziert nach dem einjährigen (1980) und erweiteren dreijährigen (1979-1981) Erhebungszeitraum für die Unfälle sowie für alle gemeinsam untersuchten Streckenkilometer und für das Teilkollektiv der Abschnitte mit nur zwei Fahrstreifen pro Richtungsfahrbahn, enthalten die Anlagen 13 und 14.

Für die Ermittlungen wurden die Bereiche der Meßergebnisse beider Geräte jeweils in gleich breite Klassen eingeteilt. Die Anzahl der Klassen wurde mit Rücksicht auf den Umfang der Stichproben [51] auf acht festgelegt. Wegen der unterschiedlichen Variationsbreiten der Meßergebnisse an den beiden Geräten ergeben sich dann zahlenmäßig unterschiedliche Klassenbreiten für die Griffigkeitswerte am blockierten Rad und am Schräglauftrad.

Wie besonders die Diagramme aufgrund der für das Jahr der Griffigkeitsmessung 1980 ermittelten Unfallzahlen deutlich machten (Anlage 13), können die Ergebnisse wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Unfallanteile bei Nässe gehen mit steigender Fahrbahngriffigkeit erheblich zurück.
- Ein Schwellenwert, bei dessen Überschreitung die Verkehrssicherheit mit weiter steigenden Griffigkeiten nicht mehr positiv beeinflußt wird, zeichnet sich erst am oberen Rand der im Rheinland auf Autobahnen erfaßten Griffigkeitswerte ab.
- Der Anteil der Unfälle bei nasser Fahrbahn ist bei niedriger Griffigkeit im Mittel 2 bis 3 mal so hoch wie auf den Fahrbahnabschnitten mit hoher Griffigkeit. Diese Differenzierung ist bei der Bewertung der Griffigkeit durch den Seitenreibungsbeiwert des SCRIM-Gerätes deutlicher als beim Gleitbeiwert des SRM.

Damit lieferte das SCRIM-Gerät Griffigkeitskenngrößen, die ein etwas ausgeprägteres Erklärungsvermögen für die unterschiedlichen Anteile der Unfälle auf nasser Fahrbahn zeigen als die mit dem blockierten Rad am SRM erfaßten Griffigkeitswerte. Eine entsprechende Vorgehensweise mit einer vergleichbaren Interpretation der unterschiedlichen Aussagefähigkeit zweier Maßzahlen für die Kurvigkeit von Straßen findet sich in [64].

9 Zusammenfassende Wertung und Folgerungen für die Einsatzbereiche der Geräte SRM und SCRIM

Die Tauglichkeit von Griffigkeitsmeßverfahren kann je nach den geplanten Anwendungsbereichen und je nach Gewichtung maßgeblicher Faktoren unterschiedlich beurteilt werden. Von besonderer Bedeutung ist eine ausreichende Reproduzierbarkeit und vor allem auch, daß die aus dem Verfahren resultierende Griffigkeitsbewertung eine möglichst gute Korrelation zum Unfallgeschehen auf nasser Fahrbahn aufweist.

Hierzu lassen die vorliegenden Untersuchungen und Erkenntnisse folgende Aussagen zu:

- Es gibt keine Anhaltspunkte dafür, daß die Aussagefähigkeit der Meßergebnisse des Verfahrens SCRIM geringer ist als die des SRM. Erstmals durchgeführte unmittelbare statistische Vergleiche der Korrelation beider Meßverfahren zu den Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn zeigen vielmehr insgesamt geringe Vorteile zugunsten des SCRIM-Gerätes. Während diese Vorteile über das gesamte Griffigkeitspektrum nur schwach erkennbar sind, zeigt sich in dem für Maßnahmenentscheidungen bedeutsameren unteren Teil des Griffigkeitspektrums eine deutlichere Tendenz.
- Vergleicht man die Variationskoeffizienten, so sind die Wiederhol- und Vergleichstreuungen des Meßverfahrens SCRIM nicht schlechter als die des SRM. Für diese Beurteilung stehen für das Gerät SCRIM umfangreichere Untersuchungen und besser abgesicherte Daten zur Verfügung als für den SRM.
- Es ist nicht erkennbar, daß die Griffigkeitskennzeichnung beim Meßsystem SCRIM in besonderer Weise einseitig ist; dessen Meßergebnisse korrelieren mit drei verschiedenen Geräten nach dem Prinzip des blockierten Schlepprades, die unter Verwendung von drei unterschiedlichen Meßreifen arbeiten, im Mittel gleich gut wie die Meßergebnisse dieser blockierten Räder untereinander.

- Es gibt aus den vorliegenden Ergebnissen - die allerdings nur aus Meßdaten mit etwa 1/2-jährigem Abstand hergeleitet werden konnten - keine deutlichen Hinweise darauf, daß das Verfahren SCRIM die jahreszeitlichen Schwankungen der Fahrbahngriffigkeit infolge Verkehr und Witterung mit größeren relativen Unterschieden registriert als der SRM. Die zugrundeliegenden Meßreihen, mit denen dieser Aspekt untersucht wurde, sind allerdings infolge verkehrlicher, klimatischer und deckentechnischer Unterschiede nur näherungsweise vergleichbar.

Daraus ergibt sich, daß für Forschungsaufgaben und für Einzeluntersuchungen die beiden Verfahren auf der Basis des heutigen Erkenntnisstandes als etwa gleichwertig einzustufen sind. Da für das traditionelle Meßverfahren nach dem Meßprinzip blockiertes Rad in Deutschland ein größerer Erfahrungshintergrund besteht sowie bereits fünf Geräte im Einsatz sind, sollte der SRM in seinem angestammten Anwendungsbereich auch künftig gegenüber dem SCRIM den Vorrang behalten.

Sind jedoch regelmäßig flächendeckend ganze Netzteile im Rahmen der Straßenunterhaltung durchzumessen, um Maßnahmen zur Verbesserung der Griffigkeit möglichst vorsorglich veranlassen und diesbezügliche Prioritäten einheitlich setzen zu können, so muß bei der Beurteilung des zu wählenden Meßverfahrens auch seine Leistungsfähigkeit mit herangezogen werden.

Für den SRM stehen dabei bezüglich der flächendeckenden Erfassung der Griffigkeit gegenüber einer Anwendung des SCRIM zwei alternative Meßweisen zur Diskussion:

- a) Die Griffigkeit wird ohne Lücken erfaßt.
- b) Die Griffigkeit wird mit Lücken, d.h. nach einem festgelegten Raster (z.B. eine Standardmessung von 250 m Länge pro Kilometer), erfaßt.

Bei der Alternative b) werden Informationsverluste in Kauf genommen, die auf Autobahnen hinnehmbar erscheinen, auf Landstraßen mit wechselnden Straßenmerkmalen jedoch beträchtlich sein können, weil in Bereichen mit unterschiedlichem Kraftschlußbedarf (stärkere Krümmungen und/oder Längsneigungen und/oder Verzögerungs- und Beschleunigungszonen) häufig große Griffigkeitsunterschiede zu verzeichnen sind. Zudem können bautechnisch bedingte Unterschiede in der Fahrbahnrauheit - z.B. infolge von Ausbesserungen und griffigkeitserhöhenden Maßnahmen - bei lückenhaften Messungen weniger gut erkannt werden.

Beide Alternativen werden in getrennten Beurteilungen mit der üblichen lückenlosen Meßweise des SCRIM-Gerätes verglichen. Die maßgebenden Gesichtspunkte sind in den Anlagen 15 und 16 dargestellt. Ergänzend hierzu ist folgendes anzumerken:

- Die Aussagefähigkeit der Griffigkeitskenngrößen, gemessen an Korrelationen mit dem Unfallanteil bei Nässe, führt, wenn man sie an dem für Routinemessungen relevanten Bereich niedrigerer Griffigkeiten orientiert, bei beiden Alternativen zu einer tendenziell besseren Wertung für das Verfahren SCRIM.
- Bei den Prüfsicherheiten wurde unterschieden nach dem üblichen Prüffehler, der nur die normalen Unsicherheiten, z.B. auch aus der Spurhaltung, beinhaltet und dem Prüffehler bei lückenhafter Messung, der zusätzliche Informationsverluste berücksichtigen muß. Im zweiten Fall (Anl. 16) sind dem SCRIM-Gerät tendenzielle Vorteile einzuräumen.
- Beim Verkehrssicherungsaufwand ist nach dem Straßentyp zu unterscheiden. Auf Autobahnen bestehen diesbezüglich kaum Unterschiede, da dort nach den Erfahrungen der BAST auch für den SRM zusätzliche Sicherungen entbehrlich erscheinen. Auf Landstraßen können bei Messungen mit dem SRM bei beiden Alternativen gegenüber Messungen mit dem SCRIM erheblich größere Aufwendungen anfallen, wobei u.U. mehr Personal

als für die eigentlichen Messungen erforderlich wird.

- Hinsichtlich der quantitativen Meßleistung ergibt sich wegen der unterschiedlichen Randbedingungen der Verkehrs-sicherung wiederum für zwei- und einbahnige Straßen eine unterschiedliche Beurteilung. Auf Autobahnen sind zumindest dann, wenn Standstreifen vorhanden sind und daher auch der SRM trotz mittiger Montage des Meßrades in der rechten Rollspur relativ problemlos messen kann, für den SRM nur bei lückenlosen Messungen (Alternative a) Leistungs-nachteile zu verzeichnen. Auf Landstraßen hingegen beeinflussen die Erschwernisse aus der Verkehrssicherung bei beiden Alternativen die quantitative Meßleistung des SRM.
- Die Meßleistung eines Meßgerätes ist auch für die Be-herrschbarkeit der Bewertungsprobleme aus jahreszeitlichen Griffigkeitsschwankungen ein bedeutsamer Faktor. Hier verbleiben folglich bei der Alternative a) bei beiden Straßentypen deutlichere und bei der Alternative b) auf Landstraßen noch tendenzielle Vorteile für das Verfahren SCRIM.

Für netzdeckende Routinemessungen überwiegen somit in der Summe die Vorteile des Meßverfahrens SCRIM gegenüber beiden Erfassungsalternativen mit dem SRM.

Köln, den 30. Mai 1983

SCHRIFTTUM

- [1] Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Ausgabe 1968, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [2] Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser, Ausgabe 1972, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [3] J.HAHN, Systematische Griffigkeitsmessungen - Ein Versuch beim Autobahnamt Köln, Straße und Autobahn, 3/1981
- [4] Griffigkeitsmeßverfahren, Stellungnahme des Arbeitsausschusses Straßengriffigkeit, Köln 1982 (unveröffentlicht)
- [5] V.R.SHAH, J.J.HENRY, Determination of Skid Resistance - Speed Behavior and Side Force Coefficients of Pavements, Transportation Research Record 666, Washington D.C., 1978
- [6] K.H.SCHULZE, Griffigkeit und Rauheit, Handbuch des Straßenbaues, Berlin-Heidelberg-New York, 1979
- [7] R.URBAN, Aussagefähigkeit von Prüfverfahren im Asphaltstraßenbau, Straße und Autobahn, 7/1979
- [8] Arbeitsausschuß Straßengriffigkeit, Stuttgarter Reibungsmesser und Universeller Reibungsmesser - Entwicklung und Anwendung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 1975 (unveröffentlicht)
- [9] OECD, Interaction and Optimisation of Road Surface Characteristics, Paris, Veröffentlichung in Vorbereitung
- [10] K.CROCE et al., Untersuchungen auf dem Gebiet der Straßengriffigkeit, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1, 1959
- [11] B.WEHNER, Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe - Meßergebnisse und Folgerungen, Straßen- und Tiefbau 10/1968
- [12] K.-H.SCHULZE, Griffigkeits- und Rauheitsmessungen auf Straßen mit dem Pendelgerät und dem Ausflußmesser - Neue Untersuchungen, Straße und Autobahn, 1/1973
- [13] B.WEHNER, Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen und Verkehrssicherheit, Straße und Autobahn 8/1965

- [14] R.JENSEN, Ny stradograf malebil, Dansk Vejtidskrift 7/1977
- [15] H.SCHMITZ, L.STADLER, Untersuchungen am Europa-Reifen (165/SR 15) für Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1977
- [16] J.GRANDEL, E.HÖRZ, Niveauregelung der Hinterachse beim Stuttgarter Reibungsmesser, FKFS-Bericht Nr.16, Stuttgart 1975
- [17] J.KAMPLADE, H.SCHMITZ, L.STADLER, Neues Meßfahrzeug zur Kennzeichnung der Fahrbahngriffigkeit, Straße und Autobahn 12/1981
- [18] J.GRANDEL, E.HÖRZ, Untersuchungen über die geometrischen und elastischen Einflüsse der Meßradaufhängung des Stuttgarter Reibungsmessers auf den Gleitbeiwert, FKFS-Bericht Nr.11, Stuttgart 1976
- [19] J.GRANDEL, E.HÖRZ, Verbesserung der digitalen Meßwertanzeige des Gleitbeiwertes sowie Bestimmung und Registrierung der Fahrgeschwindigkeit am Stuttgarter Reibungsmesser, FKFS-Bericht Nr.12, Stuttgart 1975
- [20] M.GOTHE, L'appareil SCRIM-Mesure en continue de L'adhérence pneumatique-Chaussée, Bulletin de liaison LPC, 103/1979
- [21] PIARC, Bericht des Technical Committee on Surface Characteristics, XVI-ter Weltstraßenkongress, Wien 1979
- [22] Kommission XIII ATR-FGSV-VSS, Griffigkeitseigenschaften der Fahrbahn, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Schriftenreihe Heft 13, Köln 1981
- [23] DIN 1319 Teil 3, Grundbegriffe der Meßtechnik, Entwurf 1981
- [24] DIN 51848 Teil 1, Prüffehler (Prüfung von Mineralölen), Entwurf 1979
- [25] DIN 51848 Teil 2, Präzision von Prüfverfahren (Prüfung von Mineralölen), Entwurf 1981
- [26] ISO 5725, Precision of test methods - Determination of repeatability and reproduceability by interlaboratory tests, International Standard ISO 5725, First edition, 1981

- [27] P.KRIEG, Ermittlung von Vergleichsstreuung und Wiederholstreuung bei SRM-Messungen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Köln 1983
- [28] H.SCHMITZ, Vergleichsmessungen mit 5 Stuttgarter Reibungsmessern im Jahre 1972 zur Ermittlung des Übereinstimmungsgrades der Geräte, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1973
- [29] Arbeitskreis "Vergleichsmessungen" im AA Straßen-griffigkeit, Niederschrift K.-H.SCHULZE über die Sitzung am 25.6.1968
- [30] G.RENNER, E.HÖRZ, Vergleichsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser vom 4.10. bis 8.10.1971, FKFS-Bericht Nr.39, Stuttgart 1971
- [31] J.R.HOSKING, L.W.TUBEY, Measurement of Skidding Resistance, Part V, The Precision of SCRIM Measurement, TRRL Report SR 642, Crowthorne 1981
- [32] J.R.HOSKING, Persönliche Mitteilungen zu [31], Crowthorne, December 1982
- [33] Hinweise für die Behandlung von Griffigkeitsmeß-reifen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsausschuß Straßen-griffigkeit, Köln 1981
- [34] J.DAMES, R.MERCKENS, Zur Frage der Meßunsicher-heit des "Stuttgarter Reibungsmessers (SRM)" und des englischen Meßgerätes "SCRIM", Anhang I zu [4], Berlin 1982
- [35] G.GRIME, C.G.GILES, The skid-resisting properties of roads and tyres, Proc. Inst. Mech. Eng. Automobi-le Division 1/1954-55
- [36] K.-H.SCHULZE, M.BARTZ, Untersuchungen über Ursache und Umfang der jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Straßen-griffigkeit, Technische Universität Berlin, Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Okt. 1967
- [37] H.SCHMITZ, Griffigkeitsmessungen zur Klärung der Zusammenhänge zwischen Aufbau und Griffigkeit von Straßendecken, Schlußbericht über die Versuchs-strecke 1 im Zuge der B12 bei Stegen/Ammersee, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1972
- [38] H.SCHMITZ, L.STADLER, Titel wie [37], Schlußbe-richt über die Versuchsstrecke 2 im Zuge der B8 bei Langenfeld, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1973

- [39] H.SCHMITZ, L.STADLER, Titel wie [37], Schlußbericht über die Versuchsstrecke 3 im Zuge der B8 bei Plattling, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1973
- [40] H.SCHMITZ, L.STADLER, Titel wie [37], Schlußbericht über die Versuchsstrecke 4 im Zuge der B471 bei Inning, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1973
- [41] H.SCHMITZ, L.STADLER, Titel wie [37], Schlußbericht über die Versuchsstrecke 5 im Zuge der B8 bei Markt Einersheim, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1974
- [42] H.SCHMITZ, L.STADLER, Versuchsstrecke zur Ermittlung des Einflusses von vorbituminiertem Füller auf die Griffigkeit von Asphaltbeton-Deckschichten, Bundesanstalt für Straßenwesen, Inzell 1974
- [43] B.WEHNER, Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe - Forschungsergebnisse und Folgerungen, Beitrag 26, Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Berlin/München/Düsseldorf 1970
- [44] W.WEISS, Einfluß verschiedenartiger Zuschlagstoffe auf die Dauerhaftigkeit und Griffigkeit bituminöser Fahrbahndecken, Bundesministerium für Bauten und Technik, Straßenforschung Heft 128, Wien 1979
- [45] W.WEISS, Persönliche Mitteilungen mit detaillierten Angaben (1972-1975) zu den Meßreihen in [48], Innsbruck, Januar und März 1983
- [46] J.L.BURCHETT, R.L.RITZENBERGS, Seasonal variations in the skid resistance of pavements in Kentucky, Transport Research Record 788, Washington 1980
- [47] R.R.HEGMON, Seasonal Variations in pavement skid resistance - are these real ?, Public Roads, Vol.42, No 2, September 1978
- [48] J.R.HOSKING, G.C.WOODFORD, Measurement of skidding resistance, Part I, Guide to the use of SCRIM, TRRL Laboratory Report 737, Crowthorne 1976
- [49] M.GOTHIE, Persönliche Mitteilung mit zusätzlichen Angaben zu [20], Lyon December 1982
- [50] J.KAMPLADE, Internationale Vergleichsmessungen zur Straßengriffigkeit im Rahmen der deutsch-französischen Zusammenarbeit, Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Köln 1979

- [51] L.SACHS, Statistische Auswertemethoden, Berlin-Heidelberg, 1972
- [52] K.-H.SCHULZE, J.DAMES, H.LANGE, Untersuchungen über die Verkehrssicherheit bei Nässe, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 189, Bonn 1975
- [53] J.SCHNEIDER, Unfallanalytische und fahrdynamische Beurteilung der negativen Querneigung, Veröffentlichungen des Institutes für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 27, 1982
- [54] K.-H.SCHULZE, J.DAMES, Griffigkeitsmessungen auf Bundesfernstraßen, Berlin Mai/Okt. 1976
- [55] B.E.SABEY, The road surface and safety of vehicles, Proc. Institution of Mechanical Engineers, Vol. 183, Part A 1968-69
- [56] B.E.SABEY, Accidents, their cost and relation to surface characteristics, Paper presented at a symposium on safety and the concrete road surface-design, Birmingham, 29.Nov.1973
- [57] F.CROWLY, Friction characteristics of road surfaces, An Foras Forbatha, RS. 195, Dublin 1976
- [58] J.LUCAS, Caracteristiques de surface des Chaussées, Etat actuel des Travaux en France, Bull. de liaison LPC 111/1981
- [59] C.G.GILES, Road slipperiness measurements, Beitrag 3, Internationales Colloquium über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Berlin/München/Düsseldorf 1970
- [60] PIARC, XII Internationaler Straßenkongress, Rom 1964
- [62] G.A.LIENERT, Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik, Band I, 1973
- [63] E.BRÜHNING, Untersuchung der Unfälle mit Personenschäden auf Autobahnen, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223, Bonn 1977
- [64] H.G.KREBS, J.H.KLÖCKNER, Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen- und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223, Bonn 1977

ANLAGEN

- 1 Reibungsbeiwerte in Abhängigkeit vom Schlupf
- 2 Meßgenauigkeit des SRM
- 3 Wiederhol- und Vergleichsstreuung von SRM und SCRIM
- 4 Witterungsbedingte Griffigkeitsschwankungen, deutsche Untersuchungen mit dem Pendelgerät
- 5 Jahreszeitliche Griffigkeitsdifferenzen auf Bundesfernstraßen
- 6 Jahreszeitliche Griffigkeitsänderungen erfaßt mit dem SRM
- 7 Kurzfristige Griffigkeitsänderungen und langfristige Griffigkeitsschwankungen, Untersuchungen mit dem blockierten Rad in den USA
- 8 Halbjährliche Griffigkeitsdifferenzen erfaßt mit SRM und SCRIM
- 9 Rang-Korrelationskoeffizienten zwischen vier Reihen von Griffigkeitsbewertungen
- 10 Vergleichende Korrelationen zwischen Griffigkeitskennwerten der Meßverfahren SRM und SCRIM und den Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn
- 11 Zusammenhang zwischen Griffigkeitskennwerten des SRM und Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn
- 12 Zusammenhang zwischen Griffigkeitskennwerten des SCRIM-Gerätes und Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn
- 13 Unfallanteil bei nasser Fahrbahn als Funktion der Griffigkeit, Unfallerhebung 1980
- 14 Unfallanteil bei nasser Fahrbahn als Funktion der Griffigkeit, Unfallerhebung 1979-1981
- 15 Relative Eignung der Meßverfahren SRM und SCRIM für die Erfassung der Griffigkeit ganzer Straßennetze, Fall A: durchgehende Messung mit dem SRM
- 16 Relative Eignung der Meßverfahren SRM und SCRIM für die Erfassung der Griffigkeit ganzer Straßennetze, Fall B: ausschnittsweise Messung mit dem SRM

Anlage 1: Reibungsbeiwerte in Abhängigkeit vom Schlupf

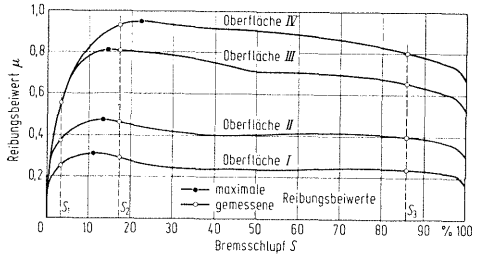


Abb. 1.1: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Bremsschlupf an vier Oberflächen mit extrem unterschiedlichem Griffigkeitsniveau [6]

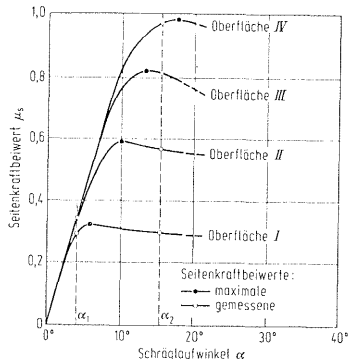


Abb. 1.2: Abhängigkeit des Reibungsbeiwertes vom Seitenschlupf aufgetragen über dem Schräglaufwinkel auf vier Oberflächen mit extrem unterschiedlichem Griffigkeitsniveau [6]

Anlage 2: Meßgenauigkeit des SRM

Vergleich- und Wiederholstreuung aus Vergleichsmessungen mit 3-5 SRM in den Jahren 1970, 1971, 1972 und 1981 [27]

Meßjahr	Anzahl der erfaßten Geräte und Reifen	Belag	V [km/h]	Mittlerer Gleitbeiwert μ [-]	Wiederholstreuung		Vergleichstreuung	
					s [-]	v [%]	s [-]	v [%]
1970	5 Geräte* 3 Reifen	Asphaltbeton (1)	40	0,507	0,022	4,4	0,030	5,9
			60	0,415	0,018	4,3	0,025	5,9
			80	0,343	0,010	2,9	0,027	7,9
	Mar- kierung (1)	40	0,261	0,009	3,5	0,019	7,2	
		60	0,241	0,004	1,7	0,017	6,9	
		80	0,218	0,008	3,7	0,027	12,5	
1971	5 Geräte 5 Reifen	Asphaltbeton (2)	40	0,642	0,016	2,5	0,023	3,6
			60	0,542	0,007	1,3	0,025	4,7
			80	0,429	0,011	2,6	0,030	7,0
	4 Geräte 5 Reifen	Mar- kierung (2)	40	0,331	0,011	3,4	0,026	8,0
			60	0,362	0,025	6,8	0,043	11,7
			80	0,247	0,010	4,1	0,030	12,3
1972 ***	2 Geräte** 2 Reifen	Zementbeton	40	0,479	0,005	0,9	0,034	7,1
			60	0,397	0,005	1,3	0,023	5,9
			80	0,343	0,006	1,6	0,025	7,3
1981	3 Geräte 3 Reifen	Asphaltbeton (3)	40	0,569	Werte entfallen, da keine Wiederhol- messungen am selben Tag		0,037	6,6
			60	0,488			0,034	6,9
			80	0,421			0,031	7,3
	Asphaltbeton (4)	40	0,607	0,032	5,2			
		60	0,516	0,031	5,9			
		80	0,452	0,033	7,3			
s = Standardabweichung v = Variationskoeffizient								

-)* Aus zwei Auswertungsvarianten in [27] wurde die mit den niedrigeren Ergebnissen für die Vergleichstreuung in diese Tabelle aufgenommen; darin sind nur 3 der 5 Meßreifen berücksichtigt, da der Versuchsplan von 1970 nicht vollständig ausgeführt worden war.
-)** Nur für zwei Geräte waren Meßwerte mit verschiedenen Exemplaren des Standardmeßreifens verfügbar; nur diese Messungen sind in den Auswertungen [27] berücksichtigt.
-)***) Die gegenüber den Ermittlungen in [34] abweichenden Ergebnisse für die Vergleiche 1972 erklären sich daraus, daß dort bei den Ermittlungen nur Messungen mit ein- und demselben Reifen berücksichtigt wurden. Die hier ermittelten Vergleichstreuungen beruhen praxis- und DIN-gerecht auf Messungen mit verschiedenen Exemplaren des Standardmeßreifens auf den beteiligten Geräten.

Anlage 3: Wiederhol- und Vergleichstreuung von SRM und SCRIM

Datenbasis

SRM : Vergleichsmessungen 1970, 1971, 1972 und 1981 mit bis zu 5 Geräten und 5 Reifen auf in der Regel je 2 Oberflächen (s. Anl. 2)

SCRIM : Vergleichsmessungen 1978 und 1979 mit bis zu 7 Geräten und 7 Reifen auf jeweils 8 Oberflächen

Wiederholstreuung

Gerät	Meß- geschw. [km/h]	Reibungsbeiwerte			Wiederholstreuung					
		Min.	Max.	$\bar{\mu}$	Standardabweichung [-]			Variations- koeffizient [%]		
					Min.	Max.	\bar{s}	Min.	Max.	\bar{v}
SRM	40	0,26	0,64	0,44	0,005	0,022	0,013	0,9	4,4	2,9
	60	0,24	0,54	0,39	0,004	0,025	0,012	1,3	6,8	3,1
	80	0,22	0,43	0,32	0,006	0,011	0,009	1,6	4,1	3,0
SCRIM*	50	0,27	0,85	0,61	0,008	0,024	0,014	1,5	3,4	2,4

Vergleichstreuung

Gerät	Meß- geschw. [km/h]	Reibungsbeiwerte			Vergleichstreuung					
		Min.	Max.	$\bar{\mu}$	Standardabweichung [-]			Variations- koeffizient [%]		
					Min.	Max.	\bar{s}	Min.	Max.	\bar{v}
SRM	40	0,26	0,64	0,49	0,019	0,037	0,029	3,6	8,0	6,2
	60	0,24	0,54	0,42	0,017	0,043	0,028	4,7	11,7	6,8
	80	0,22	0,45	0,35	0,025	0,033	0,029	7,0	12,5	8,8
SCRIM*	50	0,27	0,85	0,61	0,020	0,053	0,037	3,4	10,2	6,3

*) Es sind DIN- und praxisgerecht die etwas weniger guten Werte für die Wiederhol- und Vergleichstreuung angegeben, die "before recalibration" der beteiligten Geräte ermittelt wurden.

Anlage 4: Witterungsbedingte Griffigkeitsschwankungen, deutsche Untersuchungen mit dem Pendelgerät (nach WEHNER [11])

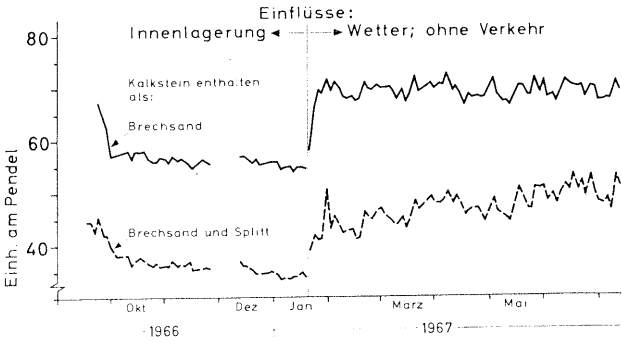


Abb. 4.1: Durch Regen bewirkter plötzlicher Anstieg der Griffigkeitswerte von Proben, die bislang in der Versuchshalle lagerten und dann nach außen gebracht wurden (dort nur dem Wetter ausgesetzt)

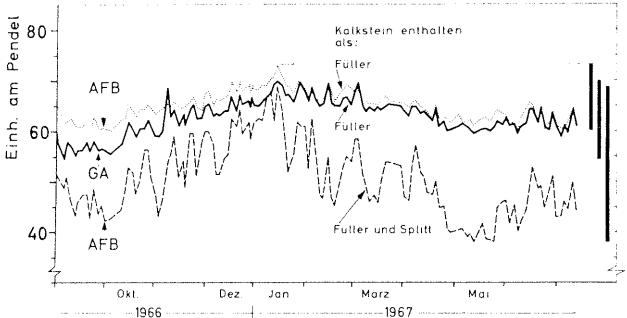


Abb. 4.2: Witterungsbedingte Griffigkeitsschwankungen (Messungen mit dem englischen Pendelgerät). Vergleich dreier Straßendecken mit unterschiedlichem Gehalt an Kalkstein; die größten Schwankungen traten bei der Decke mit dem höchsten Kalksteingehalt auf

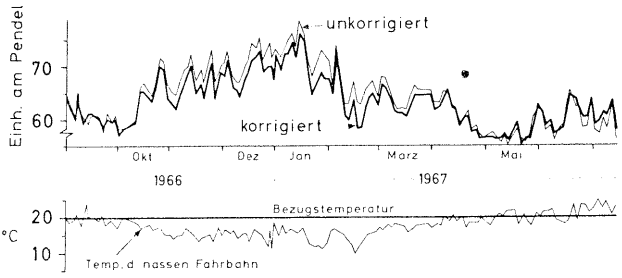


Abb. 4.3: Temperaturkorrektur der Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen mit dem englischen Pendelgerät für die in Abb. 9 dargestellte Meßreihe Nr. 3. (Korrektur: 0,5 Pendeleinheiten je °C)

Anlage 5: Jahreszeitliche Griffigkeitsdifferenzen auf Bundesfernstraßen

Versuchs- strecke Nr., DTV	Straßen- Nr., nächster Ort	Belag	Mittlerer Gleitbei- wert [%]	Anzahl der erfaßten Differenzen F-H bzw. H-F	Mittlere Differenz* $\Delta\mu + s$ [%]	Maximale Differenz* $\Delta\mu$ [%]
1 1900	B 12 Stegen	H	0,431	13	16,1 + 6,9	31,2
		I	0,419	13	13,4 + 6,6	31,4
		II	0,471	13	19,8 + 8,3	38,6
		III	0,461	13	13,8 + 7,6	27,1
2 3200	B 8 Langen- feld	H	0,477	12	8,9 + 7,8	25,5
		I	0,501	12	9,0 + 7,7	25,2
		II	0,465	12	9,6 + 8,8	27,6
		III	0,506	12	8,2 + 8,2	27,8
3 4000	B 8 Platt- ling	H	0,418	14	9,2 + 6,3	21,8
		I	0,455	14	10,1 + 6,7	24,4
		II	0,436	14	10,0 + 7,5	22,8
		III	0,459	14	7,9 + 6,2	21,1
4 2900	B471 Inning	I	0,494	14	15,5 + 9,6	33,1
		II	0,498	14	14,7 + 5,5	25,9
		III	0,496	14	11,5 + 9,9	39,4
		IV	0,476	14	13,9 + 7,9	32,0
		V	0,502	14	12,9 + 10,8	44,6
		VI	0,520	14	12,7 + 8,9	29,6
5 2900	B 8 Einers- heim	H	0,523	11	6,9 + 8,2	28,2
		I	0,437	11	8,7 + 6,7	22,0
		II	0,472	11	8,5 + 7,5	27,8
		III	0,455	11	10,8 + 8,4	27,8
		IV	0,521	11	6,7 + 6,8	24,4
		V	0,512	11	8,7 + 9,0	32,3
6 1900	B 16 Ensgaden	IK	0,422	12	14,5 + 14,3	46,6
		IIK	0,429	12	13,9 + 13,9	43,9
		IIIK	0,436	12	13,6 + 12,9	42,3
		IVK	0,432	12	13,2 + 13,0	42,0
		IIIG	0,478	12	12,2 + 11,4	37,1
		IVG	0,466	12	11,8 + 9,5	31,4
7 19900	BAB A9 Feucht	III	0,396	11	26,3 + 11,7	36,6
		IV	0,404	11	24,9 + 15,4	45,4
8 4200	B 13 Lohhof	1a	0,378	12	15,8 + 12,0	39,0
		1b	0,401	12	17,1 + 12,6	41,9
		2a	0,394	12	22,2 + 11,8	44,3
		2b	0,386	12	18,6 + 9,9	43,5
		3a	0,401	12	22,4 + 16,4	58,3
		3b	0,387	12	24,6 + 11,8	46,0
		4a	0,390	12	22,7 + 12,2	48,7
		4b	0,404	12	22,7 + 11,8	45,7
Mittel aus 40 Belägen (+5)			0,45	12	14,1 + 9,7	34,6 + 9,2

Tab. 5: Halbjährliche Gleitbeiwertdifferenzen auf 40 Belägen in Bayern aus Messungen mit dem SRM bei $V = 60$ km/h jeweils im Frühjahr (F) und Herbst (H) von 1961-71 (* die Differenzen sind jeweils auf die der niedrigen Fahrbahngriffigkeit im Sommer näherliegenden Herbstwerte bezogen)

Kennwert für die Fahrbahngriffigkeit (SRM, Phoenix-P3 Reifen feinprofiliert)

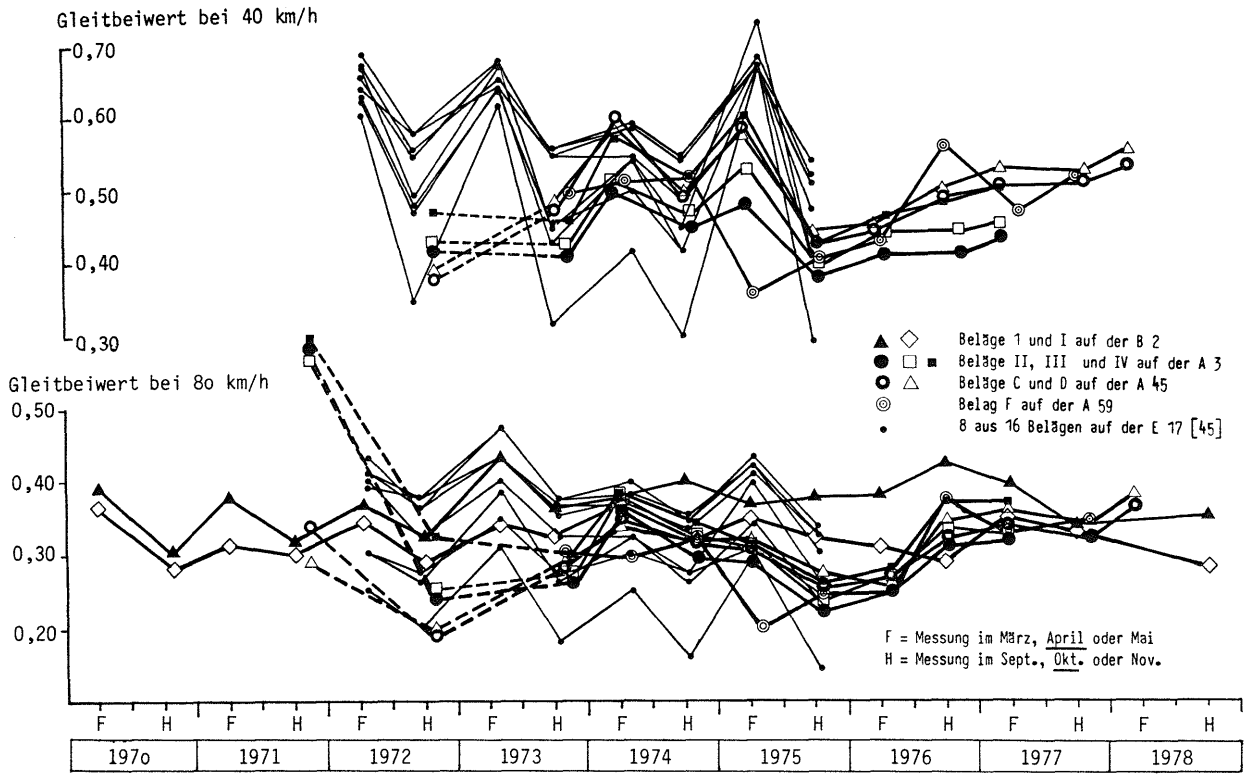


Abb. 6: Differenzen zwischen einzelnen Griffigkeitsmessungen mit dem SRM im Frühjahr und Herbst auf verschiedenen bituminösen Belägen auf Versuchsstrecken bei Camberg (A 3), Katzenfurt (A 45), Sieglar (A 59), Murnau (B 2) und Kufstein-Innsbruck (E 17/A 12 [44,45])

Anlage 6: Jahreszeitliche Griffigkeitsänderungen erfasst mit dem SRM

Anlage 7: Kurzfristige Griffigkeitsänderungen und langfristige Griffigkeitsschwankungen, Untersuchungen mit dem blockierten Rad in den USA

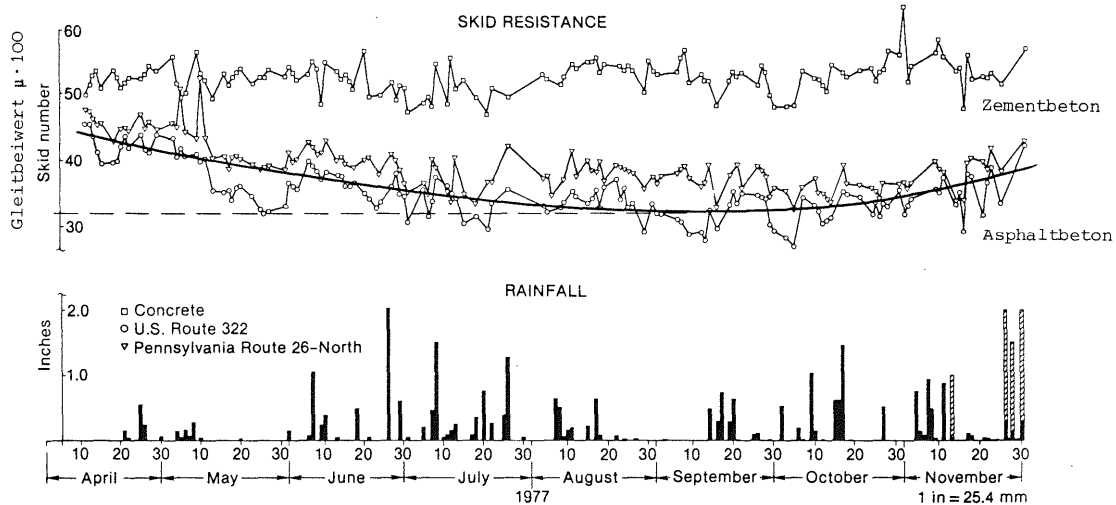
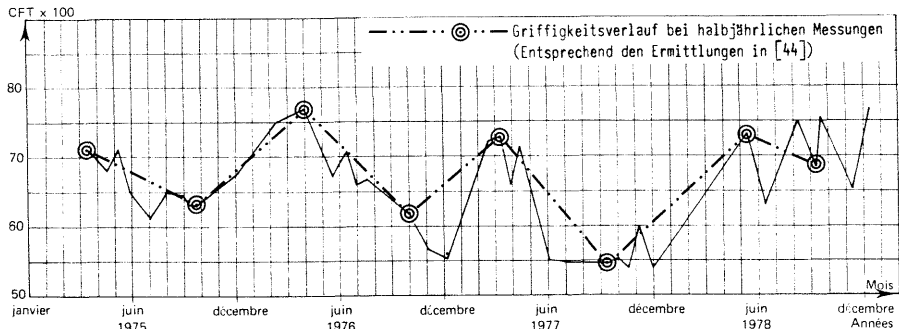


Abb. 7 : Griffigkeitswerte von 3 Belägen innerhalb eines Zeitraumes von 8 Monaten in Pennsylvania, USA [47]
 Meßbedingungen: ASTM-Reifen, längsgerillte Lauffläche,
 (1/2 mm Wasserfilm)

Anlage 8: Halbjährliche Griffigkeitsdifferenzen erfaßt mit SRM und SCRIM



Jahreszeit 2)	1975	1976	1977	1978	Mittelwert	mittlere Differenz F-H	
						absolut	relativ 1)
Frühjahr	0,71	0,77	0,73	0,73	0,735	0,115	18,5 %
Herbst	0,63	0,62	0,545	0,685	0,620		

Tab. 8.1: Mittlere Differenzen zwischen halbjährlichen Messungen mit dem SCRIM-Gerät aus Abb.8.1

Abb. 8.1: Jahreszeitliche Veränderungen der Griffigkeit ermittelt mit dem SCRIM-Gerät in Frankreich (mittl. Griffigkeit auf 12 Belägen bei Lyon) [20,49]

Meßgeschwindigkeit	Jahreszeit 2)	Belag	i	h	g	o	f	k	m	e	d	a/ B 40	l	p	n	c	a	a/Lo	Mittelwert	mittlere Differenz F-H	
																				absolut	relativ 1)
40 km/h	Frühjahr		0,58	0,61	0,57	0,56	0,51	0,62	0,55	0,60	0,61	0,64	0,60	0,59	0,59	0,61	0,60	0,61	0,591	0,104	21,4 %
	Herbst		0,46	0,44	0,42	0,45	0,31	0,54	0,38	0,53	0,54	0,55	0,52	0,53	0,50	0,54	0,53	0,55	0,487		
60 km/h	Frühjahr		0,45	0,40	0,37	0,41	0,33	0,48	0,39	0,49	0,48	0,49	0,45	0,45	0,45	0,47	0,47	0,47	0,441	0,055	14,3 %
	Herbst		0,38	0,32	0,33	0,35	0,23	0,43	0,30	0,43	0,43	0,44	0,41	0,41	0,41	0,43	0,43	0,45	0,386		
80 km/h	Frühjahr		0,37	0,31	0,30	0,34	0,25	0,38	0,32	0,41	0,40	0,39	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,356	0,059	19,8 %
	Herbst		0,30	0,25	0,24	0,28	0,16	0,32	0,23	0,36	0,34	0,33	0,31	0,31	0,31	0,33	0,33	0,33	0,297		

Tab. 8.2: Mittlere Differenzen zwischen halbjährlichen Messungen mit dem SRM in Österreich (16 Beläge auf der Inntalautobahn 1971-1978) [44]

1) rel. Differenz bzgl. der im Herbst beobachteten Griffigkeitswerte

2) Der Meßzeitpunkt liegt im "Frühjahr" (F) jeweils im April sowie im "Herbst" (H) im Oktober bzw. in den angrenzenden Monaten. In [44] werden die jeweiligen Ergebnisse dem "Sommer" (niedrige Griffigkeit) und dem "Winter" (höhere Griffigkeit) zugeordnet.

Anlage 9:

Rangkorrelations-Koeffizienten zwischen 4 Reihen von Griffigkeitsbewertungen

- drei blockierte Räder (SRM, SKID, R-LPC) mit unterschiedlichen Reifen
- ein Schräglauftrad (SCRIM)

Griffigkeitsmeßgeräte:

- S R M Stuttgarter Reibungsmesser (TU-Berlin)
- S K I D Skiddometer-BV 8 (ETH-Zürich)
- R - L P C Remorque de Glissance LPC (LR-Lyon)
- S C R I M Sideways-force Coefficient Routine Investigation Machine (LR-Lyon)

Anzahl der in die Untersuchung einbezogenen Fahrbahnbeläge:

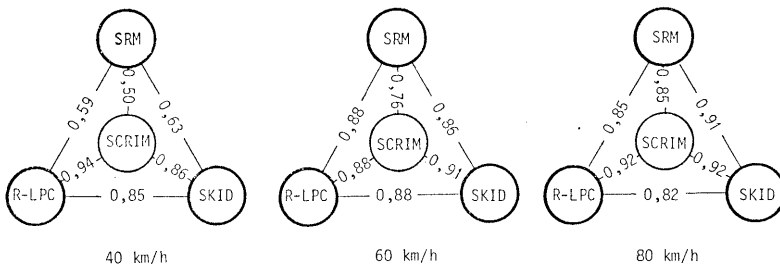
24 Deckschichten in Süddeutschland [48]

Rangkorrelations-Koeffizienten:

G E R Ä T	S R M			S K I D			R - L P C			S C R I M		
	40	60	80	40	60	80	40	60	80	40	60	80
Meßgeschw. km/h	Koeffizient nach Spearman (r_s)											
S R M	/			0,627	0,856	0,911	0,589	0,884	0,848	0,496	0,755	0,853
S K I D				0,465	0,696	0,802	/			0,845	0,878	0,816
R - L P C	0,473	0,737	0,740	0,724	0,740	0,675				/		
S C R I M	0,363	0,594	0,740	0,753	0,809	0,813	0,821	0,742	0,807			
	Koeffizient nach Kendall (τ)											

Vergleich der Korrelations-Koeffizienten (r_s):

Die Maßzahlen auf den dreieckförmigen Verbindungslinien kennzeichnen die Vergleichbarkeit der blockierten Räder untereinander, diejenigen auf den sternförmigen Linien kennzeichnen die Vergleichbarkeit der blockierten Räder mit dem SCRIM-Gerät.



Die Ergebnisse des SCRIM-Gerätes sind im Mittel mit den Ergebnissen der blockierten Meßräder eher besser vergleichbar als die Ergebnisse der drei blockierten Räder untereinander.

Anlage 10: Vergleichende Korrelationen zwischen Griffigkeitskennwerten der Meßverfahren SRM und SCRIM und den Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn

Kennziffer der Stichprobe \ Rangkorrelationskoeffizient r_s	Meßgerät Meßverfahren			Umfang der Stichprobe n (2 km-Abschnitte)
	SRM (25%)	SCRIM (24%)	SCRIM (100%)	
1980/NO/3/100	-0,38	-0,46	-0,56	77
1980/NA/3/100	-0,29'	-0,40	-0,48	90
1980/NO/2/100	-0,36'	-0,49	-0,59	55
79-81/NO/3/100	-0,46	-0,45	-0,48	177
79-81/NA/3/100	-0,45	-0,46	-0,48	191
79-81/NO/2/100	-0,53	-0,53	-0,57	115
1980/NO/3/66	-0,20"	-0,44	-0,61	47
79-81/NO/3/66	-0,49	-0,51	-0,56	109
79-81/NO/3/50	-0,27'	-0,40	-0,49	79

)' = sign. a.d. 99%-Niveau ;)" = sign. a.d. 90%-Niveau

Die Kennziffer der Stichprobe bezeichnet:

- Zeitraum der Unfallenerhebung
1980 (1 Jahr, das Jahr der Griffigkeitserhebung)
1979-81 (3 Jahre)
- Definition des Unfallanteils bei nasser Fahrbahn
NO = bezogen auf die Summe der Unfälle mit "naß" und "ohne Angabe"
(= trocken bis feucht) für den Fahrbahnzustand
NA = bezogen auf alle Unfälle (einschl. winterglatte Fahrbahnzustände etc.)
- Fahrbahnquerschnittsausbildung
3 = Richtungsfahrbahnen mit 2 und mehr Fahrstreifen
2 = Richtungsfahrbahnen mit 2 Fahrstreifen
- Abgrenzung des Auswertebereichs auf niedrigere Griffigkeiten
100 = alle Abschnitte mit 10 und mehr Unfällen im Erhebungszeitraum
66 = reduziert auf das untere bzw. mittlere Drittel
50 = reduziert auf die untere Hälfte
unter Einhaltung der Bedingung, daß die in einer Stichprobe letztlich verbleibenden Abschnitte für alle 3 Verfahren der Griffigkeitserhebung dieselben sind. In den reduzierten Auswertebereichen liegt der mittlere Griffigkeitswert für das Verfahren SRM zwischen $\mu = 0,23$ bis $\mu = 0,36 \dots 0,40$ und für das Verfahren SCRIM zwischen $\mu = 0,32$ bis $\mu = 0,56 \dots 0,60$

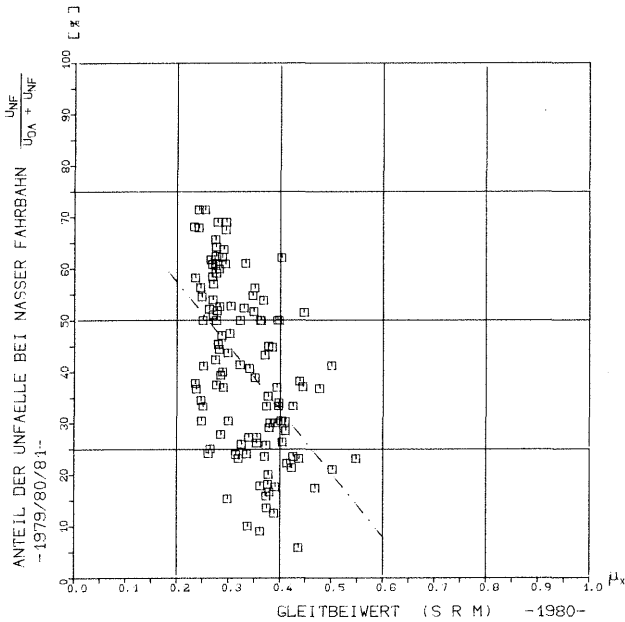
Anlage 11: Zusammenhang zwischen Griffigkeitskennwerten
des SRM und Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn

K O R R E L A T I O N

FAHRBAHNGRIFFIGKEIT / UNFALLZAHLEN BEI NAESSE

ZUSAMMENHANG :

GLEITBEIWERT (SRM) / ANTEIL DER UNFAELLE BEI
BEI V=80KM/H / NASSER FAHRBAHN



$R_S = -0.529$

ANZAHL DER STRECKENABSCHNITTE: N = 115
LAENGE DER ABSCHNITTE= 2 KM ; MESSUMFANG= 250 M/KM
UNFALLANZAHL PRO ABSCHNITT: $U_{NF} + U_{0A} \geq 10$

$\Sigma Y^2 = \text{MIN}$, $Y = 82.23 - 124.91X$ (-----) , $S_{YX} = 14.21$, $R = -0.518$

BAST V 2.2 - VD6 (FA 4.047)
- 28.04.83 -

R_S = RANGKORRELATIONSKOEFFIZIENT NACH SPEARMAN
 U_{NF} = ANZAHL DER UNFAELLE MIT DER ANGABE "NASSE FAHRBAHN"
 U_{0A} = ANZAHL DER UNFAELLE "OHNE ANGABE" FUER DEN FAHRBAHNZUSTAND

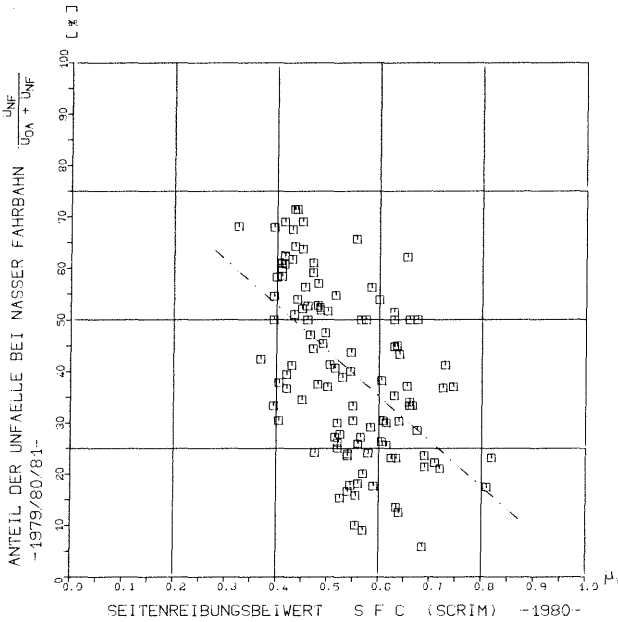
Anlage 12: Zusammenhang zwischen Griffigkeitskennwerten des SCRIM-Gerätes und Unfallanteilen bei nasser Fahrbahn

K O R R E L A T I O N

FAHRBAHNGRIFFIGKEIT / UNFALLZAHLEN BEI NAESSE

ZUSAMMENHANG :

S F C (S.C.R.I.M.) / ANTEIL DER UNFAELLE BEI
BEI V=80KM/H / NASSER FAHRBAHN



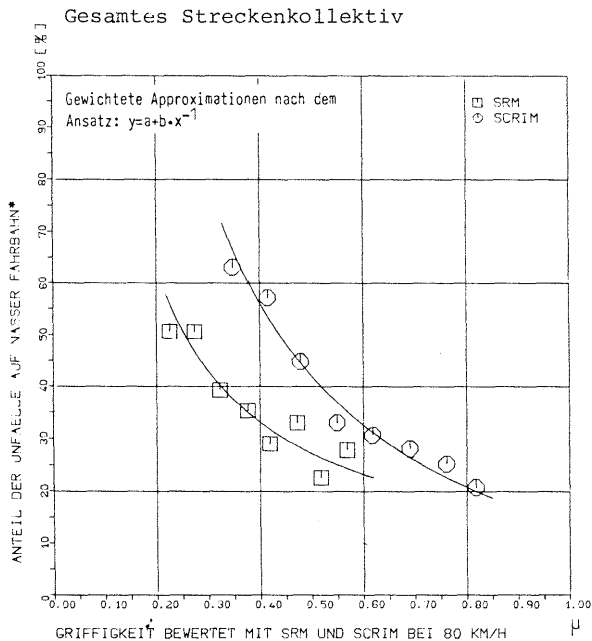
$R_s = -0.571$

ANZAHL DER STRECKENABSCHNITTE: N = 115
LAENGE DER ABSCHNITTE= 2 KM ; MESSLAENGE 1000 M/KM
UNFALLANZAHL PRO ABSCHNITT: $U_{NF} + U_{DA} \geq 10$
 $\Sigma Y^2 = 11N$, $\bar{Y} = 88.06 - 88.22X$ (.....) , $S_{xx} = 13.83$, $R = -0.553$

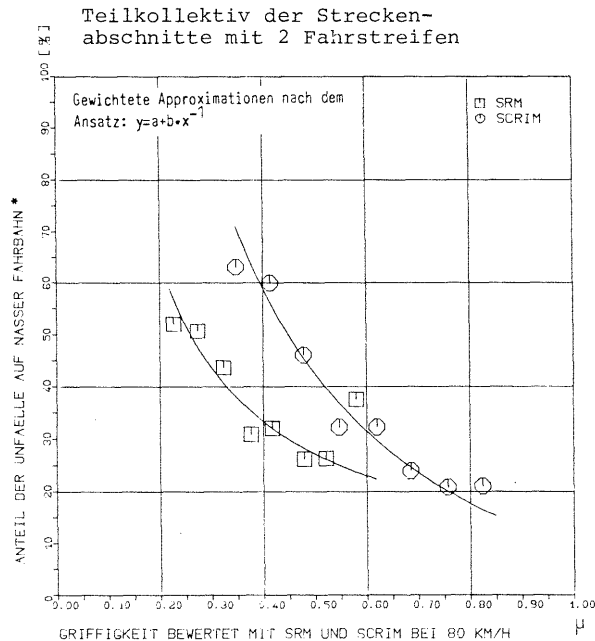
BAST V 2.2 - VD6 (FA 4.947)
- 28.04.83 -

R_s = RANGKORRELATIONSKOEFFIZIENT NACH SPEARMAN
 U_{NF} = ANZAHL DER UNFAELLE MIT DER ANGABE "NASSE FAHRBAHN"
 U_{DA} = ANZAHL DER UNFAELLE "OHNE ANGABE" FUER DEN FAHRBAHNZUSTAND

Anlage 13: Unfallanteil bei nasser Fahrbahn als Funktion der Griffigkeit
 Unfallerhebung 1980



DATENUMFANG: 464 FAHRBAHNABSCHNITTE VON 1 KM LÄNGE
 AUF AUTOBAHNEN IM RHEINLAND IN JE 8 GLEICHBREITEN GRIFFIGKEITSKLASSEN

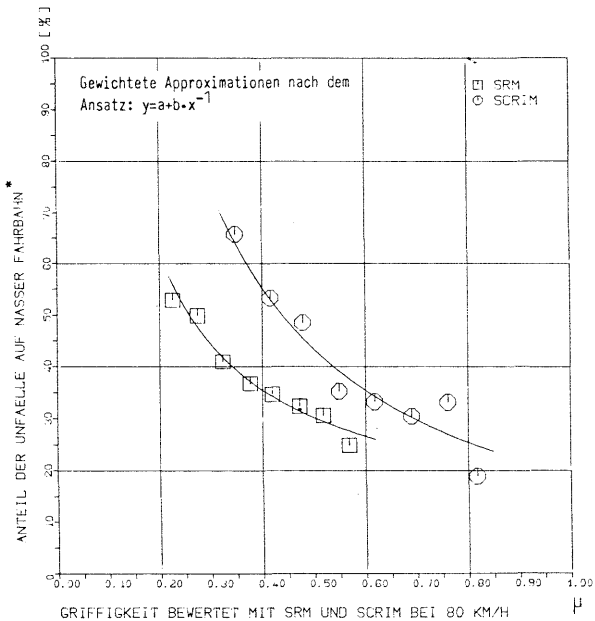


DATENUMFANG: 316 FAHRBAHNABSCHNITTE VON 1 KM LÄNGE
 AUF AUTOBAHNEN IM RHEINLAND IN JE 8 GLEICHBREITEN GRIFFIGKEITSKLASSEN

*) $U_N = U_{naß} / (U_{\text{ohne Angabe}} + U_{naß})$; Datenbasis: Unfälle mit Personenschaden sowie Unfälle mit nur Sachschaden von 1000 DM und mehr bei einem der Beteiligten

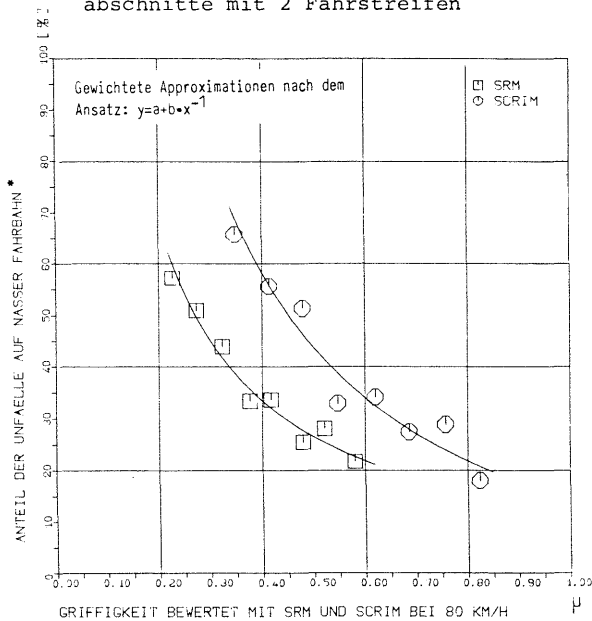
Anlage 14: Unfallanteil bei nasser Fahrbahn als Funktion der Griffigkeit,
Unfallerhebung 1979 - 1981

Gesamtes Streckenkollektiv



DATENUMFANG: 464 FAHRBAHNABSCHNITTE VON 1 KM LÄNGE AUF AUTOBAHNEN IM RHEINLAND IN JE 8 GLEICHBREITEN GRIFFIGKEITSKLASSEN

Teilkollektiv der Streckenabschnitte mit 2 Fahrstreifen



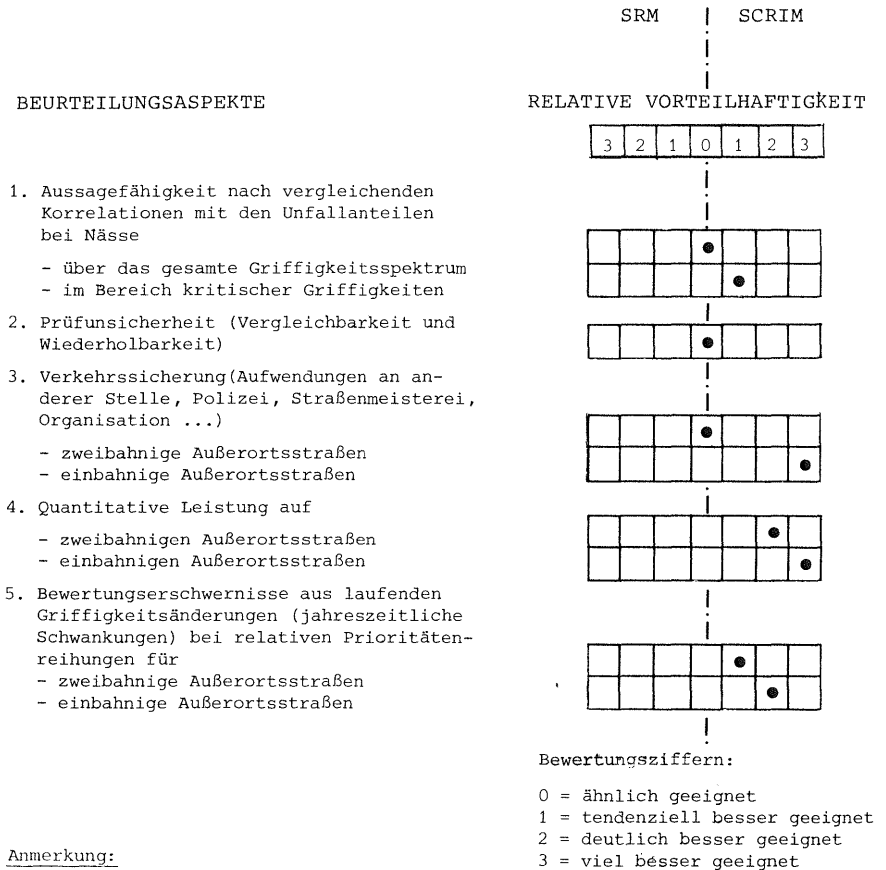
DATENUMFANG: 316 FAHRBAHNABSCHNITTE VON 1 KM LÄNGE AUF AUTOBAHNEN IM RHEINLAND IN JE 8 GLEICHBREITEN GRIFFIGKEITSKLASSEN

*) $U_N = U_{na\beta} / (U_{\text{ohne Angabe}} + U_{na\beta})$; Datenbasis: Unfälle mit Personenschaden sowie Unfälle mit nur Sachschaden von 1000 DM und mehr bei einem der Beteiligten

Anlage 15: Relative Eignung der Meßverfahren SRM und SCRIM für die Erfassung der Griffigkeit ganzer Straßennetze

Alternative a:

Vergleich der Verfahrensweisen "durchgehende Messung mit beiden Geräten"

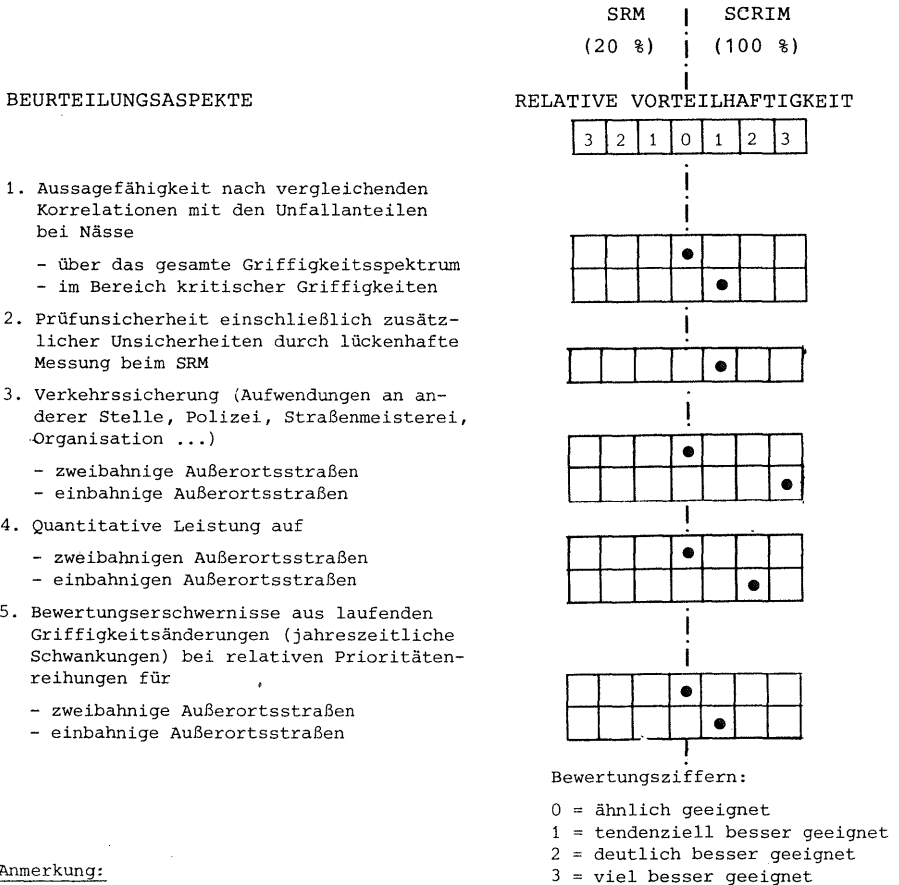


Anmerkung:

Die Beurteilungsaspekte überschneiden sich teilweise. So beinhaltet die Aussagefähigkeit (1) z.B. Teile der Prüfunsicherheit (2), und aus der unterschiedlichen Problematik der Verkehrssicherung (3) ergeben sich zusätzliche Minderungen der quantitativen Leistung (4) für den SRM auf Landstraßen; daraus folgen auch größere Bewertungserschwernisse (5) für den SRM aus laufenden Griffigkeitsänderungen, da die bei hohen Meßleistungen gegebene Möglichkeit, durch zeitlich konzentrierte Erfassung Prioritätenreihungen für Teilnetze zu gewinnen, die von jahreszeitlichen Schwankungen der Griffigkeit weitgehend befreit sind, geringer ist.

Anlage 16: Relative Eignung der Meßverfahren SRM und SCRIM für die Erfassung der Griffigkeit ganzer Straßennetze
Alternative b:

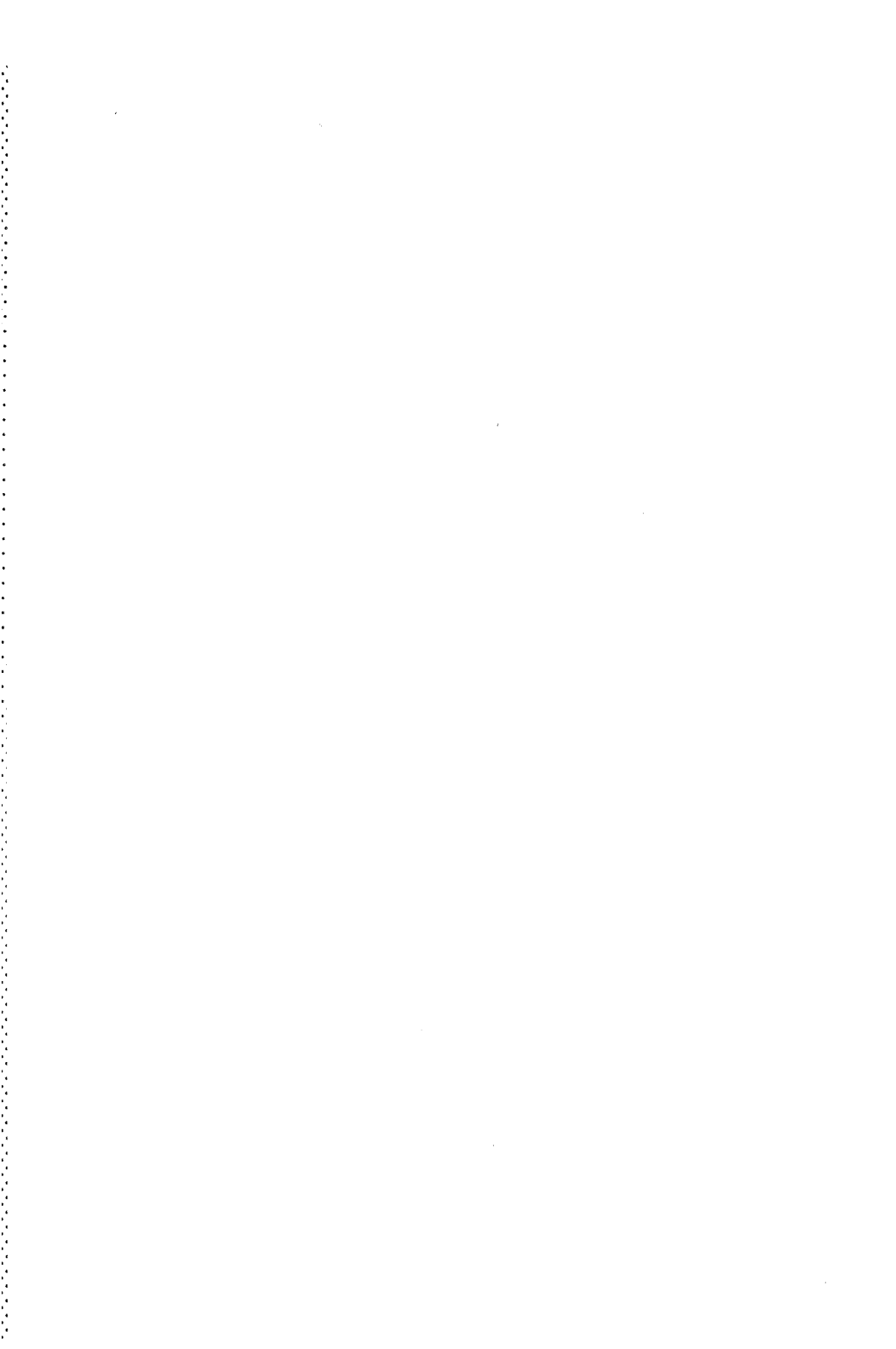
Vergleich der Verfahrensweisen "durchgehende Messung des Gerätes SCRIM" (100 %) mit "lückenhafter Erfassung beim SRM" (20 %, d.h. nur etwa 200 m/km Streckenlänge werden tatsächlich gemessen)



Anmerkung:

Die Beurteilungsaspekte überschneiden sich teilweise. So beinhaltet die Aussagefähigkeit (1) z.B. Teile der Prüfunsicherheit (2), und aus der unterschiedlichen Problematik der Verkehrssicherung (3) ergeben sich zusätzliche Minderungen der quantitativen Leistung (4) für den SRM auf Landstraßen; daraus folgen auch größere Bewertungserschwernisse (5) für den SRM aus laufenden Griffigkeitsänderungen (jahreszeitliche Schwankungen) gegebene Möglichkeit, durch zeitlich konzentrierte Erfassung Prioritätenreihungen für Teilnetze zu gewinnen, die von jahreszeitlichen Schwankungen der Griffigkeit weitgehend befreit sind, geringer ist.

Ermittlung von Vergleichs- und Wiederholstreuung bei SRM-Messungen



KURZFASSUNG, ABSTRACT, RÉSUMÉ

Ermittlung von Vergleichs- und Wiederholstreuung bei SRM-Messungen

Um die Meßgenauigkeit von Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) beurteilen zu können, wurden Messungen mittels einer Varianzanalyse statistisch untersucht. Hauptsächliche Ursachen für Streuungen der Meßwerte liegen in den unvermeidbaren Variabilitäten der Geräte, bei den verwendeten Meßreifen und bei der Durchführung der Messung. Außerdem können Veränderungen von Meßreifen und Fahrbahnbelag, die möglicherweise durch den Meßvorgang hervorgerufen werden, den Meßwert beeinflussen. Anhand von Messungen, die aus den Jahren 1970, 1971, 1972 und 1981 stammen, wurde der Einfluß der Faktoren Gerät, Reifen und Meßwiederholung auf den gemessenen Gleitbeiwert bei verschiedenen Meßgeschwindigkeiten und Fahrbahngriffigkeiten ermittelt.

Zur Beurteilung der Meßgenauigkeit wurden die Größen Vergleichs- und Wiederholstreuung errechnet. Die Vergleichsstreuung berücksichtigt die Faktoren Gerät und Reifen sowie die Reststreuung, die statistisch als Wiederholstreuung interpretiert wird. Die Vergleichsstreuung kann damit als entscheidende Bewertungsgröße für die Meßgenauigkeit angesehen werden. Die Wiederholstreuung ist gleich der Reststreuung. Sie rührt im wesentlichen aus der Wiederholung von Messungen her, z.B. aus dem nicht genauen Einhalten der Nenngeschwindigkeit beim Meßvorgang. Ferner wurden die Streuungsanteile, die den Einflüssen von Gerät oder Reifen zugeordnet werden können, gesondert quantifiziert.

In einer zusammenfassenden Aussage sind die gemittelten Variationskoeffizienten und Standardabweichungen von Wiederholstreuung und Vergleichsstreuung bei den einzelnen Geschwindigkeiten angegeben. Bei 40 km/h, 60 km/h und 80 km/h betragen die gemittelten Variationskoeffizienten der Vergleichsstreuung 6,2 %, 6,8 % und 8,8 %. Die entsprechenden Variationskoeffizienten der Wiederholstreuung sind 2,9 %, 3,1 % und 3 %.

Investigation of reproducibility and repeatability variance of SRM measurements

In order to rate the precision of testing pavement skid resistance by means of the SRM apparatus (Stuttgarter Reibungsmesser), the results of inter-laboratory tests are examined by means of variance analysis. The main causes of variations are unavoidable differences between the measuring instruments, the test tires used and random errors inherent in the test procedure. In addition, possible changes in test tires and surface courses, produced by the test itself, can also affect the results. Based on test series undertaken in the years of 1970, 1971, 1972 and 1981, the contributions of the equipment, test tire and test replication factors to the variance of the locked wheel coefficient were determined at different friction levels and test speeds.

To evaluate the precision of the test method, the variance under reproducibility and repeatability conditions was calculated. The reproducibility variance considers the equipment and tire factors and the residual variance which represents the repeatability variance. Therefore, the reproducibility variance can be regarded as the decisive rating basis for the test precision. The repeatability variance is equivalent to the residual variance. This variance results from the random error occurring in every single test result, e.g., owing to unavoidable differences in nominal test speed. The variance components found to be due to the equipment or tire effects were quantified also separately.

In a summary the standard deviations and the coefficients of variation (relative standard deviation) with respect to the reproducibility and the repeatability variance at different test speeds are given. The mean variation coefficients of the variance under reproducibility conditions were found to be 6,2, 6,8 and 8,8 per cent at the speeds of 40, 60, and 80 km/h. The corresponding coefficients of variation under repeatability conditions attained 2,9, 3,1 and 3 per cent.

Recherche sur la variance de la reproductibilité et de la répétabilité des mesures SRM

En vue d'évaluer la fidélité de la mesure de l'adhérence des chaussées avec l'Indicateur de frottement de Stuttgart (SRM) les résultats d'essais interlaboratoires ont été étudiés à l'aide d'une analyse de variance. Les principales causes des variances sont les inévitables différences entre les appareils, les pneus de mesure utilisés et les erreurs accidentelles inhérentes aux procédés. En outre, des changements éventuels des pneus de mesure et des revêtements dûs au test lui-même peuvent influencer les résultats. Sur la base de séries de tests effectuées en 1970, 1971, 1972 et 1981 l'influence des facteurs: matériel, pneumatique et répétition des mesures sur la variance des coefficients de la roue bloquée a été déterminée à différentes vitesses de mesure et à différents niveaux d'adhérence.

Afin d'évaluer la précision des mesures la variance a été calculée dans des conditions de reproductibilité et de répétabilité. La variance de la reproductibilité tient compte des facteurs matériel et pneumatiques ainsi que de la variance résiduelle qui représente la variance de la répétabilité. Pour cette raison, la variance de la reproductibilité peut être considérée comme la base décisive pour évaluer la précision des mesures. La variance de la répétabilité est égale à la variance résiduelle. Elle résulte de l'erreur occasionnelle qui apparaît dans chaque résultat par ex. à cause des inévitables différences des vitesses de mesure nominales. Les composantes de la variance dues aux influences du matériel et des pneus sont quantifiées séparément.

Les conclusions comportent les écarts type et les coefficients de variation (écart type relatif) pour la variance de la reproductibilité et de la répétabilité à différentes vitesses. A 40, 60 et 80 km/h les coefficients moyens de variation de la variance dans des conditions de reproductibilité sont de 6,2, 6,8 et 8,8 %. Les coefficients de variation correspondants dans des conditions de répétabilité s'élèvent à 2,9, 3,1 et 3 %.

I N H A L T

1.	Allgemeines zum Meßverfahren	1
2.	Problemstellung	2
3.	Wiederhol- und Vergleichsstreuung als Beurteilungs- größen für die Meßgenauigkeit	2
4.	Struktur der Meßdaten und Unabhängigkeit der Einflußgrößen	4
5.	Statistisches Modell für die Varianzanalyse.	6
6.	Aufbereitung des Datenmaterials.	8
6.1	Messungen von 1970	10
6.2	Messungen von 1971	10
6.3	Messungen von 1972	11
6.4	Messungen von 1981	12
7.	Auswertung	12
7.1	Berechnung der Wiederholstreuung	15
7.2	Berechnung der Vergleichsstreuung für den Faktor A	16
7.3	Vergleichsstreuung für die Faktoren A (Gerät) und B	17
8.	Ergebnisse	19
8.1	Erläuterung der Darstellung	19
8.2	Erläuterung der Ergebnisse	20
9.	Literatur.	23
Anhang		24

Tabellen 1.1 bis 4.4 Messungen

 Tabelle 5 Beispiel für die Zerlegung der Streuung
 von Gleitbeiwerten in einer Varianz-
 analyse

Tabellen 6.1 bis 9.4 Einzelergebnisse

Tabellen 10 und 11 Zusammenfassende Darstellung der Ergeb-
 nisse

1. Allgemeines zum Meßverfahren

Der Kraftschluß zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahnoberfläche wird bestimmt durch die Reibungspartner Fahrzeugreifen und Fahrbahnbelag. Die Griffigkeit ist der Anteil, den die Fahrbahnoberfläche zum Kraftschluß mit dem Reifen beiträgt /1/.

Bei dem Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) wird die Fahrbahngriffigkeit mit dem Gleitbeiwert gekennzeichnet. Es wird bei nasser Fahrbahn gemessen, weil dies der kritische Fahrbahnzustand ist. Der Stuttgarter Reibungsmesser fährt mit einer festgelegten Geschwindigkeit, der Nenngeschwindigkeit, über eine bestimmte Meßstrecke. Die Messung wird durch Blockieren des angehängten Schlepprads während der Fahrt über die Meßstrecke ausgeführt. Es wird demnach der Kraftschluß zwischen Fahrbahn und Meßreifen des Schlepprads bei dem Reibungszustand "blockiertes Rad" durch die Messung bewertet. Der Gleitbeiwert bestimmt sich am SRM als Quotient aus der Reibungskraft zwischen Meßreifen und Fahrbahnoberfläche (Reifenumfangskraft in /1/) und der Normalkraft, die als senkrecht zur Fahrbahnoberfläche wirkende Radlast zu verstehen ist /1/.

Der Gleitbeiwert ist eine dimensionslose Größe und erreicht auf den üblichen Fahrbahnbelägen Werte, die zahlenmäßig zwischen etwa 0,2 und 0,9 liegen. Bei allen Messungen, die für die Untersuchungen benutzt werden, sind für den Meßwert 3 Dezimalstellen angegeben.

Hauptsächliche Ursachen für Streuungen der Meßwerte liegen in den unvermeidbaren Variabilitäten der Geräte, die sowohl die Reibungskraft als auch die Normalkraft beeinflussen können. Weiterhin beeinflußt der Meßreifen die Reibungskraft und damit die Bestimmung des Gleitbeiwerts beim SRM. Außerdem entsteht möglicherweise durch den wiederholten Übergang eines bestimmten Meßreifens über dieselbe Oberfläche eine

weitere Abweichung. Der Grund dafür wäre eine Veränderung des Straßenbelags und des Meßreifens durch den Meßvorgang selbst.

2. Problemstellung

Die Untersuchungen sollen zeigen, inwieweit die Meßgenauigkeit des SRM- Geräts von den Faktoren

- Gerät
- Reifen
- Meßwiederholungen

bei verschiedenen Meßgeschwindigkeiten und Fahrbahngriffigkeiten beeinflusst wird, und es sind die für die Meßgenauigkeit des Verfahrens maßgebenden Kenngrößen Wiederhol- und Vergleichsstreuung zu bestimmen. Hierzu soll die Streuung der Meßwerte mittels einer Varianzanalyse aufgegliedert werden in einzelne Anteile, die durch die genannten Faktoren bestimmt sind.

Zur rechnerischen Lösung des Problems muß eine theoretische Modellvorstellung gesucht werden, die von der Struktur und der Anzahl der vorliegenden Messungen ausgeht. Anders ausgedrückt: Es muß ein mathematisch-statistisches Modell gewählt werden, das den vorliegenden Messungen angepaßt ist.

3. Wiederhol- und Vergleichsstreuung als Beurteilungs-

größen für die Meßgenauigkeit

Durch verschiedene Einflüsse bei der Messung wird der wahre Wert der Meßgröße nicht gefunden. Wenn mehrere Einzelmessungen durchgeführt werden, erhält man durch die Meßwerte x_i Realisierungen einer Zufallsgröße X , die einer Wahrscheinlichkeitsverteilung folgt. Charakterisiert werden kann diese Verteilung durch den Erwartungswert μ und die Standardab-

weichung σ . Die Standardabweichung ist ein Streuungsmaß für die zufällige Abweichung eines Meßwerts vom Erwartungswert der Meßgröße (DIN 1319, Teil 3). Der Erwartungswert wird durch den arithmetischen Mittelwert \bar{x} angenähert, die zahlenmäßige Abschätzung der Zufallsstreuung von diesem Mittelwert wird durch die empirische Standardabweichung s angegeben. Anstelle der empirischen Standardabweichung wird auch der Variationskoeffizient v benutzt, der als relative Standardabweichung bezeichnet werden kann.

$$v = \frac{s}{|\bar{x}|}$$

Die Größe s^2 heißt Varianz oder Streuung.

Wiederholstreuung und Vergleichsstreuung sind Streuungsgrößen, die sich durch die Versuchsbedingungen, die zur Bestimmung der Meßwerte führen, unterscheiden. In Anlehnung an DIN 1319 Teil 3, wo die Begriffe genauer erläutert werden, sind unter den vielerlei möglichen Versuchsvoraussetzungen zwei Grenzfälle zu betrachten:

Ein erster Grenzfall sind sogenannte Wiederholbedingungen:

Wiederholbedingungen liegen vor, wenn derselbe Beobachter nach einem festgelegten Meßverfahren am selben Meßobjekt unter gleichen Versuchsbedingungen (dasselbe Meßgerät, dasselbe Laboratorium) mehrmals in kurzen Zeitabständen Messungen durchführt. Bei der Bestimmung der Gleitbeiwerte heißt das, daß nur solche Messungen als Wiederholmessungen angesehen werden können, die kurz hintereinander mit demselben Gerät auf derselben Versuchsstrecke von denselben Beobachtern ausgeführt wurden.

Ein zweiter Grenzfall sind sogenannte Vergleichsbedingungen:

Vergleichsbedingungen liegen vor, wenn verschiedene Beobachter nach einem festgelegtem Meßverfahren am selben Meßob-

jekt unter verschiedenen Versuchsbedingungen (verschiedene Meßgeräte, verschiedene Zeiten, verschiedene Untersuchungs-orte oder Laboratorien) Messungen durchführen. Auf die Messungen des Gleitbeiwertes bei Straßenbelägen übertragen heißt das, daß zur Beurteilung der Vergleichsstreuung verschiedene Beobachter zu verschiedenen Zeiten mit verschiedenen Meßgeräten, die aber dasselbe Meßverfahren anwenden (Stuttgarter Reibungsmesser) auf derselben Versuchsstrecke Messungen durchführen.

Für die Beurteilung der Genauigkeit bzw. der Unsicherheit beim Messen physikalischer Größen - der Gleitbeiwert ist eine solche Größe - sind beide Grenzfälle wichtig.

4. Struktur der Meßdaten und Unabhängigkeit der Einfluß- größen

Die Messungen können nach den einzelnen Geschwindigkeiten, Fahrbahnbelägen und Meßjahren aufgegliedert werden. Damit lassen sich in einer Varianzanalyse die Faktoren Gerät, Reifen und Wiederholungen als Einflußgrößen berücksichtigen. Hat die Meßwiederholung jedoch keinen eigenständigen Einfluß, verringert sich die Anzahl der Faktoren um eins und man erhält für die beiden Faktoren Gerät und Reifen eine größere Datenbasis. Bei den vorhandenen Datenstrukturen ergeben sich damit mindestens zwei Meßwerte für jede Gerät/Reifen Kombination. Auf diese Weise läßt sich der Streuungsanteil der Wechselwirkung zwischen Gerät und Reifen bestimmen.

Wechselwirkung zwischen Gerät und Reifen heißt:

Bei ausschließlicher Variation des Faktors Gerät liefert der Faktor Reifen einen Beitrag zur Varianz des Meßwerts; die Gesamtvarianz eines Meßwerts setzt sich danach nicht additiv aus den Beiträgen Gerät und Reifen zusammen. Da bei dem

vorliegenden Problem nicht erwartet werden kann, daß der Einfluß verschiedener Geräte auf die Meßwerte unabhängig vom Reifeneinfluß ist, muß man davon ausgehen, daß eine Wechselwirkung zwischen beiden Faktoren besteht.

Es mußte daher geklärt werden, ob Messungen und Wiederholmessungen - in einigen Fällen sind 3 Wiederholmessungen gemacht worden - sich merklich unterscheiden oder nicht. Die dazu notwendigen Voruntersuchungen sind mit Hilfe des SPSS - Programms Anova ¹⁾ gemacht worden.

Zusammen mit den Faktoren Reifen und Gerät sind Wiederholungen als eigenständige und gleichwertige Einflußgröße bei den Messungen der Jahre 1970, 1971 und 1972 betrachtet worden. Die Aufgliederung der Streuungswerte nach den einzelnen Faktoren hat ergeben, daß Unterschiede zwischen Messungen und Wiederholmessungen in allen Fällen nur zufällig und nicht signifikant sind. Diese Aussage gilt wie alle weiteren Signifikanzaussagen mit einer statistischen Sicherheit von 95 %. Daraus ist abgeleitet, daß Messung und Wiederholung als gleichwertig und voneinander unabhängig betrachtet werden können.

1) Eine Beschreibung des benutzten Programms kann aus "Statistik - Programmsystem für Sozialwissenschaften; Eine Kurzbeschreibung zur Programmversion 6", 1976 P. Beutel und H.E. Küffner, E. Röck, W. Schubo entnommen werden. Unter den möglichen Optionen ist Option 4 ausgewählt worden, wobei Wechselwirkungen zwischen zwei Faktoren berücksichtigt jedoch Wechselwirkungen zwischen drei und mehr Faktoren ignoriert werden.

5. Statistisches Modell für die Varianzanalyse

Weil die Varianz der Meßwerte in einzelne Varianzkomponenten aufgegliedert werden soll, kommt das sogenannte Varianzkomponentenmodell zur Anwendung. Damit soll der Einfluß der beiden unabhängigen Variablen Gerät und Reifen auf eine abhängige Variable, den gemessenen Gleitbeiwert, beschrieben werden.

In diesem Modellansatz bestimmt sich der gemessene Gleitbeiwert aus dem Mittelwert einer Meßreihe, hinzu kommen additiv die Beiträge des jeweiligen Geräts und des jeweiligen Reifens sowie der Wechselwirkung zwischen Gerät und Reifen. Berücksichtigt werden muß außerdem ein Restbeitrag, der übrig bleibt, wenn die Beiträge des Geräts und des Reifens sowie die Wechselwirkung abgezogen sind. Alle Beiträge sind Zufallsvariable, die nicht beobachtbar (meßbar) sind, eine bestimmte Verteilung aufweisen und im Mittel den Wert 0 haben. Der gemessene Gleitbeiwert ist ebenfalls eine Zufallsvariable, die jedoch meßbar ist. Die Meßwerte einer Meßreihe haben einen von 0 verschiedenen Mittelwert und weisen eine bestimmte Verteilung auf.

Die Verteilung der Zufallsvariablen ist unbekannt. Um keine Voraussetzungen an die Verteilung der Zufallsvariablen stellen zu müssen, werden die Zufallsvariablen als feste Größen betrachtet. Das hat zur Folge, daß die maximale Wahrscheinlichkeit oder der Erwartungswert der mittleren Abweichungsquadrate nicht bestimmt werden kann. Aus diesem Grund werden die Erwartungswerte der mittleren Abweichungsquadrate den mittleren Abweichungsquadraten gleichgesetzt. Dies ist möglich, weil es sich bei der Bestimmung von Vergleichs- und Wiederholstreuung um Punktschätzungen handelt, das sind Schätzwerte ohne Angaben der Vertrauensgrenzen, bei deren Berechnung Zufallsvariable als feste Größen betrachtet werden können /2/.

Es gilt damit folgender linearer Ansatz:

$$Y_{ijh} = c + a_i + b_j + c_{ij} + e_{ijh}$$

hier bedeuten:

Y_{ijh} = Gleitbeiwert für die Stufe i des Faktors A (Gerät), Stufe j des Faktors B (Reifen) und Messung oder Wiederholungsmessung h

c = Konstante

a_i = Beitrag i des Faktors A (Gerät)
($i = 1, \dots, \ell$) $\ell \leq 5$

b_j = Beitrag j des Faktors B (Reifen)
($j = 1, \dots, S$) $S \leq 5$

c_{ij} = Beitrag der Wechselwirkung der Stufe i des Faktors A (Gerät) mit der Stufe j des Faktors B (Reifen)

e_{ijh} = Restbeitrag für Messung oder Wiederholungsmessung h der Stufe i des Faktors A (Gerät) und Stufe j des Faktors B (Reifen) ($h = 1, \dots, m$).

Für die Anwendung dieses Modells zur Bestimmung der Varianzkomponenten müssen 2 Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Es muß die Zellenbesetzung $m > 1$ sein. Das heißt: für jede Kombination der beiden Faktoren Reifen/Gerät müssen mindestens 2 Beobachtungen (Meßwerte) vorliegen (mindestens 2fache Zellenbesetzung). Liegt nur eine

Messung für jede Reifen/Gerät-Kombination vor, kann das Wechselwirkungsglied nicht bestimmt werden.

Es gilt dann folgender Ansatz:

$$Y_{ijh} = c + a_i + b_j + e_{ijh}$$

Die Wechselwirkung ist in diesem Fall nicht von der Versuchsstreuung abspaltbar. Der Fall liegt bei den Messungen 1981 vor.

2. Die Anzahl der Beobachtungen (Meßwerte) muß für jede Gerät/Reifen-Kombination gleich groß sein (gleiche Zellenbesetzung).

6. Aufbereitung des Datenmaterials

Die vorliegenden Meßserien sind teilweise unvollständig, die Datenreihen müssen für das beschriebene Modell aufbereitet werden. Die Messungen werden nach Meßjahren, Fahrbahnbelägen und Geschwindigkeitsstufen getrennt, so daß für eine Varianzanalyse verschiedene Gerät/Reifen-Kombinationen zur Verfügung stehen.

Da meistens nur eine Wiederholmessung gemacht wurde, sind für die meisten der möglichen Gerät/Reifen-Kombinationen zwei Meßwerte vorhanden (zweifache Zellenbesetzung).

Ist eine zweifache, in jedem Fall gleiche Zellenbesetzung aufgrund einer oder zwei fehlender Wiederholmessungen nicht vorhanden, werden in einigen Fällen, die weiter unten näher erläutert werden, die für eine gleiche Zellenbesetzung notwendigen Meßwerte eingeschätzt. Eingeschätzt werden nur

Wertepaare für eine Kombination Reifen/Gerät nach der folgenden Formel, weil auf diese Weise der Schätzung das größere Datenmaterial zugrunde gelegt werden kann.

$$a^*_{ij} = \frac{S \cdot L_j + L \cdot S_i - T}{(L-1)(S-1)}$$

hier bedeuten:

S = Zahl der Reifen

L_j = Summe der verbliebenen Meßwertpaare des Reifens j

L = Zahl der Geräte

S_i = Summe der verbliebenen Meßwertpaare des Gerätes i

T = Summe aller Ergebnisse, ausgenommen das gesuchte a_{ij}*

Das verwendete Verfahren wird in /3/ und in DIN 51848 Teil 3 beschrieben. Die fehlende Wiederholmessung kann aus dem Wertepaar durch Differenzbildung leicht ermittelt werden. Sind mehr als zwei Wiederholmessungen eines Geräts oder eines Reifens nicht vorhanden, muß nach der Vorschrift eine Schätzung unterbleiben. Die Meßwerte dieses Geräts bzw. dieses Reifens können dann für die Analyse nicht benutzt werden.

Im Anhang sind die auf diese Weise aufbereiteten Meßdaten in den Tabellen 1.1 bis 4.4 dargestellt. Schätzwerte sind durch Sterne gekennzeichnet.

6.1 Messungen von 1970

An den Messungen des Jahres 1970 waren 5 Geräte und 5 Reifen beteiligt. Die Meßreifen wurden so getauscht, daß jedes Gerät mit jedem Reifen gemessen hat. Gemessen wurde auf 250 m langen Abschnitten ein Asphaltbetonbelag (AFB) und ein Markierungsbelag. Es wurden Messungen bei 40 km/h, 60 km/h und 80 km/h Nenngeschwindigkeit durchgeführt. Bei jeder Geschwindigkeit wurde zweimal gemessen, so daß für jede Messung eine Wiederholmessung vorhanden ist. Bei 40 km/h sind für beide Beläge 3 Wiederholmessungen vorhanden.

Mit Hilfe der Wiederholmessungen erreicht man eine Doppelbesetzung jeder der 25 Kombinationen Reifen/Gerät. Bei 40 km/h ist für beide Fahrbahnbeläge jede Reifen/Gerät Kombination vierfach besetzt. Zur Analyse der Messungen des Fahrbahnbelags Markierung bei 40 km/h ist ein einziger Wert eingeschätzt worden (Tabelle 1.3). Bei den Meßreihen beider Fahrbahnbeläge und bei allen Geschwindigkeitsstufen sind für 2 Kombinationen Reifen/Gerät weder eine Messung noch eine Wiederholmessung vorhanden. Eine Schätzung ist beim Fehlen beider Messungen in einer Zelle nicht möglich. Aus diesem Grund konnten bei der Berechnung der Varianzen nur 3 Geräte und 5 Reifen berücksichtigt werden. In einer anschließend vorgenommenen zweiten Analyse wurden durch Herausnahme der zwei unvollständigen Meßreihen nur 3 Reifen einbezogen; damit konnte die Streuung von allen 5 Geräten ermittelt werden (vgl. Tabellen 1.1 bis 1.6).

6.2 Messungen von 1971

Die Messungen aus dem Jahr 1971 sind mit denselben 5 Geräten und denselben 5 Reifen durchgeführt worden wie die Messungen des Jahres 1970. Die an den Reibungsmessern montierten Meßreifen wurden so vertauscht, daß jedes Meßgerät mit jedem der 5 Reifen Messungen vorgenommen hat. Gemessen wurde auf 250 m langen Abschnitten ein Asphaltbetonbelag (AFB) und ein

Markierungsbelag (M). Es wurden Messungen bei den Nenngeschwindigkeiten 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h und 100 km/h durchgeführt. Mit wenigen Ausnahmen ist für jede Messung eine Wiederholmessung vorhanden.

Wie bei den Messungen des Jahres 1970 erhält man 25 Kombinationen Reifen/Gerät, die in den meisten Fällen mit 2 Messungen besetzt sind. Für den Fahrbahnbelag Asphaltbeton ist bei allen Geschwindigkeitsstufen für 2 verschiedene Geräte jeweils eine Wiederholmessung eingeschätzt worden. Für den Belag Markierung sind nur die Messungen von 4 Geräten und 5 Reifen der Analyse zugrunde gelegt worden, weil bei den Messungen des fehlenden Geräts Wiederholmessungen in drei Fällen unterblieben sind und sich deshalb eine Schätzung verbot. Um möglichst viele Messungen verwenden zu können, ist für die Messungen der verbliebenen 4 Geräte bei jeder Geschwindigkeitsstufe je ein Wiederholmeßwert eingeschätzt worden.

6.3 Messungen von 1972

An den Messungen des Jahres 1972 waren 3 Geräte beteiligt; mit Ausnahme eines Geräts hat jedes Gerät Messungen mit 2 Reifen durchgeführt. Es wurde ein Straßenbelag gemessen. Die Messungen wurden bei den Geschwindigkeiten 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h und 100 km/h durchgeführt. Mit Ausnahme eines Geräts sind für jede der 5 Kombinationen Reifen/Gerät 2 Wiederholmessungen vorhanden.

Läßt man die Messungen des einen Geräts, bei denen nur ein Reifen verwendet wurde, außer acht, erhält man für die 4 Kombinationen Gerät/Reifen jeweils 3 Meßwerte (3fache Zellenbesetzung) bei jeder Nenngeschwindigkeit. Dieses Datenmaterial (12 Meßwerte pro Nenngeschwindigkeit) kann der Analyse zugrunde gelegt werden. Näheres ist aus den Tabellen 3.1 bis 3.4 zu ersehen.

6.4 Messungen von 1981

An den Messungen des Jahres 1981 waren 3 Geräte und 4 Reifen beteiligt. Doch sind nicht bei jedem Gerät Messungen mit jedem Reifen vorgenommen worden. Außerdem muß nach dem Meßort unterschieden werden. Es sind insgesamt Messungen von 4 verschiedenen Meßorten bzw. Fahrstreifen vorhanden, es kamen jedoch nur an zwei Meßorten alle 3 Geräte mit 3 Reifen zum Einsatz. Wiederholmessungen sind bei 2 Reifen und 2 Geräten zwar vorhanden, aber nicht am selben Tag durchgeführt worden. Sie wurden in der Auswertung deshalb nicht berücksichtigt.

Für die Analyse sind die Messungen aller 3 Geräte und 3 Reifen auf 2 Fahrstreifen bei den Nenngeschwindigkeiten 40 km/h, 60 km/h, 80 km/h und 100 km/h verwendet worden. Näheres ist den Tabellen 4.1 - 4.4 zu entnehmen.

7. Auswertung

Alle Varianzanalysen sind mit dem SPSS-Programm Anova gerechnet worden. Entsprechend dem Modell, das in Abschnitt 5 beschrieben ist, sind für die Messungen 1970 zwölf Varianzanalysen durchgeführt worden. Bei den Messungen der Jahre 1971 und 1981 waren es jeweils acht und für die Messungen von 1972 vier Varianzanalysen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Berechnungsvorschriften für die Varianzanalysen zusammengefaßt. Mit MQ sind die mittleren Abweichungsquadrate (mean square) bezeichnet, die nach dem Rechengang aus der Varianzanalysetabelle entnommen werden. Die zugehörige Zahl an Freiheitsgraden, die ebenfalls aus der Varianzanalysetabelle entnommen werden kann, wird mit df bezeichnet. Sind Werte eingeschätzt worden, muß die Anzahl der Freiheitsgrade df des Restglieds für jeden geschätzten Wert um eins reduziert werden $/4/MQ$ und df sind

indiziert durch A, B, A x B bzw. R. Dies deutet auf die Haupteffekte A (Gerät), B (Reifen), auf die Wechselwirkung A x B (Gerät/Reifen) und auf den Rest ("residual") R hin. Ferner enthält die Varianzanalysetabelle wie folgt definierte abkürzende Bezeichnungen:

$$Y_{ij.} = \sum_{h=1}^m y_{ijh}, \quad Y_{i..} = \sum_{j=1}^s \sum_{h=1}^m y_{ijh}$$

$$Y_{.j.} = \sum_{i=1}^l \sum_{h=1}^m y_{ijh}, \quad Y_{...} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \sum_{h=1}^m y_{ijh}$$

$$N = l \cdot s \cdot m$$

Variationsquelle	Summe der Abweichungsquadrate	Freiheitsgrade	Mittlere Quadrate
Gerät A_i ($i=1, \dots, l$)	$SQ_A = \sum_{i=1}^l \frac{Y_{i..}^2}{m \cdot s} - \frac{Y_{...}^2}{N}$	$df_A = l-1$	$MQ_A = \frac{SQ_A}{df_A}$
Reifen B_j ($j=1, \dots, s$)	$SQ_B = \sum_{j=1}^s \frac{Y_{.j.}^2}{m \cdot l} - \frac{Y_{...}^2}{N}$	$df_B = s-1$	$MQ_B = \frac{SQ_B}{df_B}$
Wechselwirkung Gerät A_i Reifen B_j	$SQ_{AxB} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \frac{Y_{ij.}^2}{m} - \sum_{i=1}^l \frac{Y_{i..}^2}{m \cdot s} - \sum_{j=1}^s \frac{Y_{.j.}^2}{m \cdot l} + \frac{Y_{...}^2}{N}$	$df_{AxB} = (l-1)(s-1)$	$MQ_{AxB} = \frac{SQ_{AxB}}{df_{AxB}}$
Rest e_{ijh} ($h=1, \dots, m$)	$SQ_R = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \sum_{h=1}^m y_{ijh}^2 - \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \frac{Y_{ij.}^2}{m}$	$df_R = N-1 \cdot s$	$MQ_R = \frac{SQ_R}{df_R}$

Für den Fall $m = 1$; d.h.: liegt nur eine Messung für jede Reifen / Gerät Kombination vor, erhält man folgende Varianz-analysetabelle:

Die abkürzenden Bezeichnungen vereinfachen sich wie folgt:

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^s Y_{ij} \quad Y_{.j} = \sum_{i=1}^l Y_{ij} \quad Y_{..} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s Y_{ij}$$

$$N = l \cdot s$$

Variations- quelle	Summe der Abweichungsquadrate	Freiheits- grade	Mittlere Quadrate
Gerät A_i ($i=1, \dots, l$)	$SQ_A = \sum_{i=1}^l \frac{Y_{i.}^2}{s} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$df_A = l-1$	$MQ_A = \frac{SQ_A}{df_A}$
Reifen B_j ($j=1, \dots, s$)	$SQ_B = \sum_{j=1}^s \frac{Y_{.j}^2}{l} - \frac{Y_{..}^2}{N}$	$df_B = s-1$	$MQ_B = \frac{SQ_B}{df_B}$
Rest e_{ijh} ($h=1, \dots, m$)	$SQ_R = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s Y_{ij}^2 - \frac{1}{s} \sum_{i=1}^l \frac{Y_{i.}^2}{s}$ $- \sum_{j=1}^s \frac{Y_{.j}^2}{l} + \frac{Y_{..}^2}{N}$	$df_R = (l-1)(s-1)$	$MQ_R = \frac{SQ_R}{df_R}$

Ein Beispiel für die Zerlegung der Varianz in die einzelnen Variationsquellen nach den vorliegenden Berechnungsvorschriften ist in Tabelle 5 im Anhang wiedergegeben.

Im folgenden werden die Gleichungen angegeben, die zur Bestimmung der Beurteilungsgrößen Wiederhol- und Vergleichsstreuung benutzt werden. Außerdem wird angegeben, wie sich die Zahl der Freiheitsgrade für die Vergleichsstreuung und für die Wiederholstreuung ermitteln läßt.

Der theoretische "wahre" Wert der gesuchten Streuung wird mit γ , sein bester Schätzwert mit g bezeichnet; g ist damit identisch mit s^2 (Bezeichnung in DIN 1319 empirische Standardabweichung). Die Anzahl der Freiheitsgrade, die zu der Streuung g gehört, heißt n .

$\sigma_a^2, \sigma_B^2, \sigma_{ab}^2, \sigma_R^2$ sind die "wahren" Streuungskomponenten, die auf die Haupteffekte A (Gerät), B (Reifen), die Wechselwirkung A x B bzw. den Versuchsfehler zurückzuführen sind. Die hier genannten Formeln sind dem Grundlagenwerk /2/ entnommen. Die dort gewählten Bezeichnungen werden hier beibehalten.

7.1 Berechnung der Wiederholstreuung

$$\gamma = \sigma_R^2$$

$$g = MQ_R$$

$$n = df_R$$

7.2 Berechnung der Vergleichsstreuung für den Faktor A (Gerät) oder Faktor B (Reifen)

$$\gamma = \sigma_a^2 + \sigma_{ab}^2 + \sigma_R^2$$

$$g = \sum_{i=1}^3 g_i x_i \quad s = \sqrt{g}$$

$$g_1 = 1 - \frac{1}{m} ; x_1 = MQ_R ; n_1 = df_R$$

$$g_2 = \frac{1}{m} - \frac{1}{ms} ; x_2 = MQ_{AXB} ; n_2 = df_{AXB}$$

$$g_3 = \frac{1}{ms} ; x_3 = MQ_A ; n_3 = df_A$$

Zahl der Freiheitsgrade:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^3 g_i \cdot x_i^2}{\sum_{i=1}^3 \frac{g_i^2 \cdot x_i^2}{n_i}}$$

7.3 Vergleichsstreuung für die Faktoren A (Gerät) und B (Reifen) zusammen

$$\gamma = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_{ab}^2 + \sigma_R^2$$

$$g = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 g_i x_i \quad s = \sqrt{g}$$

$$g_1 = 1 - \frac{1}{m} ; x_1 = MQ_R ; n_1 = df_R$$

$$g_2 = \frac{1}{m} - \frac{1}{ms} - \frac{1}{ml} ; x_2 = MQ_{A \times B} ; n_2 = df_{A \times B}$$

$$g_3 = \frac{1}{ms} ; x_3 = MQ_A ; n_3 = df_A$$

$$g_4 = \frac{1}{ml} ; x_4 = MQ_B ; n_4 = df_B$$

Zahl der Freiheitsgrade:

$$n = \frac{\left(\sum_{i=1}^4 g_i x_i \right)^2}{\sum_{i=1}^4 \left(\frac{g_i^2 x_i^2}{n_i} \right)}$$

Die angegebenen Formeln zur Berechnung der Vergleichsstreuungen beinhalten die Reststreuung. Diese hier verwendete Definition der Vergleichsstreuung (mit dem Summanden σ_R^2) erfolgt in Übereinstimmung mit der DIN 51848.

Bei der Berechnung von Vergleichsstreuungen für den Fall, $m = 1$, d.h.: daß nur ein Meßwert für jede Kombination Reifen/Gerät vorhanden ist, läßt sich die Wechselwirkung $A \times B$ nicht von der Reststreuung trennen. Für diesen Fall wird wie folgt vorgegangen:

Vergleichsstreuung für den Faktor A (Gerät)

$$\text{Es ist: } \gamma = \sigma_a^2 + \sigma_R^2$$

$$g = \sum_{i=1}^2 g_i x_i$$

$$g_1 = 1 - \frac{1}{s} ; x_1 = MQ_R ; n_1 = df_R$$

$$g_2 = \frac{1}{s} ; x_2 = MQ_A ; n_2 = df_A$$

Vergleichsstreuung für den Faktor A (Gerät) und Faktor B (Reifen)

$$\text{Es ist: } \gamma = \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_R^2$$

$$g = \sum_{i=1}^3 g_i x_i$$

$$g_1 = 1 - \frac{1}{l} - \frac{1}{s} ; x_1 = MQ_R ; n_1 = df_R$$

$$g_2 = \frac{1}{s} ; x_2 = MQ_A ; n_2 = df_A$$

$$g_3 = \frac{1}{l} ; x_3 = MQ_B ; n_3 = df_B$$

8. Ergebnisse

8.1 Erläuterung der Darstellung

Die Einflüsse der Faktoren Reifen, Gerät, Fahrbahnbelag und Geschwindigkeit auf den gemessenen Gleitbeiwert sind durch die statistischen Größen Vergleichsstreuung und Wiederholstreuung ermittelt worden. Die Tabellen 6 bis 9 enthalten die berechneten Schätzungen dieser Größen.

Die Ergebnisse sind nach Jahren geordnet. Jeweils für ein Jahr wurden Tabellen für die Vergleichsstreuung (Vergleichsstreuung bezüglich Gerät und Reifen), für die Wiederholstreuung sowie für die Vergleichsstreuungen, die nur auf einen Faktor Gerät oder Reifen bezogen sind, aufgestellt. In den Tabellen werden neben dem Streumaß Standardabweichung s , der Variationskoeffizient v , der Mittelwert \bar{x} der Messung und die zugehörige Anzahl der Freiheitsgrade n angegeben.

Die Vergleichsstreuung berücksichtigt beide Faktoren Gerät und Reifen sowie die Reststreuung, die statistisch als Wiederholstreuung interpretiert wird. Die Vergleichsstreuung kann damit als entscheidende Bewertungsgröße für die Meßgenauigkeit angegeben werden. Die Wiederholstreuung ist gleich der Reststreuung, die nicht durch die beiden Faktoren Gerät und Reifen erklärt wird. Sie rührt im wesentlichen aus der Wiederholung von Messungen her, weiterhin z.B. aus dem nicht genauen Einhalten der Nenngeschwindigkeit beim Meßvorgang.

Die bezogenen Vergleichsstreuungen geben den Einfluß jeweils eines Faktors auf die Meßwertstreuung an, entweder den Einfluß des Geräts oder den Einfluß des Reifens. Das statistische Modell, das der Analyse zugrunde gelegt wurde, erlaubt auch die Bestimmung des Wechselwirkungseffekts zwischen Gerät und Reifen. Der Einfluß dieser Größe auf die Streuungswerte ist fast immer signifikant, wobei ein Signifikanzniveau von 5 % zugrundegelegt wird. Der Wechselwir-

kungseffekt kann größer sein als die Haupteffekte Gerät oder Reifen. Dieser Effekt der gegenseitigen Beeinflussung ist in allen hier berechneten Vergleichsstreuungen enthalten.

Die Freiheitsgrade erreichen nur in wenigen Fällen die nach DIN geforderte Mindestanzahl von $n = 30$, mit der die Streubreiten der statistischen Maßzahlen innerhalb eines Konfidenzintervalls von 95 % als gleich groß angesehen werden können. Die n -Werte sind in fast allen Meßreihen klein und differieren auch innerhalb der einzelnen Meßreihen ziemlich stark. Ein Vergleich der Einzelergebnisse untereinander ist daher nach strengen mathematisch-statistischen Maßstäben problematisch. Die folgenden Aussagen stehen unter diesem Vorbehalt.

8.2 Erläuterung der Ergebnisse

Die Vergleichsstreuungen bezüglich Gerät in den Meßreihen über alle Geschwindigkeiten gesehen schwanken zwischen dem kleinsten Wert 0,005 und dem größten Wert 0,040; die der Variationskoeffizienten zwischen 0,014 und 0,124. Vergleicht man den Einfluß des Geräts (Vergleichsstreuung bezüglich Gerät) mit dem Einfluß des Reifens (Vergleichsstreuung bezüglich Reifen), so geht aus den ermittelten Werten hervor, daß in 3 von 4 Versuchsreihen der Einfluß des Geräts auf die Meßgenauigkeit größer war als der Einfluß des verwendeten Reifens. In der Meßreihe 1972 überwog dagegen deutlich der Einfluß des Meßreifens.

Die Vergleichsstreuungen, die die Faktoren Gerät und Reifen berücksichtigen, sind notwendigerweise größer, sie bewegen sich zwischen 0,017 und 0,045; die der Variationskoeffizienten zwischen 0,036 und 0,165.

Die Wiederholstreuungen sind bei den meisten Meßreihen niedrig, die Standardabweichung liegt etwa um den Wert 0,010.

Allerdings treten auch vereinzelt größere Standardabweichungen auf, z.B. in der Meßreihe 1971 bei einer Geschwindigkeitsstufe ein Wert von 0,025. Das macht deutlich, daß abgesehen von zufallsbedingten Differenzen auch außerhalb der Einflüsse von Gerät und Reifen andere Resteinflüsse teilweise eine Rolle spielen können.

Eine zusammenfassende Darstellung der Analyse der Griffigkeitsmessungen zeigt Tabelle 10. Diese Zusammenstellung enthält die Vergleichsstreuung und die Wiederholstreuung nach Meßjahren, Fahrbahnbelägen und Geschwindigkeitsstufen aufgegliedert. In der Tabelle ist nur die Auswertungsvariante der Messungen des Jahres 1970, die mit 5 Geräten und 3 Reifen gemacht wurde, berücksichtigt, da diese Auswertungsvariante stärker auf den Geräteeinfluß als auf den Reifeneinfluß abhebt. Außerdem sind die Ergebnisse der Analyse bei der Geschwindigkeitsstufe 100 km/h nicht in der Tabelle enthalten, da diese Meßgeschwindigkeit bei Routinemessungen keine Bedeutung hat /4/.

Für eine zusammenfassende Aussage wurden Mittelwerte der Variationskoeffizienten und Standardabweichungen über die Straßenbeläge und Meßjahre, die in Tabelle 10 aufgeführt sind, nach Geschwindigkeitsstufen getrennt, gebildet. Die Mittelwertbildung erfolgt auf Grund der Feststellung, daß die Standardabweichungen und Variationskoeffizienten keine systematische Abhängigkeit von der Höhe des Meßwertes erkennen lassen. Außerdem wurden die größten und kleinsten Werte der Variationskoeffizienten und Standardabweichungen bei den einzelnen Geschwindigkeitsstufen ermittelt.

In Tabelle 11 sind die gemittelten Variationskoeffizienten und Standardabweichungen von Wiederholstreuung und Vergleichsstreuung bei den einzelnen Geschwindigkeiten angegeben. Die so gemittelten Variationskoeffizienten der Vergleichsstreuung betragen bei den Geschwindigkeitsstufen 40 km/h, 60 km/h und 80 km/h, in Prozent angegeben, 6,2 %, 6,2 %, 6,2 %.

40 km/h, 60 km/h und 80 km/h, in Prozent angegeben, 6,2 %, 6,8 % und 8,8 %. Die Variationskoeffizienten der Wiederholstreuung bei den Geschwindigkeitsstufen 40 km/h, 60 km/h und 80 km/h betragen 2,9 %, 3,1 % und 3 %. In allen Fällen sind die Wiederholstreungen im Mittel weniger als halb so groß wie die Vergleichsstreuungen.

9. Literatur

- /1/ Dr. Ing. E.-U. Hiersche, Methode zur Messung und Beurteilung der Straßengriffigkeit, PTV 9,1970

- /2/ F.A. Graybill "An introduction to linear statistical models", I New York: Mc Graw-Hill 1961

- /3/ A. Linder: Planen und Auswerten von Versuchen, 1969

- /4/ Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1968

- /5/ J. Dames, R. Merckens, Zur Frage der Meßunsicherheit des "Stuttgarter Reibungsmessers (SRM)" und des englischen Meßgerätes "SCRIM" Berlin 1982

A N H A N G

Tabelle 1.1 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1970

Nenngeschwindigkeit: 40km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,481	0,539	0,512	0,502	0,536
	2	0,501	0,540	0,544	0,508	0,506
	3	0,485	0,540	0,508	0,499	0,497
	4	0,540	0,494	0,500	0,484	0,494
Berlin	1	0,489	0,511	0,507	0,550	0,549
	2	0,518	0,536	0,523	0,553	0,566
	3	0,470	0,543	0,497	0,488	0,529
	4	0,514	0,556	0,500	0,507	0,511
Stuttgart	1	0,520	0,480	0,490	0,560	0,500
	2	0,480	0,530	0,510	0,540	0,550
	3	0,510	0,480	0,470	0,540	0,480
	4	0,550	0,520	0,490	0,540	0,470
Inzell	1	0,555	0,522	0,494	fehlt	0,486
	2	0,538	0,492	0,490		0,492
	3	0,498	0,493	0,478		0,500
	4	0,497	0,491	0,493		0,496
Bayern	1	0,459	0,551	fehlt	0,475	0,476
	2	0,459	0,546		0,485	0,478
	3	0,453	0,502		0,467	0,468
	4	0,457	0,499		0,464	0,459

Tabelle 1.2 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1970

Nenngeschwindigkeit: 60km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,407	0,434	0,411	0,426	0,417
	2	0,411	0,450	0,433	0,414	0,406
Berlin	1	0,402	0,488	0,426	0,468	0,461
	2	0,417	0,402	0,424	0,416	0,438
Stuttgart	1	0,390	0,390	0,420	0,420	0,410
	2	0,390	0,400	0,440	0,410	0,410
Inzell	1	0,438	0,406	0,410	fehlt	0,403
	2	0,421	0,409	0,405		0,401
Bayern	1	0,382	0,446	fehlt	0,394	0,412
	2	0,386	0,428		0,396	0,403

Tabelle 1.3 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederholmessungen 1970						
Nenngeschwindigkeit: 40km/h Fahrbahnbelag: Markierung						
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,289	0,293	0,271	0,273	0,269
	2	0,276	0,311	0,262	0,269	0,267
	3	0,275	0,277	0,261	0,268	0,325
	4	0,269	0,277	0,265	0,298	0,288
Berlin	1	0,251	0,257	0,264	0,261	0,259
	2	0,254	0,258	0,268	0,259	0,252
	3	0,257	0,264	0,262	0,264	0,258
	4	0,258	0,269	0,262	0,251	0,250
Stuttgart	1	0,240	0,240	0,240	0,230	0,250
	2	0,236*	0,230	0,230	0,230	0,250
	3	0,230	0,230	0,230	0,240	0,250
	4	0,230	0,240	0,230	0,240	0,240
Inzell	1	0,268	0,264	0,271	fehlt	0,265
	2	0,262	0,267	0,270		0,256
	3	0,261	0,268	0,266		0,264
	4	0,260	0,269	0,267		0,263
Bayern	1	0,259	0,266	fehlt	0,261	0,261
	2	0,255	0,268		0,259	0,257
	3	0,258	0,267		0,266	0,261
	4	0,261	0,267		0,266	0,258
Tabelle 1.4 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederholmessungen 1970						
Nenngeschwindigkeit: 60km/h Fahrbahnbelag Markierung						
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,269	0,266	0,237	0,243	0,260
	2	0,269	0,258	0,241	0,246	0,259
Berlin	1	0,234	0,247	0,244	0,236	0,245
	2	0,247	0,254	0,245	0,237	0,236
Stuttgart	1	0,220	0,220	0,210	0,210	0,220
	2	0,220	0,210	0,210	0,220	0,220
Inzell	1	0,239	0,242	0,244	fehlt	0,239
	2	0,242	0,243	0,246		0,242
Bayern	1	0,236	0,240	fehlt	0,234	0,240
	2	0,237	0,241		0,239	0,237

Eingeschätzte Werte sind durch Sterne gekennzeichnet

Tabelle 1.5 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1970

Nenngeschwindigkeit: 80 km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.:				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,345	0,396	0,333	0,348	0,357
	2	0,371	0,431	0,357	0,352	0,348
Berlin	1	0,348	0,351	0,368	0,376	0,377
	2	0,340	0,359	0,366	0,353	0,365
Stuttgart	1	0,320	0,330	0,330	0,310	0,330
	2	0,320	0,310	0,310	0,330	0,330
Inzell	1	0,335	0,331	0,338		0,340
	2	0,322	0,332	0,322	fehlt	0,329
Bayern	1	0,319	0,344		0,340	0,332
	2	0,314	0,343	fehlt	0,337	0,327

Tabelle 1.6 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1970

Nenngeschwindigkeit: 80 km/h Fahrbahnbelag:
Markierungen

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	10	18	19	25	26
Köln	1	0,238	0,271	0,218	0,217	0,240
	2	0,251	0,273	0,212	0,225	0,235
Berlin	1	0,223	0,229	0,234	0,221	0,218
	2	0,231	0,230	0,232	0,224	0,227
Stuttgart	1	0,180	0,160	0,170	0,170	0,170
	2	0,190	0,190	0,170	0,180	0,190
Inzell	1	0,217	0,221	0,221		0,211
	2	0,207	0,226	0,214	fehlt	0,214
Bayern	1	0,217	0,221		0,221	0,214
	2	0,218	0,220	fehlt	0,224	0,219

Tabelle 2.1 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederholmessungen 1971						
Nenngeschwindigkeit: 40km/h Fahrbahnbelag: Markierung						
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,309	0,375	0,311	0,352	0,395
	2	0,348	0,366	0,321	0,349	0,391
Stuttgart	1	0,311	0,366	0,316	0,338	0,329
	2	0,332	0,346	0,310	0,335	0,332
Inzell	1	0,325	0,323	0,314	0,358	0,320
	2	0,318	0,314	0,311	0,344	0,359*
Bayern	1	0,303	0,298	0,334	0,325	0,311
	2	0,311	0,296	0,329	0,312	0,298
Tabelle 2.2 Gemessene Gleitwerte der Vergleichs- und Wiederholmessungen 1971						
Nenngeschwindigkeit: 60km/h Fahrbahnbelag: Markierung						
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,325	0,399	0,362	0,369	0,449
	2	0,337	0,385	0,350	0,357	0,413
Stuttgart	1	0,347	0,463	0,350	0,422	0,419
	2	0,362	0,407	0,330	0,365	0,391
Inzell	1	0,347	0,353	0,336	0,392	0,330
	2	0,339	0,338	0,338	0,391	0,441*
Bayern	1	0,319	0,326	0,366	0,331	0,331
	2	0,304	0,306	0,349	0,323	0,324

Eingeschätzte Werte sind durch Sterne gekennzeichnet

Tabelle 2.3 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederholmessungen 1971						
Nenngeschwindigkeit: 80km/h Fahrbahnbelag: Markierung						
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,271	0,273	0,259	0,259	0,311
	2	0,243	0,267	0,260	0,254	0,283
Stuttgart	1	0,218	0,312	0,239	0,260	0,254
	2	0,232	0,304	0,246	0,263	0,269
Inzell	1	0,232	0,232	0,225	0,270	0,233
	2	0,226	0,238	0,226	0,264	* 0,270
Bayern	1	0,206	0,205	0,235	0,220	0,218
	2	0,210	0,212	0,245	0,212	0,215

Tabelle 2.4 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederholmessungen 1971						
Nenngeschwindigkeit: 100km/h Fahrbahnbelag: Markierung						
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,237	0,286	0,237	0,257	0,314
	2	0,228	0,264	0,244	0,270	0,286
Stuttgart	1	0,202	0,277	0,218	0,257	0,246
	2	0,196	0,231	0,239	0,209	0,231
Inzell	1	0,220	0,234	0,224	0,255	0,215
	2	0,204	0,221	0,227	0,239	* 0,284
Bayern	1	0,199	0,204	0,235	0,212	0,217
	2	0,193	0,199	0,236	0,196	0,215

Eingeschätzte Werte sind durch Sterne gekennzeichnet

Tabelle 2.5 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1971

Nenngeschwindigkeit: 40km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,620	0,668	0,631	0,645	0,652
	2	0,610	0,678	0,672	0,647	0,668
Berlin	1	0,619	0,635	0,649	0,607	0,635
	2	0,619	0,642	0,589*	0,626	0,618
Stuttgart	1	0,605	0,660	0,605	0,655	0,655
	2	0,642	0,668	0,610	0,651	0,651
Inzell	1	0,631	0,664	0,634	0,667	0,636
	2	0,645	0,665	0,658	0,672	0,685*
Bayern	1	0,642	0,650	0,657	0,658	0,630
	2	0,617	0,638	0,660	0,650	0,630

Tabelle 2.6 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1971

Nenngeschwindigkeit: 60km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,534	0,582	0,558	0,561	0,572
	2	0,529	0,570	0,561	0,571	0,579
Berlin	1	0,500	0,532	0,517	0,523	0,517
	2	0,502	0,521	0,507*	0,528	0,513
Stuttgart	1	0,532	0,589	0,524	0,552	0,551
	2	0,518	0,598	0,527	0,548	0,569
Inzell	1	0,537	0,563	0,540	0,545	0,552
	2	0,531	0,561	0,551	0,566	0,561*
Bayern	1	0,521	0,526	0,540	0,532	0,525
	2	0,511	0,543	0,541	0,535	0,523

Eingeschätzte Werte sind durch Sterne gekennzeichnet

Tabelle 2.7 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1971

Nenngeschwindigkeit: 80km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,414	0,487	0,442	0,437	0,456
	2	0,434	0,461	0,440	0,449	0,465
Berlin	1	0,418	0,440	0,422	0,425	0,414
	2	0,414	0,444	0,417*	0,420	0,406
Stuttgart	1	0,435	0,512	0,406	0,445	0,450
	2	0,419	0,484	0,424	0,462	0,455
Inzell	1	0,411	0,467	0,424	0,414	0,429
	2	0,413	0,435	0,417	0,425	0,446*
Bayern	1	0,397	0,398	0,421	0,388	0,406
	2	0,379	0,387	0,409	0,372	0,414

Tabelle 2.8 Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs-
und Wiederholmessungen 1971

Nenngeschwindigkeit: 100km/h Fahrbahnbelag:
Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.				
		10	18	19	25	26
Köln	1	0,371	0,460	0,406	0,411	0,428
	2	0,372	0,429	0,387	0,411	0,428
Stuttgart	1	0,299	0,400	0,318	0,357	0,332
	2	0,316	0,400	0,320	0,324	0,343
Inzell	1	0,336	0,367	0,332	0,338	0,357
	2	0,328	0,372	0,356	0,345	0,362*
Bayern	1	0,315	0,343	0,343	0,311	0,335
	2	0,308	0,336	0,338	0,304	0,331

Eingeschätzte Werte sind durch Sterne gekennzeichnet.

Tabelle 3.1

Gemessene Gleitbewerte der Vergleichs- und Wiederhol- messungen 1972			
Nenngeschwindigkeit: 40km/h			
Fahrbahnbelag: Zementbeton			
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.	
		I 29	K 126
Bayern	1	0,454	0,484
	2	0,445	0,485
	3	0,444	0,496
Inzell	1	0,469	0,515
	2	0,468	0,509
	3	0,466	0,512

Tabelle 3.2

Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederhol- messungen 1972			
Nenngeschwindigkeit: 60km/h			
Fahrbahnbelag: Zementbeton			
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.	
		I 29	K 126
Bayern	1	0,370	0,410
	2	0,379	0,410
	3	0,384	0,409
Inzell	1	0,384	0,411
	2	0,387	0,412
	3	0,379	0,423

Tabelle 3.3

Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederhol- messungen 1972			
Nenngeschwindigkeit: 80km/h			
Fahrbahnbelag: Zementbeton			
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.	
		I 29	K 126
Bayern	1	0,331	0,362
	2	0,322	0,362
	3	0,328	0,361
Inzell	1	0,323	0,351
	2	0,318	0,364
	3	0,332	0,363

Tabelle 3.4

Gemessene Gleitbeiwerte der Vergleichs- und Wiederhol- messungen 1972			
Nenngeschwindigkeit: 100km/h			
Fahrbahnbelag: Zementbeton			
Vergleichs- gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.	
		I 29	K 126
Bayern	1	0,244	0,272
	2	0,227	0,266
	3	0,234	0,283
Inzell	1	0,221	0,264
	2	0,225	0,267
	3	0,229	0,264

Tabelle 4.1 Gemessene Gleitbeiwerte der
Vergleichsmessungen 1981

Nenngeschwindigkeit: 40km/h

Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Fahrstreifen 3			Fahrstreifen 4		
	Reifen Nr.			Reifen Nr.		
	K 238	K 232	I 2	K 238	K 232	I 2
Köln	0,602	0,605	0,583	0,636	0,641	0,615
Inzell	0,573	0,607	0,557	0,608	0,635	0,599
Bayern	0,516	0,522	0,555	0,556	0,576	0,595

Tabelle 4.2 Gemessene Gleitbeiwerte der
Vergleichsmessungen 1981

Nenngeschwindigkeit: 60km/h

Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Fahrstreifen 3			Fahrstreifen 4		
	Reifen Nr.			Reifen Nr.		
	K 238	K 232	I 2	K 238	K 232	I 2
Köln	0,523	0,530	0,495	0,541	0,552	0,519
Inzell	0,466	0,525	0,462	0,492	0,556	0,509
Bayern	0,452	0,470	0,469	0,478	0,501	0,497

Tabelle 4.3 Gemessene Gleitbeiwerte der
Vergleichsmessungen 1981

Nenngeschwindigkeit: 80km/h
Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Fahrstreifen 3			Fahrstreifen 4		
	Reifen Nr.			Reifen Nr.		
	K 238	K 232	I 2	K 238	K 232	I 2
Köln	0,425	0,476	0,423	0,458	0,491	0,449
Inzell	0,411	0,450	0,398	0,439	0,497	0,456
Bayern	0,381	0,409	0,414	0,401	0,446	0,432

Tabelle 4.4 Gemessene Gleitbeiwerte der
Vergleichsmessungen 1981

Nenngeschwindigkeit: 100km/h
Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

Vergleichs- gerät	Fahrstreifen 3			Fahrstreifen 4		
	Reifen Nr.			Reifen Nr.		
	K 238	K 232	I 2	K 238	K 232	I 2
Köln	0,372	0,414	0,351	0,405	0,437	0,380
Inzell	0,369	0,365	0,380	0,382	0,428	0,427
Bayern	0,337	0,398	0,553	0,358	0,391	0,368

Tabelle 5 Beispiel für die Zerlegung der Streuung
 von Gleitbeiwerten in einer Varianzanalyse
 Meßwerte : Vergleichsmessungen 1970
 Nenngeschwindigkeit: 80km/h
 Fahrbahnbelag : Asphaltbeton
 (Messwerte mit 100^3 multipliziert)

Gerät	Wieder- holung	Reifen Nr.			$Y_{i..}$
		10	18	26	
Köln	1	345	396	357	2248
	2	371	431	348	
Berlin	1	348	351	377	2140
	2	340	359	365	
Stuttgart	1	320	330	330	1940
	2	320	310	330	
Inzell	1	335	331	340	1989
	2	322	332	329	
Bayern	1	319	344	332	1979
	2	314	343	327	
Y.j.		3334	3527	3435	$Y_{...}$ 10296

Mit den Bezeichnungen: $Y_{ij.} = \sum_{h=1}^m Y_{ijh}$

$$Y_{i..} = \sum_{j=1}^s \sum_{h=1}^m Y_{ijh}$$

$$Y_{.j.} = \sum_{i=1}^l \sum_{h=1}^m Y_{ijh}$$

$$Y_{...} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \sum_{h=1}^m Y_{ijh}$$

l = Anzahl der Geräte = 5

m = Zellenbesetzung = 2

s = Anzahl der Reifen = 3

$N = m \cdot s \cdot l = 30$

Tabelle 5 Fortsetzung
und den folgenden Hilfsausdrücken

$$(1) = \sum_{i=1}^l \frac{Y^2_{i..}}{m \cdot s} = 3\,544\,877,667$$

$$(2) = \frac{Y^2_{...}}{N} = 3\,533\,587,200$$

$$(3) = \sum_{j=1}^s \frac{Y^2_{.j.}}{m \cdot l} = 3\,535\,451,000$$

$$(4) = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \frac{Y^2_{ij.}}{m} = 3\,551\,068,000$$

$$(5) = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^s \sum_{h=1}^m Y^2_{ijh} = 3\,552\,566,000$$

wird:

Variations- quelle	Summe der Abweichungs- quadrate	Freiheits- grade	Mittlere quadrate	F = $\frac{MQ}{MQ_R}$
Gerät A_i ($i=1, \dots, l$)	$SQ_A = (1) - (2)$ = 11 290,467	$df_A = l - 1$ = 4	$MQ_A = SQ_A / df_A$ = 2822,62	28,26
Reifen B_j ($j=1, \dots, s$)	$SQ_B = (3) - (2)$ = 1 863,800	$df_B = s - 1$ = 2	$MQ_B = SQ_B / df_B$ = 931,900 000	9,33
Wechsel- wirkung A_i, B_j	$SQ_{AxB} = (4) - (1) - (3) + (2)$ = 4 326,533	$df_{AxB} = (l-1)(s-1)$ = 8	$MQ_{AxB} = SQ_{AxB} / df_{AxB}$ = 540,816 625	5,42
Rest	$SQ_R = (5) - (4)$ = 1 498,000	$df_R = N - ls$ = 15	$MQ_R = SQ_R / df_R$ = 99,866 667	

Signifikanzprüfung mit der statistischen Sicherheit von 95%

Faktor Gerät: $F = 28,26 > F_{4,15} = 3,06 \Rightarrow$ signifikant

Faktor Reifen: $F = 9,33 > F_{2,15} = 3,68 \Rightarrow$ signifikant

Wechsel-
wirkung : $F = 5,42 > F_{8,15} = 2,64 \Rightarrow$ signifikant

Gerät/Reifen

Tabelle 6 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1970

6.1 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
und Reifen
(Vergleich von 5 Geräten und 3 Reifen)

	Asphaltbeton				Markierung			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,507	0,030	0,059	32	0,261	0,019	0,072	7
60	0,415	0,025	0,059	19	0,241	0,017	0,069	5
80	0,343	0,027	0,079	9	0,218	0,027	0,125	5

Tabelle 6.2 Wiederholstreuung
(Vergleich von 5 Geräten und 3 Reifen)

	Asphaltbeton				Markierung			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,507	0,022	0,044	45	0,261	0,009	0,035	44
60	0,415	0,018	0,043	15	0,241	0,004	0,017	15
80	0,343	0,010	0,029	15	0,218	0,008	0,037	15

Mittelwert : \bar{x}

Standardabweichung: s

Variationskoeffizient: v

Freiheitsgrade : n

Tabelle 6 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1970

6.3 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät

(Vergleich von 5 Geräten und 3 Reifen)

	Asphaltbeton				Markierung			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,507	0,03	0,059	31	0,261	0,019	0,071	7
60	0,415	0,024	0,057	19	0,241	0,017	0,069	7
80	0,343	0,027	0,077	8	0,218	0,027	0,124	5

Tabelle 6.4 Vergleichsstreuung bezüglich Reifen
(Vergleich von 5 Geräten und 3 Reifen)

	Asphaltbeton				Markierung			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,507	0,029	0,057	29	0,261	0,010	0,037	41
60	0,415	0,022	0,053	17	0,241	0,005	0,019	19
80	0,343	0,018	0,052	12	0,218	0,011	0,049	16

Mittelwert : \bar{x} Standardabweichung: s
Variationskoeffizient: v Freiheitsgrade : n

Tabelle 6 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1970

6.5 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
und Reifen

(Vergleich von 3 Geräten und 5 Reifen)

km/h	Asphaltbeton				Markierung			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,514	0,025	0,049	51	0,258	0,024	0,092	3
60	0,421	0,024	0,057	15	0,237	0,022	0,09	3
80	0,349	0,029	0,084	5	0,214	0,035	0,165	3

Tabelle 6.6 Wiederholstreuung

(Vergleich von 3 Geräten und 5 Reifen)

km/h	Asphaltbeton				Markierung			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,514	0,022	0,043	45	0,258	0,010	0,039	44
60	0,421	0,020	0,049	15	0,237	0,005	0,019	15
80	0,349	0,012	0,035	15	0,214	0,008	0,038	15

Mittelwert : \bar{x} Standardabweichung: s
Variationskoeffizient: v Freiheitsgrade : n

Tabelle 6 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1970

6.7 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
(Vergleich von 3 Geräten und 5 Reifen)

km/h	Asphaltbeton				Markierung			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,514	0,026	0,050	38	0,258	0,024	0,093	3
60	0,421	0,023	0,055	14	0,237	0,021	0,088	3
80	0,349	0,030	0,086	5	0,214	0,035	0,164	3

Tabelle 6.8 Vergleichsstreuung bezüglich Reifen
(Vergleich von 3 Geräten und 5 Reifen)

km/h	Asphaltbeton				Markierung			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,514	0,026	0,050	44	0,258	0,012	0,045	42
60	0,421	0,021	0,050	25	0,237	0,009	0,037	14
80	0,349	0,020	0,056	17	0,214	0,015	0,069	16

Mittelwert : \bar{x} Standardabweichung: s
Variationskoeffizient: v Freiheitsgrade : n

Tabelle 7 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1971

7.1 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
und Reifen
(Vergleich von 5 Geräten und 5 Reifen)

	Asphaltbeton				Markierung			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,642	0,023	0,036	24	0,331	0,026	0,080	14
60	0,542	0,025	0,047	11	0,362	0,043	0,117	16
80	0,429	0,030	0,070	12	0,247	0,030	0,123	9
100	0,357	0,045	0,125	6	0,234	0,032	0,135	12

Tabelle 7.2 Wiederholstreuung
(Vergleich von 5 Geräten und 5 Reifen)

	Asphaltbeton				Markierung			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,642	0,016	0,025	23	0,331	0,011	0,034	19
60	0,542	0,007	0,013	23	0,362	0,025	0,068	19
80	0,429	0,011	0,026	23	0,247	0,010	0,041	19
100	0,357	0,010	0,028	19	0,234	0,018	0,077	19

Mittelwert : \bar{x} Standardabweichung: s
Variationskoeffizient: v Freiheitsgrade : n

Tabelle 7 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1971

7.3 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
(Vergleich von 5 Geräten und 5 Reifen)

km/h	Asphaltbeton				Markierung			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,642	0,021	0,033	25	0,331	0,026	0,079	13
60	0,542	0,022	0,041	8	0,362	0,040	0,110	14
80	0,429	0,027	0,063	10	0,247	0,030	0,122	9
100	0,357	0,040	0,112	4	0,234	0,029	0,123	9

Tabelle 7.4 Vergleichsstreuung bezüglich Reifen
(Vergleich von 5 Geräten und 5 Reifen)

km/h	Asphaltbeton				Markierung			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,642	0,021	0,033	24	0,331	0,023	0,068	19
60	0,542	0,018	0,034	11	0,362	0,037	0,101	21
80	0,429	0,022	0,052	16	0,247	0,023	0,092	18
100	0,356	0,026	0,074	9	0,234	0,024	0,104	19

Mittelwert : \bar{x}

Standardabweichung: s

Variationskoeffizient: v

Freiheitsgrade : n

Tabelle 8 Ergebnisse der Analyse Messungen von 1972 (Vergleich von 2 Geräten und 2 Reifen) Fahrbahnbelag: Zementbeton							
8.1 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät und Reifen					8.2 Wiederholstreuung		
km/h	\bar{x}	s	v	n	s	v	n
40	0,479	0,034	0,071	2	0,005	0,009	8
60	0,397	0,023	0,059	1	0,005	0,013	8
80	0,343	0,025	0,073	1	0,006	0,016	8
100	0,250	0,029	0,116	1	0,006	0,026	8
8.3 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät					8.4 Vergleichsstreuung bezüglich Reifen		
km/h	\bar{x}	s	v	n	s	v	n
40	0,479	0,016	0,033	1	0,030	0,06	1
60	0,397	0,006	0,015	4	0,023	0,058	1
80	0,343	0,005	0,014	9	0,025	0,073	1
100	0,250	0,009	0,034	3	0,028	0,113	1

Mittelwert: \bar{x}

Standardabweichung: s

Variationskoeffizient: v

Freiheitsgrade : n

Tabelle 9 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1981

9.1 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
und Reifen
(Vergleich von 3 Geräten und 3 Reifen)
Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

km/h	Fahrstreifen 3				Fahrstreifen 4			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,569	0,037	0,066	3	0,607	0,032	0,052	3
60	0,488	0,034	0,069	4	0,516	0,031	0,059	5
80	0,421	0,031	0,073	5	0,452	0,033	0,073	4
100	0,371	0,024	0,065	5	0,397	0,031	0,078	5

Tabelle 9.2 Reststreuung
(Vergleich von 3 Geräten und 3 Reifen)
Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

km/h	Fahrstreifen 3				Fahrstreifen 4			
	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,569	0,023	0,040	4	0,607	0,018	0,030	4
60	0,488	0,019	0,039	4	0,516	0,017	0,033	4
80	0,421	0,017	0,041	4	0,452	0,012	0,026	4
100	0,371	0,023	0,062	4	0,397	0,019	0,047	4

Mittelwert : \bar{x} Standardabweichung: s
Variationskoeffizient: v Freiheitsgrade : n

Tabelle 9 Ergebnisse der Analyse
Messungen von 1981

9.3 Vergleichsstreuung bezüglich Gerät
(Vergleich von 3 Geräten und 3 Reifen)
Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

	Fahrstreifen 3				Fahrstreifen 4			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,569	0,039	0,068	3	0,607	0,032	0,053	3
60	0,488	0,031	0,063	3	0,516	0,027	0,052	4
80	0,421	0,025	0,058	4	0,452	0,024	0,054	3
100	0,371	0,021	0,055	5	0,397	0,027	0,067	4

Tabelle 9.4 Vergleichsstreuung bezüglich Reifen
(Vergleich von 3 Geräten und 3 Reifen)
Fahrbahnbelag: Asphaltbeton

	Fahrstreifen 3				Fahrstreifen 4			
km/h	\bar{x}	s	v	n	\bar{x}	s	v	n
40	0,569	0,020	0,036	5	0,607	0,018	0,029	5
60	0,488	0,024	0,049	5	0,516	0,023	0,044	4
80	0,421	0,026	0,061	4	0,452	0,025	0,056	3
100	0,371	0,026	0,071	5	0,379	0,024	0,062	4

Mittelwert : \bar{x} Standardabweichung: s
Variationskoeffizient: v Freiheitsgrade : n

Tabelle 10 Zusammenfassende Darstellung der Analyse								
Meß- jahr	Anzahl der Geräte u. Reifen	Fahrbahn belag	v	\bar{x}	Vergleichs- streuung		Wiederhol- streuung	
			km/h		s	v	s	v
			1970	5 Geräte	Asphalt- beton	40	0,507	0,030
60	0,415	0,025				0,059	0,018	0,043
80	0,343	0,027				0,079	0,010	0,029
3 Reifen	Markier- ung	40		0,261	0,019	0,072	0,009	0,035
		60		0,241	0,017	0,069	0,004	0,017
		80		0,218	0,027	0,125	0,008	0,037
1971	5 Geräte	Asphalt- beton	40	0,642	0,023	0,036	0,016	0,025
			60	0,542	0,025	0,047	0,007	0,013
			80	0,429	0,030	0,070	0,011	0,026
	5 Reifen	Markier- ung	40	0,331	0,026	0,080	0,011	0,034
			60	0,362	0,043	0,117	0,025	0,068
			80	0,247	0,030	0,123	0,010	0,041
1972	2 Geräte 2 Reifen*	Zement- beton	40	0,479	0,034	0,071	0,005	0,009
			60	0,397	0,023	0,059	0,005	0,013
			80	0,343	0,025	0,073	0,006	0,016
1981	3 Geräte	Asphalt- beton (3)	40	0,569	0,037	0,066	Werte entfallen, da keine Wiederhol- messungen vorhanden sind.	
			60	0,488	0,034	0,069		
			80	0,421	0,031	0,073		
	3 Reifen	Asphalt- beton (4)	40	0,607	0,032	0,052		
			60	0,516	0,031	0,059		
			80	0,452	0,033	0,073		

Mittelwert: \bar{x} , Standardabweichung:s, Variationskoeffizient:v

*Die Untersuchungen in/5/ stützen sich auf Meßdaten,
die mit 4 Geräten bei Verwendung des stets selben Reifen
gemacht wurden.

Tabelle 11 Mittelwerte sowie obere und untere
Grenzen der ermittelten Streuungsgrößen

Vergleichsstreuung									
v km/h	Gleitbeiwerte			Standard- abweichung			Variations- koeffizient		
	Min.	\bar{x}	Max.	Min.	\bar{s}	Max.	Min.	\bar{v}	Max.
40	0,26	0,49	0,64	0,019	0,029	0,037	3,6	6,2	8,0
60	0,24	0,42	0,54	0,017	0,028	0,043	4,7	6,8	11,7
80	0,22	0,35	0,45	0,025	0,029	0,033	7,0	8,8	12,5
Wiederholstreuung									
v km/h	Gleitbeiwerte			Standard- abweichung			Variations- koeffizient		
	Min.	\bar{x}	Max.	Min.	\bar{s}	Max.	Min.	\bar{v}	Max.
40	0,26	0,44	0,64	0,005	0,013	0,022	0,9	2,9	4,4
60	0,24	0,39	0,54	0,004	0,012	0,025	1,3	3,1	6,8
80	0,22	0,32	0,43	0,006	0,009	0,011	1,6	3,0	4,1