

FORSCHUNGSBERICHT

FE 10689 N1 „PGM“

POLIER- UND GRIFFIGKEITSUNTERSUCHUNGEN AN ASPHALTEN IM LABORATORIUM ZUR PROGNOSTIZIERUNG DER GRIFFIGKEIT VON ASPHALTOBERFLÄCHEN

Schlussbericht

bearbeitet von

**Dr.-Ing. P.K. Gauer
Dr.-Ing. M. Schmalz**

Forschungsnehmer:

**Institut Dr.-Ing. Gauer
Ingenieurgesellschaft mbH
für bautechnische Prüfungen
Regenstauf**

August 1999

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung.....	5
1.1	Allgemeines.....	5
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens und Untersuchungsmethodik.....	6
2	Das Polier- und Griffigkeitsmessgerät PGM.....	8
2.1	Allgemeines.....	8
2.2	Gerätebeschreibung.....	9
2.3	Proben.....	10
2.4	Probenvorbereitung.....	10
2.5	Poliervorgang.....	11
2.6	Prüfvorgang - Griffigkeitsmessung.....	12
2.6.1	Geräteeinstellungen für den Meßvorgang.....	13
2.6.1.1	Wassermenge.....	13
2.6.1.2	Gummiqualität.....	14
2.6.1.3	Meßdauer.....	14
2.6.1.4	Meßgeschwindigkeit.....	14
2.6.2	Kalibrierkörper.....	14
3	Kalibrierung der Messgeschwindigkeit.....	16
3.1	Entnahme und Vorbereitung der Bohrkern.....	16
3.1.1	Probenahme September 1996.....	16
3.1.2	Probenahme Oktober 1998.....	16
3.1.3	Behandlung der Bohrkern im Laboratorium.....	17

3.1.4	Beschreibende Untersuchung der Bohrkernoberflächen.....	17
3.2	Untersuchungen.....	17
3.3	Auswertung	18
3.4	Interpretation des Ergebnisses.....	21
3.5	Verifizierung der Ergebnisse	23
3.5.1	Vergleichende Betrachtung von SRM, SFC und PGM durch Rangfolgevergleich	23
3.5.2	Ergänzende Untersuchungen zum Einfluß des Größtkorns.....	24
3.5.3	PGM-Vergleich 1996 / 1998	26
4	Verknüpfung des Griffigkeitsverlaufes im Laboratorium mit dem Poliereffekt des Verkehrs in der praxis	27
4.1	Die Versuchsstrecke BAB A 70 bei Bamberg.....	27
4.1.1	Lage und Trassenführung.....	27
4.1.2	Verkehrsdaten.....	28
4.1.3	Versuchsfelder	29
4.1.4	Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen auf der Versuchsstrecke	33
4.1.5	Veränderung der Griffigkeit unter Betrieb	35
4.1.5.1	Messungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser	35
4.1.5.2	Messungen mit dem Meßfahrzeug SCRIM.....	41
4.1.5.3	Vergleich der Messungen mit Stuttgarter Reibungsmesser SRM und Meßfahrzeug SCRIM	48
4.1.5.4	Folgerungen	48
4.2	Polierversuche im Laboratorium.....	49
4.3	Verknüpfung der Streckendaten und der Polierversuche im Laboratorium	51
4.4	Vergleich des PGM-Endpolierwertes mit dem PSV-Wert.....	54

5	Untersuchungen zur Griffigkeit von im Labor hergestellten Asphaltplatten aus Zuschlagstoffen mit unterschiedlicher Polierresistenz.....	58
5.1	Beispiel 1.....	58
5.2	Beispiel 2.....	59
5.3	Beispiel 3.....	60
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	62
7	Literatur.....	67
8	Anlagen 1 bis 5	

Vorbemerkung:

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde aus Mitteln des Bundesministers für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsgemeinschaften (AiF) gefördert. Partnerinstitut des Forschungsnehmers war das Deutsche Asphaltinstitut (DAI) in Bonn.

1 EINFÜHRUNG

1.1 Allgemeines

Statistische Untersuchungen der Straßenbauverwaltungen belegen einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Griffigkeit einer Fahrbahn und der Unfallhäufigkeit bei Nässe. Aus diesem Grunde werden in Deutschland auf Neubaustrecken der Bundesfernstraßen Griffigkeitsmessungen zur Ermittlung der Anfangsgriffigkeit durchgeführt. Als Meßgeräte werden in einfachen Fällen das Pendelgerät (Skid-Resistance Tester, SRT), sonst das in Deutschland entwickelte blockierte Schlepprad (Stuttgarter Reibungsmesser, SRM), zwischenzeitlich vermehrt die aus England kommende Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM) eingesetzt. SCRIM wird mittlerweile auch routinemäßig im Rahmen der Zustandserfassung eingesetzt.

Mit Ausnahme des SRT-Pendels existiert dagegen bisher kein einfach zu handhabendes Laborverfahren, das z.B. im Rahmen von Eignungsprüfungen von Asphalten eingesetzt werden kann. Das Pendel liefert aber lediglich über eine Korrelation mit SRM60¹ einen Griffigkeitswert. Da die Korrelation gerade im kritischen Griffigkeitsbereich unscharf ist, stellt die SRT-Methode keine gute Labormethode dar. Ein Laborverfahren wurde an der TU Berlin entwickelt, dessen allgemeine Anwendbarkeit aufgrund einer kostenintensiven Apparatur begrenzt sein dürfte.

Zur labormäßigen Beurteilung der Griffigkeit des Asphaltes wird deshalb bislang routinemäßig auf die Polierresistenz einer ausgewählten Splittfraktion, ermittelt nach British Standard BS 812, zurückgegriffen. Dabei ergeben sich folgende Probleme:

- relativ große Streuungen der Ergebnisse und damit Unsicherheiten bei der Bewertung verschiedener Materialien
- kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem PSV-Wert, ermittelt an der Kornklasse 8/10 mm, und der Griffigkeit von damit hergestellten Asphalten
- nicht erfaßbarer Einfluß der feinkörnigeren Zuschlagkomponenten auf die Griffigkeit eines Korngemisches

Für die Mischguthersteller und die asphaltverarbeitenden Firmen ergibt sich die unbefriedigende Situation, daß die an das fertige Produkt gestellte Anforderung „Griffigkeit“ vor der Erstellung des Bauwerks nicht im Labor gemessen oder gar optimiert werden kann, zumal die Ein-

¹ SRM60 wird hier als der bei einer Meßgeschwindigkeit von 60 km/h mit dem blockierten Schlepprad des Stuttgarter Reibungsmessers (SRM) gemessene Griffigkeitswert definiert

führung von Anforderungswerten für die Anfangsgriffigkeit und die Griffigkeit bei Ablauf der Gewährleistungsfrist geplant ist (Bild 1.1).

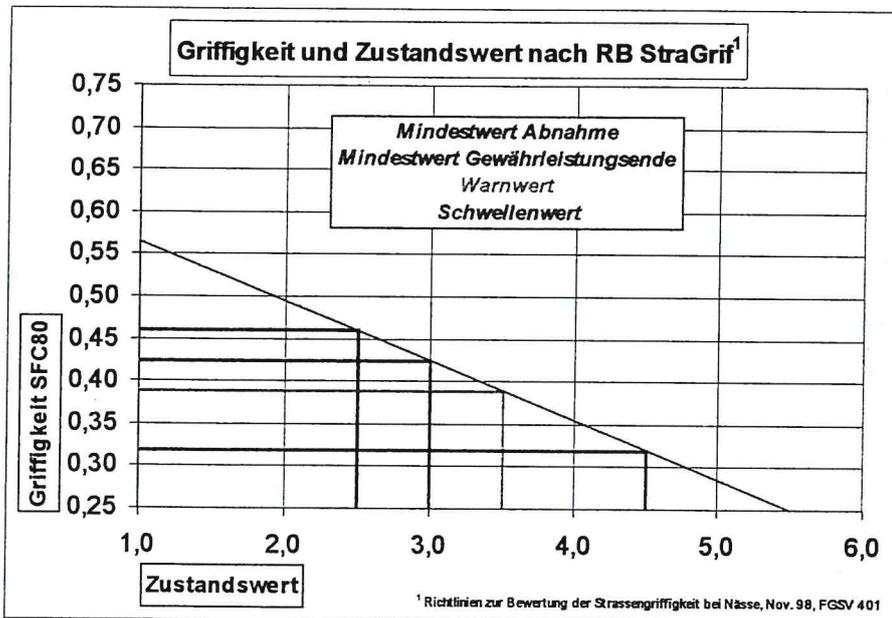


Bild 1.1

Geplante Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen

Im Institut Dr.-Ing. Gauer wurde eine Prüfeinrichtung zur Messung der Polierresistenz und der Griffigkeit von Asphaltoberflächen entwickelt und bei Gutachten eingesetzt. Desweiteren liegt eine vom Arbeitskreis 7.3.2 der FGSV verabschiedete vorläufige Arbeitsanleitung vor. Erste Untersuchungsergebnisse deuten auf gute Korrelationen mit Ergebnissen aus der Praxis hin.

1.2 Ziel des Forschungsvorhabens und Untersuchungsmethodik

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung und Überprüfung eines bei der Eignungsprüfung anwendbaren Prognoseverfahrens auf der Basis von PGM-Messungen² zur Abschätzung des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltdeckschichten unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrsbeanspruchung.

Nach dem geltenden Regelwerk sind technische Mängel eines Bauwerkes während der Gewährleistungsfrist vom Auftragnehmer auf seine Kosten zu beseitigen. Die vorgesehene Formulierung von entsprechenden Anforderungen bezieht zukünftig auch die Eigenschaft „Griffigkeit“ in den Gewährleistungsanspruch ein.

² PGM ist die Abkürzung des im Institut Dr.-Ing. Gauer entwickelten Polier- und Griffigkeits-Meßgerätes

Mit den zu erwartenden Ergebnissen des Forschungsvorhabens könnte die Griffigkeitsentwicklung von Asphaltoberflächen abgeschätzt und das Risiko eines späteren Mangels durch die Wahl geeigneter Materialien schon im Stadium der Eignungsprüfung vermindert werden. Die Forschungsarbeit dient damit der Erhöhung der Verkehrssicherheit und wegen der damit verbundenen geringeren Schadenshäufigkeit auch der Kostenreduzierung und der Risikominde- rung auf Seiten der meist mittelständischen Auftragnehmer.

Nach Abschluß der Arbeiten soll der Kenntnistransfer durch Veröffentlichungen, Vortragsver- anstaltungen und ggf. Schaffung von Prüfanforderungen sichergestellt werden.

Das Ziel des Forschungsvorhabens soll in folgenden Stufen erreicht werden:

1. Korrelation der im Laboratorium an Bohrkernoberflächen ermittelten Meßergebnisse mit bekannten SCRIM-Meßergebnissen von ausgewählten Straßenoberflächen. Dadurch soll die Laboreinrichtung auf die in der Praxis gemessenen Griffigkeitswerte kalibriert werden.
2. Erarbeitung von Äquivalenzwerten für die im Labor aufgebrachte Polierbeanspruchung aus den bekannten Verkehrsdaten.
3. Systematische Untersuchung der Griffigkeit von im Labor hergestellten Asphaltplatten nach unterschiedlicher Polierbeanspruchung unter Variation der Asphaltart, der kom- positionellen Merkmale und der Polierresistenz der Zuschlagsstoffe.

Für die Bearbeitung der Arbeitsschritte 1 und 2 standen Daten, Meßwerte sowie Bohrkernpro- ben von einer Versuchsstrecke auf der A 70 bei Bamberg zur Verfügung.

2 DAS POLIER- UND GRIFFIGKEITSMESSGERÄT PGM

Vorbemerkung: Die folgende Geräte- und Verfahrensbeschreibung gibt den Stand der Entwicklung am Ende der Forschungsarbeit wieder. Im Laufe der Bearbeitung wurden mehrfach Verbesserungen und Veränderungen vorgenommen, um die Variabilität der Messung zu ermöglichen, die Meßsicherheit zu erhöhen oder die Polierwirkung zu verbessern, um nur einige Gründe und Anlässe zu nennen. Da die Forschungsarbeit aber nicht die Geräteentwicklung beinhaltet, wird auf diese Dinge, soweit sie nicht in direktem Bezug zur Forschungsthematik stehen, nicht näher eingegangen. Dennoch ist zu beachten, daß die außerhalb des Förderprogramms geleistete Weiterentwicklung des Gerätes Zeit in Anspruch genommen hat, die die fristgerechte Abwicklung der Arbeit beeinflußt hat. Für das dabei gezeigte Verständnis der betreuenden Gremien sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

2.1 Allgemeines

Mit dem Polier- und Griffigkeits-Meßgerät PGM kann die Griffigkeit als Asphalteeigenschaft beurteilt, die Entwicklung der Griffigkeit unter simuliertem Verkehrseinfluß beobachtet und durch Variation einzelner Prüfparameter vergleichend untersucht werden.

Mit dem gewählten Versuchsaufbau ist es möglich, beliebig zusammengesetzte Proben, wie z.B.:

- einzelne Kornklassen
- Mineralstoffgemische aus verschiedenen Körnungen und/oder Gesteinsarten
- Asphaltgemische

einer Polierbeanspruchung zu unterziehen. Als Probekörper werden sowohl im Labor, z.B. durch Walzverdichtung, hergestellte Asphalte wie auch Ausbaustücke oder Bohrkern aus Straßen verwendet. Dabei kann sowohl die aktuelle Griffigkeit untersucht, als auch durch geeignete Vorbehandlung der Probenoberflächen ein Zustand der „maximalen Griffigkeit“ erzeugt werden.

Durch Koppelung der Poliereinrichtung mit der Griffigkeitsmessung in einem Gerät können Griffigkeitswerte in jedem Stadium der Polierbeanspruchung gemessen werden, so daß der zeitabhängige Verlauf der Griffigkeit einer Oberfläche erfaßt werden kann. In Verbindung mit dem Endpolierwert können daraus Aussagen, beispielsweise über die Entwicklung der Griffigkeit eines Belages in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung schon vor der Bauausführung abgeleitet werden. Durch Variation der Zusammensetzung sind systematische Untersuchungen der Einflußparameter auf die Eigenschaften Polierresistenz und Griffigkeit von Asphaltdeckschichten im Labor grundsätzlich möglich.

2.2 Gerätebeschreibung

Herzstück der Prüfeinrichtung ist eine höhenverstellbare Halterung zur Fixierung der Probe mit integrierter Kraftmeßeinrichtung. Über der Probe befindet sich ein leistungsfähiger, horizontal beweglicher Elektromotor, welcher im Polierbetrieb auswechselbare, waagrecht rotierende Scheiben antreibt. Zum Messen wird ein gesondertes System eingesetzt, das über einen eigenen Antrieb verfügt. Die gesamte Prüfeinrichtung ist von einer Wanne umgeben. Sie dient zum Auffangen des zur Benetzung der Proben notwendigen Wassers. Die Kraftmeßeinrichtung sowie die Antriebsmotoren für Rotations- und Horizontalbewegung der Polierscheiben oder des Meßsystems sind mit einer computergesteuerten Meß- und Regeleinrichtung verbunden (**Bild 2.1**).

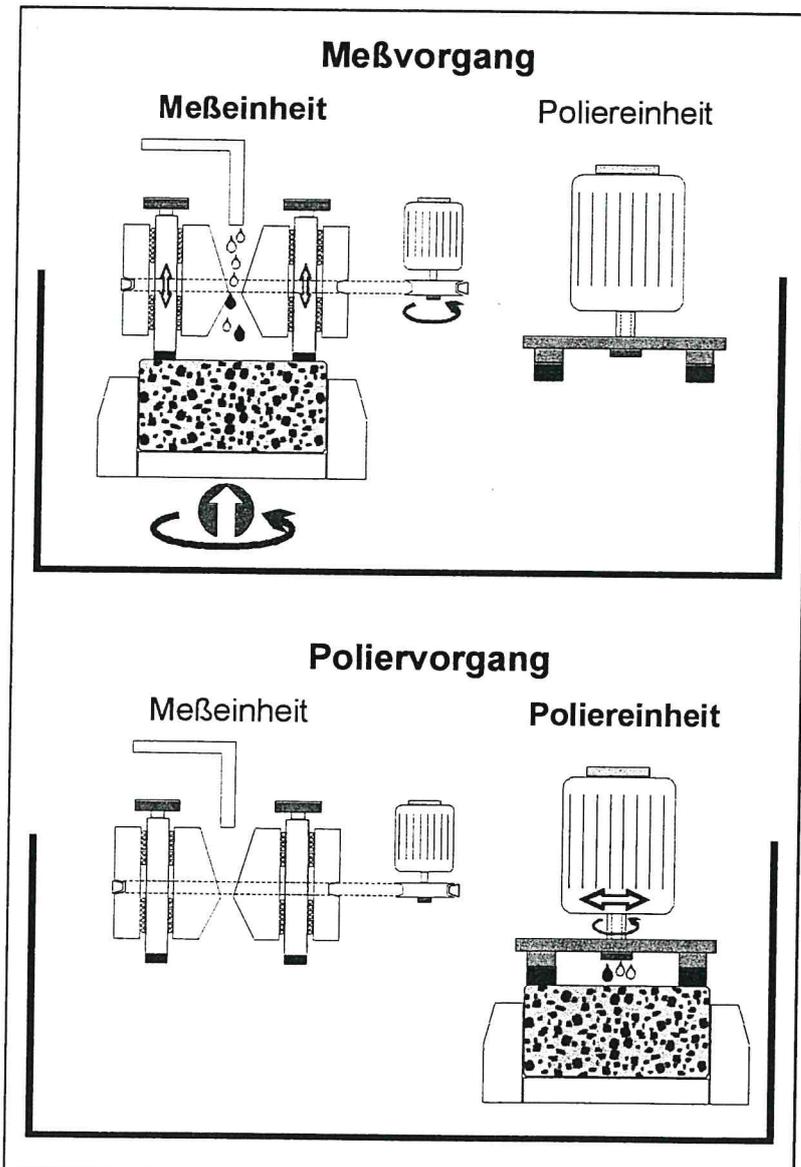


Bild 2.1:
Prinzipskizze des Polier-
und Griffigkeits-Meßgerätes
PGM

Mit dem PGM kann die Oberfläche einer eingespannten Probe wahlweise poliert oder auf Griffigkeit untersucht werden. Der polierende Fahrzeugreifen wird, ebenso wie das „blockierte oder rutschende Schlepprad“ zur Griffigkeitsmessung, von Gummielementen simuliert. Die Gummielemente für die Griffigkeitsmessung bestehen in der Regel aus einem technischen Gummi mit einer Shorehärte von 80. Wahlweise können aber auch Gummis, deren Härte den gewünschten Prüfbedingungen angepaßt werden kann oder die aus Original Kfz-Reifen herausgeschnitten werden, verwendet werden. Dadurch können z. B. Kraftübertragungsverhältnisse an verschiedenen Reifentypen vergleichend geprüft werden.

Der zum Polieren erforderliche Schlupf wird durch eine horizontale Pendelfahrt der Scheibe realisiert. Dazu sitzen der Antriebsmotor und die Scheibe auf einem planparallel zur Probenoberfläche geführten Schlitten, der seinerseits elektromotorisch hin und her bewegt wird. Antriebsmotor und Scheibe können zur exakten Einstellung der Startbedingungen mittels einer Spindel vertikal verstellt werden.

Ebenfalls in vertikaler Richtung verstellbar ist der Halteblock der Probe. Damit kann unterschiedlichen Probendicken Rechnung getragen werden. In dem Halteblock befinden sich die elektronischen Kraftaufnehmer, über welche die Auflagekraft und das bei dem Meßvorgang auf die Probe wirkende Drehmoment gemessen werden können. Der obere Teil des Halteblockes besteht aus einer Vorrichtung zur Einspannung der Probe. Die Vorrichtung ist drehbar gelagert, so daß die Probe horizontal gedreht werden kann, um die Polierbeanspruchung gleichmäßig und ungerichtet auf der Probenoberfläche aufzubringen.

2.3 Proben

Als Proben dienen quader-, würfel- oder zylinderförmige Körper mit ebenen Oberflächen. Die Proben können sowohl aus Fahrbahndecken entnommen als auch im Laboratorium hergestellt werden. Dabei finden verdichtete Asphaltgemische wie auch in Zementmatrix oder in Kunststoff eingebettete Mineralstoffkörnungen Verwendung.

Durch die Möglichkeit der vertikalen Verstellbarkeit der Probekörperhalterung können Proben von unterschiedlicher Höhe (Bohrkerne) geprüft werden. Die Größe der Oberfläche muß die Einbeschreibung einer Kreisfläche mit einem Durchmesser von mindestens 120 mm gestatten.

2.4 Probenvorbereitung

Die Messung des aktuellen Griffigkeitszustandes von Asphaltoberflächen an Bohrkernen erfordert außer einer Säuberung der Oberfläche keine besonderen Vorarbeiten. Es muß je-

doch bei der Auswahl der Bohrkern auf eine möglichst ebene Oberfläche geachtet werden.

Für die Messungen des Griffigkeitsverlaufes in Abhängigkeit von der Polierbeanspruchung werden die labormäßig hergestellten Proben bzw. die Bohrkernoberflächen zur Herstellung einer definierten Ausgangssituation vor dem Poliervorgang durch Anschleifen und Sandstrahlen vorbehandelt. Diese Ausgangssituation soll dem Zustand einer Fahrbahnoberfläche nach ein bis zwei Betriebsjahren entsprechen. Dieser Oberflächenzustand ist gekennzeichnet durch von Bindemittel befreite und wieder aufgerauhte Splittköpfe und einen geringfügigen Mörtelverlust, so daß die Splittkörner um ein geringes Maß gegenüber der Mörtelfüllung erhaben sind.

Mit dem zur Verfügung stehenden Sandstrahlgerät wurde dieser Oberflächenzustand durch folgende Bedingungen erreicht:

Entfernung der Strahldüse zur Oberfläche $a = 5 \text{ cm}$

Kegelförmiger Strahl, Durchmesser im Bearbeitungsbereich $d = 5 - 7 \text{ cm}$

Druck des Strahls $p = 8 \text{ bar}$

Strahlführung fortlaufend parallel

Strahlzeit in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Probenoberfläche $t = 150 - 240 \text{ s}$

Strahlgut aus Quarzsand, Korngröße $0,2 / 0,7 \text{ mm}$

2.5 Poliervorgang

Beim Poliervorgang wird kein externes Schmirgelmedium benötigt, sondern lediglich Wasser, welches gleichzeitig zum Kühlen der Gummielemente dient. Das Wasser wird über eine zentrische Bohrung in der Welle des Antriebsmotors auf die Probenoberfläche aufgebracht. Die Beaufschlagung wird mit einem Durchflußmesser kontrolliert. Zum Sammeln und Ableiten des Wassers befindet sich der gesamte Halteblock mit der Probe in einer Wanne; der untere Teil des Halteblocks ist zum Schutz der elektronischen Kraftaufnehmer abgedichtet. Der Fahrschlitten wird mit einer Linearführung parallel zu den längsseitigen Oberkanten der Wanne spielfrei über die Probe bewegt.

Der Polierteller hat einen Durchmesser von 150 mm. Er besteht aus einem elastischen Kunststoffmaterial, das durch radiale Schlitze in acht Sektoren geteilt ist, von denen vier mit den Gummielementen bestückt sind. Durch die Sektoren wird infolge der Anpressung eine geringe Vorspannung erzielt, die eine gleichmäßige Beaufschlagung der zu polierenden Fläche bewirkt. Die Gummielemente bestehen aus einem technischen Gummi mit einer, den handelsüblichen Lkw-Reifen vergleichbaren Härte von ShoreH = 80, in den beim Vulkanisieren Quarzsand der Körnung $0,25/0,71 \text{ mm}$ in einer Menge von 50 M.% beigemischt

worden ist. Infolge des Verschleißes der Gummis werden die Quarzkörner während des Poliervorgangs freigesetzt, wodurch sie als Polierhilfe wirksam werden können.

Beim Poliervorgang befindet sich der Polierteller nicht stationär auf dem Probekörper, sondern wird in einer horizontalen Pendelfahrt über die Oberfläche bewegt. Die Pendelfahrt ist jedoch so begrenzt, daß die Poliergummis die Probenoberfläche nicht verlassen, andererseits aber die Lauffläche des Meßsystems vollständig überstreichen.

Die Einstellung der Anpreßkraft erfolgt mit einer Spindel. Die jeweilige Anpreßkraft wird angezeigt und ist somit stets kontrollierbar. Als mittlere Anpreßkraft werden 7 bis 8 N eingestellt. Bei periodisch veränderlichen Kraftverlauf, was bei geringer Abweichung der Probenoberfläche von der Horizontalen eintreten kann, wird die Maximalkraft auf 10 N begrenzt.

Das Polieren der Mineralstoffe einer Deckschicht wird in der Praxis durch den Schlupf des Autoreifens verursacht. Im Versuch wird dieser Schlupf durch die Bewegung eines Gummielementes über der Probenoberfläche simuliert. Eine Zeitraffung erfolgt durch die hohe Zahl der Übergänge, bedingt durch die Anzahl der Gummielemente und die hohe Drehzahl des Tellers. Die Geschwindigkeit des mit den Gummielementen bestückten Poliertellers kann zwischen 1500 und 4500 min^{-1} stufenlos eingestellt werden, beträgt aber in der Regel 1.600 min^{-1} .

Der Poliervorgang wird i.d.R. nach jeweils 15 Minuten unterbrochen, um die Probe um 90° zu drehen. Dadurch wird die Polierbeanspruchung ungerichtet auf die Oberfläche aufgebracht. Es hat sich gezeigt, daß bei einer Drehzahl des Poliertellers von 1.600 min^{-1} im Durchschnitt etwa 180 Minuten Beanspruchung, d.h. rd. 290.000 Umdrehungen ausreichen, um einen Endpolierwert zu erreichen. Bei besonders polierresistenten Oberflächen kann die Polierzeit beliebig verlängert werden.

2.6 Prüfvorgang - Griffigkeitsmessung

Für den Prüfvorgang wird ein gesondertes Meßsystem mit einem eigenen Antriebsmotor eingesetzt, welches an Stelle der Poliereinrichtung mit Hilfe der Linearführung zentrisch über der Probe positioniert wird. Dadurch entfällt zeitaufwendiges Umrüsten von Polier- auf Meßbetrieb.

Der Meßvorgang erfolgt bei einer stationären Stellung des rotierenden Meßsystems über der Probe. Dabei werden die Gummielemente unter Vortrieb auf der feststehenden Probenoberfläche aufgesetzt. Die kraftübertragenden Gummipoppen befinden sich auf drei frei beweglichen, in Lagerbuchsen nahezu reibungsfrei geführten Stahlstößeln, die die Pro-

benoberfläche mit ihrem Eigengewicht von insgesamt etwa 16 N belasten. Der Meßvorgang simuliert damit einen blockierten oder rutschenden Reifen. Die Meßgeschwindigkeit ist einstellbar und kann bis zu einer Umfangsgeschwindigkeit der Gummielemente von 30 km/h gewählt werden. Für die Erzeugung relevanter Griffigkeitszustände ist beim Prüfvorgang eine stetige und kontrollierte Wasserzufuhr notwendig.

Die beim Rutschen der Gummielemente auf die Oberfläche übertragene Kraft wird von der elektronischen Meßwerterfassung registriert und in ein Drehmoment umgerechnet. Das Drehmoment wird von einem Computer kontinuierlich aufgezeichnet und am Bildschirm angezeigt. Ein speziell für diese Anwendung entwickeltes Programm berechnet laufend den Reibungsbeiwert μ , welcher online ebenfalls am Bildschirm angezeigt wird. Die Daten werden EDV-mäßig gespeichert und stehen damit einer rechnerischen Weiterbehandlung zur Verfügung.

2.6.1 Geräteeinstellungen für den Meßvorgang

2.6.1.1 Wassermenge

Die für den Meßvorgang erforderliche Wassermenge muß eine gleichmäßige Befeuchtung der Meßspur erlauben. Die Wassermenge muß daher einerseits so hoch sein, daß die Spur nicht trocken fällt, was eine Erhöhung des Meßwertes zur Folge hätte, und andererseits so niedrig bleiben, daß ein Aufschwimmen der Meßkörper vermieden wird, was zu einer Verringerung des Meßwertes führen würde.

Die Wassermenge kann mittels einer Dosiereinrichtung verändert und anhand eines Durchflußmessers kontrolliert werden.

In Abhängigkeit von der Meßgeschwindigkeit wird der Wasserdurchfluß gemäß **Tabelle 2.1** eingestellt:

Tabelle 2.1: Erforderliche Wassermenge in l/min in Abhängigkeit von der Meßgeschwindigkeit

Meßdrehzahl	Wasserdurchfluß
bis 500	3 l/min
500 – 1.000	5 l/min
über 1.000	10 l/min

2.6.1.2 Gummiqualität

Die Überprüfung verschiedener Gummisorten für den Meßvorgang gründete sich auf der Überlegung, daß die Verwendung ein- und derselben Gummisorte für Griffigkeitsmessungen in situ und im Labor erstrebenswert sei. Daher wurde neben dem bis dahin bewährten Industriegummi ein Gummi aus dem PIARC-Meßreifen eingesetzt. Des weiteren wurde ein sehr weicher Gummi mit bekannt guter Fahrbahnhaltung aus einem Rennreifen eingesetzt.

Als Ergebnis ist festzuhalten, daß Gummis mit Shorehärten < 80 bereits während des Meßvorgangs sehr schnell verschleifen und dadurch die Meßspur verschmieren. Die weiteren Untersuchungen werden daher mit einem industriell hergestellten Gummi mit einer Shorehärte von 80 durchgeführt. Die ausgewählte Gummiqualität hat zudem den Vorteil, daß sie nach einem festgelegten Rezept auch über längere Zeiträume hinweg mit gleichbleibenden Eigenschaften hergestellt werden kann.

2.6.1.3 Meßdauer

Die Messeinrichtung wird unter Vortrieb auf die Probenoberfläche aufgesetzt, wodurch infolge des dabei wirksamen Impulses zunächst eine höhere Reibungsreaktion registriert wird, ehe sich eine gleichbleibende Reibung einstellt. Die Messung muß im konstanten Abschnitt der insgesamt ca. 5 Sekunden dauernden „Beaufschlagung“ vorgenommen werden. Dabei wird das Intervall der Sekunden 2 und 3 als Meßintervall herangezogen.

2.6.1.4 Meßgeschwindigkeit

Die Festlegung der Meßgeschwindigkeit ist Gegenstand der Kalibrierung im Rahmen der Bearbeitungsstufe 1. Dabei ist diejenige Drehzahl zu ermitteln, bei welcher der mit einer Meßgeschwindigkeit $v = 80 \text{ km/h}$ auf der Fahrbahnoberfläche gemessene SCRIM-Wert „SFC80“ erhalten wird. Darüber wird in Abschnitt 3 gesondert berichtet.

2.6.2 Kalibrierkörper

Kalibrierkörper mit gleichbleibenden Eigenschaften wurden aus verschiedenen Materialien mit dem Ziel verschieden hoher Meßniveaus hergestellt. Leider konnte aus dem „Berliner Kalibrierblech“ keine Probe mehr gewonnen werden, die einen direkten Vergleich gestattet hätte. Die neu geschaffenen Kalibrierkörper wurden daher mit dem Prüfgerät der TU Berlin „Wehner-Schulze-II“ und PGM parallel untersucht.

Weil die von IFB vorbereiteten Körper bei Mehrfachmessungen keine konstanten Meßwerte zuließen, wurden die Testkörper vor der Prüfung in Berlin einer Polierbeanspruchung von

30.000 Überrollungen unterzogen, wodurch allerdings auch die Reibwertunterschiede nivelliert worden sind. Dadurch standen für die Vergleichsmessung nur noch drei unterschiedliche Niveaus zur Verfügung. Die Ergebnisse sind in **Bild 2.2** wiedergegeben, die Meßniveaus sind in **Tabelle 2.2** aufgeführt.

Tabelle 2.2 Zusammenstellung der Meßniveaus der Kalibrierkörper

Meßniveau	Material
0,0	Blech, verzinkt
0,10	Glas, mattiert
0,30 - 0,35	Glas, sandgestrahlt A Glas, sandgestrahlt B V2a-Stahl, sandgestrahlt

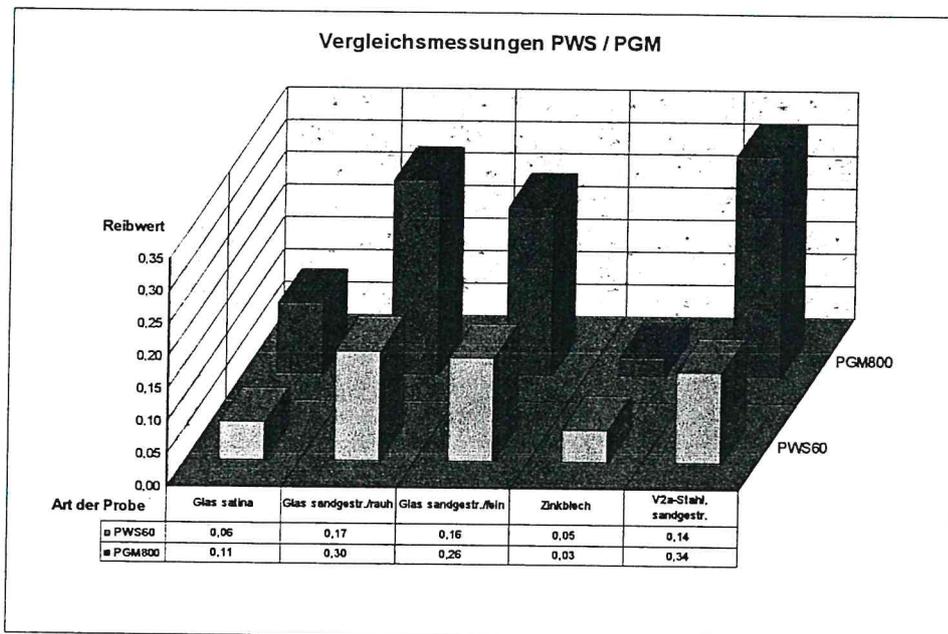


Bild 2.2: Vergleichsuntersuchungen PWS / PGM an Kalibrierkörpern

3 KALIBRIERUNG DER MESSGESCHWINDIGKEIT

Die Kalibrierung der Meßgeschwindigkeit erfolgte anhand von je fünf Bohrkernen aus den 21 Versuchsfeldern einer bestehenden Versuchsstrecke auf der A 70 bei Bamberg, auf die im nächsten Kapitel näher eingegangen wird.

3.1 Entnahme und Vorbereitung der Bohrkern

Die Probenahmen wurden mit organisatorischer und sicherungstechnischer Unterstützung der Autobahndirektion Nord und der zuständigen Autobahnmeisterei durchgeführt. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

3.1.1 Probenahme September 1996

Die Festlegung der Entnahmepunkte erfolgte nach Auswertung der im Mai durchgeführten SCRIM-Messungen, die, wie bei Abnahmemessungen der ABD Nordbayern üblich, als Mittel aus zwei Meßfahrten gewonnen wurden. Aus betrieblichen Gründen konnte die Probenahme aber erst nach der Urlaubssaison vorgenommen werden, lag damit aber noch innerhalb des empfohlenen Meßzeitraumes³. Aus jedem Versuchsabschnitt wurden in gleichmäßigem Abstand je fünf Bohrkern mit einem Durchmesser von 150 mm gezogen. Eine Zusammenstellung der Entnahmestellen enthält **Anlage 1.1**. Auf die Wiedergabe der bei der Entnahme gefertigten umfangreichen Fotodokumentation in diesem Bericht wird verzichtet; bei Bedarf können die Bilder beim Forschungsnehmer eingesehen werden.

Zur Vermeidung eventueller Störungen der in der rechten Radrollspur liegenden Meßlinie der die Versuchsstrecke betreuenden TU Berlin wurden die Proben aus der linken Radrollspur entnommen. Aus betriebstechnischen Gründen mußte die vorausgehende SCRIM-Messung jedoch in der rechten Radrollspur vorgenommen werden. Unter den Annahmen, daß eine routinemäßige Meßfahrt weniger fehleranfällig ist und sich die Griffigkeit in beiden Rollspuren gleichartig entwickelt, konnte dies akzeptiert werden.

3.1.2 Probenahme Oktober 1998

Aufgrund der Feststellungen bei der Bearbeitung, auf die an späterer Stelle noch eingegangen wird, wurde eine zweite Probenahme angeregt, um vor der anstehenden Erneuerung der Deckschichten Bohrkern aus den Versuchsabschnitten zu sichern. Auch dieser

³ Richtlinien zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, FGSV 401, Entwurf Nov. 1998

Entnahme ging eine von der ABD Nord veranlaßte SCRIM-Messung voraus. Meßfahrt und Entnahme wurden im Oktober 1998 durchgeführt. Aufgrund des Umstandes, daß einige Abschnitte im Jahr 1999 instandgesetzt werden sollten und die Forschungsarbeit der TU Berlin abgeschlossen war, konnten Messung und Entnahme in der rechten Radrollspur vorgenommen werden. Aus Kostengründen wurde die Entnahme auf vier Kerne je Versuchsfeld beschränkt. Eine Zusammenstellung der Entnahmestellen 98 findet sich in **Anlage 1.2**

3.1.3 Behandlung der Bohrkern im Laboratorium

Die Bohrkern wurden durch einen zur Oberfläche planparallelen Sägeschnitt in der Binde-schicht auf eine einheitliche Höhe von ca. 7,5 bis 8,0 cm gebracht. Auf dieser Schnittfläche wurden die Proben im nicht geheizten, aber frostsicheren Probenlager des Institutes aufbewahrt.

3.1.4 Beschreibende Untersuchung der Bohrkernoberflächen

Zur Beschreibung der Bohrkernoberflächen wurden in Anlehnung an das Sandpatch-Verfahren die Rauhtiefe sowie die Ausflußzeit nach Moore ermittelt. Beide Zahlenwerte sind ebenfalls in die Liste der Anlage 1.1 eingetragen. Zwischen den mit SCRIM ermittelten Griffigkeitswerten und den durch die Rauhtiefe und die Ausflußzeit beschriebenen Oberflächeneigenschaften besteht kein statistisch nachweisbarer Zusammenhang.

3.2 Untersuchungen

Als Zielgrößen für die Einstellung der Meßgeschwindigkeit des PGM-Systems dienten die aus der SCRIM-Messung 1996 bekannten Griffigkeiten der den Bohrkernen zuzuordnenden Fahrbahnoberflächen der 21 Versuchsfelder der Versuchstrecke Bamberg.

Aus früheren Untersuchungen war bereits bekannt, daß PGM eine Art Geschwindigkeitsraffung in der Größenordnung 3:1 bewirkt. Das Meßsystem wurde daher für Umlaufgeschwindigkeiten bis ca. 30 km/h ausgelegt.

Die Griffigkeit der Oberflächen aller 105 Bohrkern wurde im Originalzustand unter Variation der Drehzahl zwischen 300 und 1200 min⁻¹ gemessen. Die ermittelten PGM-Werte wurden über der Drehzahl aufgetragen. Die Darstellungen sind in **Anlage 2** grafisch wiedergegeben. Auf die Wiedergabe des umfangreichen Zahlenmaterials wird vorliegend verzichtet. Bei Bedarf können die gespeicherten Daten im Institut eingesehen werden.

3.3 Auswertung

Für die Darstellung des Zusammenhanges zwischen den PGM- und SCRIM-Werten ergeben sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- (A) Ermittlung der Umlaufgeschwindigkeit mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß. Als Ergebnis wird ein korrelativer Zusammenhang erhalten, dessen Algorithmus als Korrekturfaktor in Ansatz zu bringen ist.
- (B) Ermittlung einer Meßgeschwindigkeit, bei welcher $\mu_{\text{PGM}} = \mu_{\text{SCRIM}}$ ist. Dieses Ergebnis wäre der Idealzustand; ein Korrekturfaktor wäre nicht erforderlich.

Die Auswertung zur Ermittlung der erforderlichen PGM-Drehzahl erfolgte entsprechend der vorstehenden Überlegung in einzelnen Schritten wie folgt:

- 1) Ermittlung des korrelativen Zusammenhanges zwischen den PGM-Werten und der Drehzahl des Meßkörpers, getrennt für jedes Versuchsfeld. Dabei hat sich die logarithmische Funktion als diejenige mit dem im Mittel höchsten Korrelationskoeffizienten erwiesen. Die Regressionsdaten sind in der folgenden **Tabelle 3.1** zusammengestellt.
- 2) Errechnung derjenigen Drehzahl, bei welcher $\mu_{\text{PGM}} = \mu_{\text{SCRIM}}$, und zwar getrennt für jedes Versuchsfeld. Für den Eingang in die erforderlichen Korrelationsbetrachtungen wurden die in einem Versuchsfeld gemessenen SCRIM-Werte ebenso gemittelt wie die PGM-Werte der jeweils 5 Bohrkerne. Danach alternative Vorgehensweise:
 - 3.1) Schrittweises Einsetzen von Drehzahlwerten zwischen 300 min^{-1} und 1000 min^{-1} in Stufen von je 100 min^{-1} in die Gleichungen und Verknüpfung mit den vorliegenden SCRIM-Werten. Dabei ergibt sich eine Geradenschar mit unterschiedlichen, mit der Drehzahl ansteigenden Korrelationskoeffizienten, die im Bereich oberhalb von $U = 800 \text{ min}^{-1}$ praktisch nicht mehr ansteigen. Die Regressionsparameter sind in **Tabelle 3.2** zusammengestellt.
 - 3.2) Ermittlung der mittleren Drehzahl. Dazu wird die Zielgröße SFC anstelle von PGM in die Gleichung gem. Tabelle 3.1 eingesetzt und nach U aufgelöst. Es ergibt sich für jedes Feld eine individuelle Drehzahl zur Erreichung des SCRIM-Wertes. Als Mittel der 21 Felder stellt sich eine Drehzahl von $U = 944 \text{ min}^{-1}$ ein. Die Regressionsgerade

$$\text{PGM} = 1,0392 \text{ SFC} - 0,0269$$

Griffigkeit PGM in Abhängigkeit von der Meßgeschwindigkeit U				
PGM = A x log_U + B				
Feld	A	B	SFC80	Kor.Koeff.
1	-0,388132	1,676241	0,45	0,96
2	-0,354592	1,404102	0,43	0,74
3	-0,378808	1,767371	0,64	0,91
4	-0,230294	1,158984	0,47	0,80
5	-0,407618	1,737965	0,54	0,94
6	-0,208142	1,237349	0,66	0,67
7	-0,454674	1,955200	0,58	0,94
8	-0,346107	1,627098	0,52	0,95
9	-0,333683	1,547781	0,51	0,85
10	-0,377934	1,565732	0,51	0,92
11	-0,417542	1,663557	0,46	0,91
12	-0,303163	1,285631	0,41	0,82
13	-0,351501	1,666126	0,63	0,91
14	-0,298866	1,389582	0,49	0,86
15	-0,433588	1,775939	0,55	0,96
16	-0,358095	1,319468	0,32	0,90
17	-0,268217	1,277231	0,48	0,86
18	-0,334122	1,436659	0,54	0,90
19	-0,350772	1,533830	0,44	0,80
20	-0,361249	1,552897	0,48	0,93
21	-0,383561	1,584822	0,46	0,96

Tabelle 3.1: Zusammenstellung der Regressionskennwerte für den logarithmischen Zusammenhang zwischen den Meßwerten PGM und SCRIM

Meßdrehzahl	Regr.koeffizient A	Konstante B	Bestimmtheitsmaß R ²
300	1,028	0,1527	0,6490
400	1,0308	0,1076	0,6783
500	1,0330	0,0726	0,6967
600	1,0348	0,0441	0,7082
700	1,0363	0,0199	0,7153
800	1,0376	-0,0010	0,7194
900	1,0387	-0,0195	0,7214
1.000	1,0398	-0,0360	0,7218

Tabelle 3.2: Zusammenstellung der Regressionsparameter für den Zusammenhang PGM = A · SFC + B bei steigender Meßdrehzahl

zeigt, daß mit einem relativ geringen Fehler von ca. 3% $\mu_{\text{PGM}} = \mu_{\text{SCRIM}}$ gesetzt werden kann. Die Regression ist mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 84,5 \%$ hochgradig gesichert.

Die kritische Betrachtung der Ergebnisse zeigte, daß bei 6 Feldern vergleichsweise hohe Drehzahlen erforderlich werden, um die SCRIM-Werte zu liefern. Eine detaillierte Überprüfung der Daten dieser Felder machte bei zwei Feldern Korrekturen des Zielwertes SFC erforderlich.

Bei Feld 13 wurden zwei verschiedene Griffigkeitsniveaus festgestellt; vier der fünf Bohrkerns stammen aus dem höheren Bereich. Der Wert μ_{SCRIM} wurde dementsprechend mit 0,63 berücksichtigt.

Bei Feld 20 wurde festgestellt, daß das mit PGM ermittelte hohe Griffigkeitsniveau auch innerhalb der in-situ-Spanne liegt; die Existenz dieses Niveaus im Bereich der Bohrkerns war daher nicht auszuschließen. Als Referenzwert des Feldes 20 wurde daher ebenfalls der höhere Wert von 0,48 berücksichtigt.

Die vier weiteren Felder wiesen keine Gemeinsamkeiten im Hinblick auf Gesteinsart oder Asphaltart auf, ein möglicherweise systematischer Einfluß war zu diesem Bearbeitungszeitpunkt nicht zu erkennen. Die betreffenden Felder Nr. 1, 8, 9 und 19 wurden daher bei der Ermittlung der erforderlichen Drehzahl nicht berücksichtigt.

Die gem. Absatz 3.2 errechnete mittlere Drehzahl ergab sich danach zu $U = 799 \text{ min}^{-1}$, die ohne Einfluß auf das Ergebnis mit $U = 800 \text{ min}^{-1}$ gleichgesetzt werden kann.

Eine erneute Ermittlung der Regression mit $U = 800 \text{ min}^{-1}$ führt zu der Gleichung

$$\text{PGM} = 1,0955 \text{ SFC} - 0,052,$$

die mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 94,1 \%$ ausgestattet ist. Diese Beziehung, die auf einem Signifikanzniveau von mehr als 99,9% gesichert ist und im Rahmen der Konfidenzintervalle auch $\text{PGM} = \text{SFC}$ einschließt, macht deutlich, daß der gefundene rechnerische Zusammenhang die Relation zwischen den beiden Meßwerten in der Tat sehr gut beschreibt.

Des Weiteren bestätigt das Ergebnis auch die unter Ziffer 3.1) festgestellte Optimierungslage im Bereich der Drehzahl ≥ 800 .

3.4 Interpretation des Ergebnisses

Die beiden eingangs angeführten Überlegungen zur Ermittlung der optimalen Meßdrehzahl für die Verknüpfung von PGM- und SCRIM-Messungen führen praktisch zu dem gleichen Ergebnis.

Die PGM-Messung führt wegen des Steigungsfaktors von ca. 1 damit auch zu der gleichen Spreizung der Griffigkeitwerte wie die SCRIM-Messung. Dies ist aus dem Vergleich der Meßgeschwindigkeiten physikalisch erklärbar. Der „Rutschanteil“ des SCRIM-Systems beträgt 20%, was bei einer Meßgeschwindigkeit von 80 km/h einer Gleitgeschwindigkeit von 16 km/h entspricht. Dies würde im Meßsystem PGM einer Drehzahl von 760 min^{-1} entsprechen.

Die aus der Mittelwertbildung der Drehzahl resultierenden Konfidenzintervalle schließen den Wert 760 min^{-1} ein, so daß als Konsequenz aus dem Ergebnis der korrelativen Betrachtungen abgeleitet werden kann, daß die experimentell ermittelte Meßgeschwindigkeit des PGM-Meßkörpers von $U = 800 \text{ min}^{-1}$ mit dem Rutschanteil der bezogenen SCRIM-Meßgeschwindigkeit von $U = 760 \text{ min}^{-1}$ gleichgestellt werden kann.

Der Zusammenhang zwischen der Zielgröße SFC80 und PGM800 ist in **Bild 3.1** grafisch dargestellt. Die für spätere Anwendungen des Meßverfahrens wichtige Umkehrung der Fragestellung, nämlich nach der Höhe des aus der Labormessung abzuleitenden SCRIM-Wertes, führt zu der Gleichung

$$\text{SFC80} = 0,809 \text{ PGM800} + 0,100,$$

deren grafische Darstellung mit Konfidenzintervallen in **Bild 3.2** zu sehen ist. Diese Gleichung ist das Ergebnis der Stufe 1 und die Basis für die weiteren Bearbeitungsstufen.

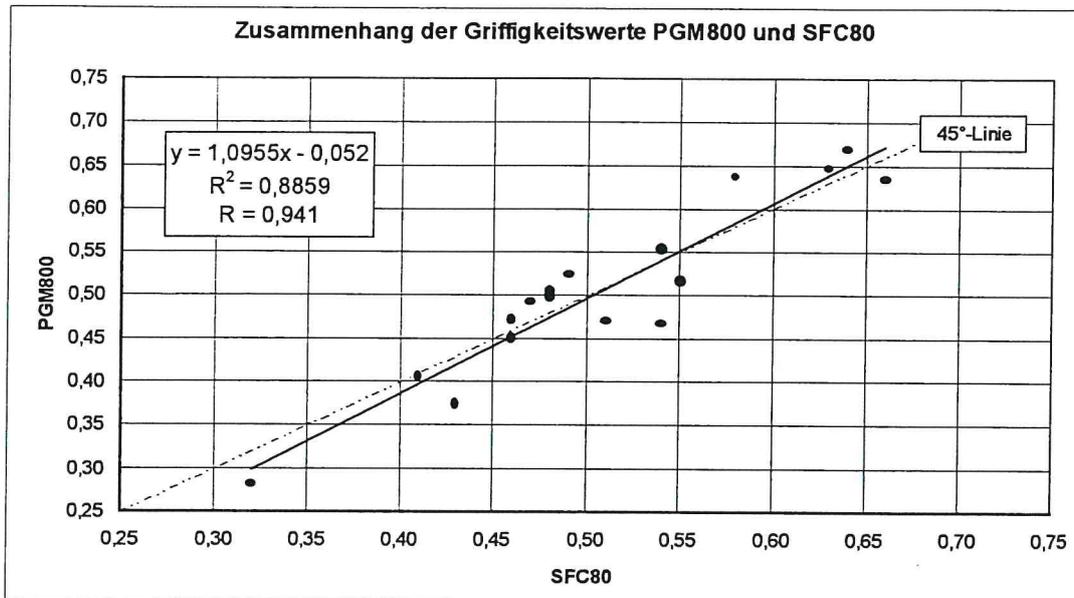


Bild 3.1: Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Meßwerten PGM800 und SFC80 als Ergebnis der Kalibrierung der Meßgeschwindigkeit auf der Basis von 17 einbezogenen Feldern

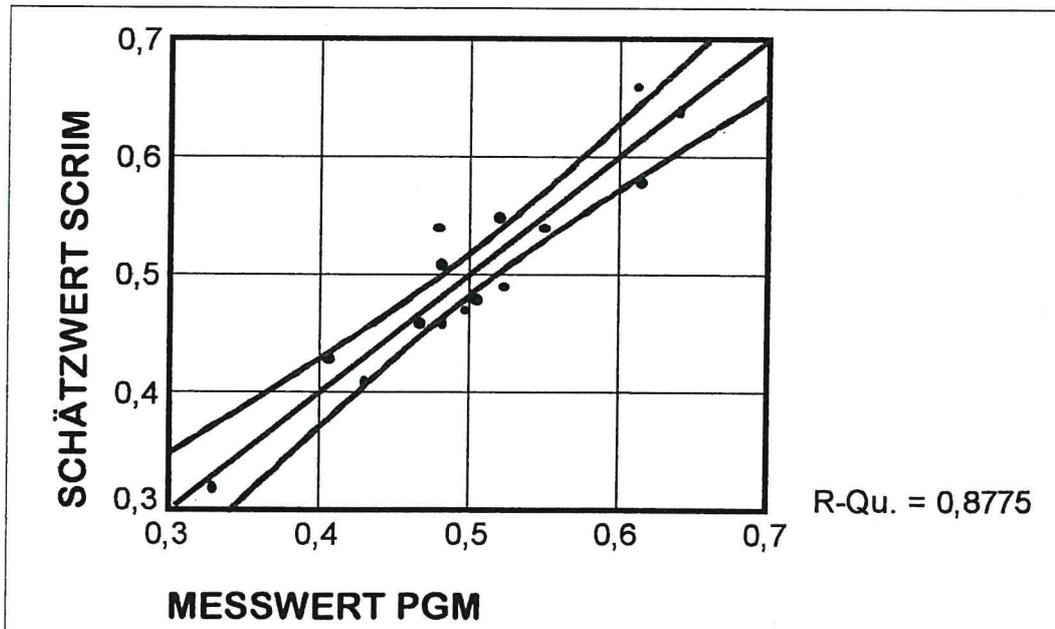


Bild 3.2 Grafische Darstellung der Ermittlung des Schätzwertes für SFC80 aufgrund einer Messung von PGM800 nach der Formel: $SFC80 = 0,809 PGM800 + 0,100$ einschließlich der Vertrauensbereiche der Regression

3.5 Verifizierung der Ergebnisse

3.5.1 Vergleichende Betrachtung von SRM, SFC und PGM durch Rangfolgevergleich

Auf der Grundlage der Ergebnisse 1996 wurde im Sinne einer Plausibilitätsprüfung eine vergleichende Betrachtung zwischen den vorliegenden Griffigkeitswerten

- SRM 80
- SFC 80
- PGM 800

durch einen Rangfolgevergleich durchgeführt.

Eventuelle vorhandene, jahreszeitlich bedingte Veränderungen im Griffigkeitsverhalten, die ggf. zu einer Verschiebung der Reihenfolge geführt haben könnten, weil die SCRIM-Daten im Frühsommer, die SRM-Werte aber erst im Herbst 1996 aufgenommen wurden, konnten dabei nicht berücksichtigt werden, spielen bei einem Rangfolgevergleich aber auch keine entscheidende Rolle.

Der Vergleich wurde in **Tabelle 3.3** vorgenommen. Die Tabelle gibt in den einzelnen Zellen die Reihenfolge der mit den drei verschiedenen Meßverfahren erhaltenen Werte wieder. Unterschiede im Ranking wurden durch Kursiv- und Fettdruck gekennzeichnet. Hinweise und Kommentare zu evtl. Unterschieden sind der letzten Spalte zu entnehmen.

Während die meisten Verschiebungen auf geringfügige Unterschiede zwischen den Meßwerten und damit auf zufällige Ursachen zurückzuführen sind, zeigt die Veränderung der Reihenfolge in der Spalte PGM bei den Versuchsfeldern mit variiertem Größtkorn (Zellenblöcke II und V) eine Systematik auf, die einen verfahrensbedingten Einfluß nicht ausschließen läßt und daher vor Weiterführung der Arbeit ergänzende Untersuchungen erforderte.

Variation	SRM	SFC	PGM	Merkmal	Kommentar
I. SMA 11S Splittsorte	A B D E C F	B A D C E F	A B D E C F	Splittsorten-#	D u. E bei PGM etwa gleich Δ B/A u. C/E bei SCR je 0,02
II. SMA Korngröße	5 8 11	5 8 11	11 8 5	Korngröße	!!
III. AB 11S Splittsorte	A E F	A E F	A E F	Splittsorten-#	
IV. AB 11S Splittsorte (Gemisch)	7 10 9 11 12	7 10 9 11 12	7 9 10 11 12	Feld-#	F 9/10 bei SRM + SCR jeweils etwa gleich
V. AB Korngröße	5 8 11	8 5 11	11 8 5	Korngröße	Spannen generell relativ gering
VI. AB 8 Splittsorte (Gemisch)	13 15 20 14 16	13 15 14 20 16	13 15 14 20 16	Feld-#	V14 u. V20 jeweils fast gleich
VII. SMA/AB Splittsorte	A / A E / E F / F	A / A E / E F / F	A / A E / E F / F	Splittsorten-#	

Tabelle 3.3 Rangfolgevergleich zwischen den Griffigkeitsmeßverfahren SRM, SCRIM und PGM innerhalb der Feldergruppen der Versuchsstrecke A 70 Bamberg

3.5.2 Ergänzende Untersuchungen zum Einfluß des Größtkorns

Die ergänzenden Untersuchungen zum Einfluß des Größtkorns hatten in erster Linie die Variation der geometrischen Form des Meßgummis (Ebenheit und Größe der Meßfläche) im Zusammenspiel mit der Beschaffenheit der Probenoberfläche (gewalzt oder geschliffen) zum Inhalt.

Bezüglich der Form der Meßgummis wurden neben dem „normalen“, ebenen, kreisförmigen Gummi, Varianten mit einer halbkugelförmigen Oberfläche und einer rechteckigen, an der Vorderkante skiartig abgeschragten Fläche eingesetzt.

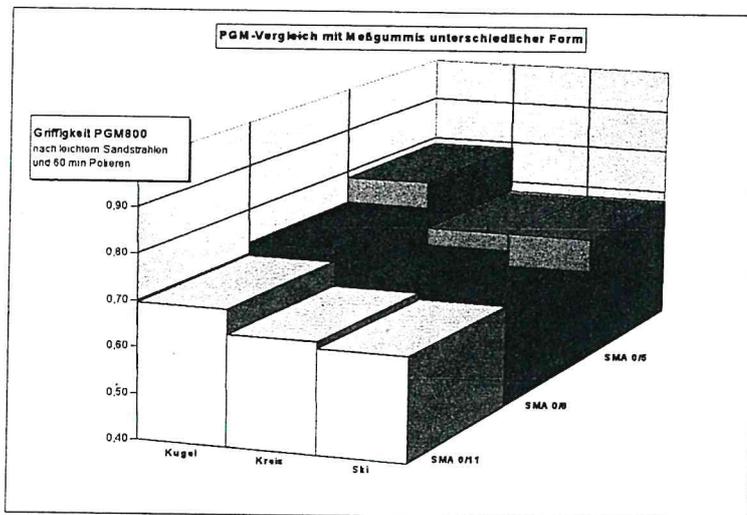


Bild 3.3 Ergebnisse von PGM-Messungen an Splittmastixasphalten mit unterschiedlichen Größtkorn gleicher Mineralstoffe unter Einsatz unterschiedlich geformter Meßgummis gleicher Härte

Als Proben dienten Splittmastixasphalte mit unterschiedlichem Größtkorn aus gleichen Mineralstoffen. Untersucht wurden verschiedene Oberflächenzustände, wobei der Zustand III der vom Bindemittel befreiten und polierten, aber walzrauen Oberfläche entspricht, wie sie auch auf der Straße vorliegen dürfte. Die Meßergebnisse dieses Zustandes sind in nebenstehendem **Bild 3.3** wiedergegeben. Sie lassen erkennen, daß der PGM-Wert mit kleinerem Größtkorn zunimmt.

Diese Tendenz entspricht den

aktuellen Beobachtungen der Praxis und bestätigt somit auch die Relevanz des PGM-Systems. Der Vergleich der Meßgummis zeigt unterschiedlich große Unterschiede im Meßniveau in einer erwarteten Abhängigkeit von der geometrischen Form. Die „Kugel“, die die Konturen der Meßlinie besser nachvollzieht als die beiden anderen Gummiformen, erreicht das höchste Niveau, während der „Ski“ eher über die Einhüllende gleitet und die niedrigsten Werte ergibt.

Zusammenfassend kann aus den ergänzenden Untersuchungen zum Einfluß des Größtkorns und der Geometrie des Meßgummis gefolgert werden, daß eine Änderung der Prüfbedingungen nicht erforderlich ist.

Die der Tabelle 3.3 zu entnehmenden Verschiebungen der Reihung sind möglicherweise verfahrens- oder verwitterungsbedingte oder durch Abrieb entstandene Kornhöhenverluste der entsprechenden Fraktion, die von dem Gummi der Meßeinrichtung nicht mehr ausreichend erfaßt werden. Eine weitere oder gar abschließende Behandlung dieser Fragestellung war im Rahmen der vorliegenden Aufgabenstellung jedoch nicht möglich. Sie bleibt zukünftigen Arbeiten vorbehalten.

3.5.3 PGM-Vergleich 1996 / 1998

Anhand der Messungen des Jahres 1998 und den danach entnommenen Bohrkernen ergab sich eine weitere Möglichkeit zur Verifizierung der gewonnenen Ergebnisse. Dazu wurden die PGM 800-Werte von 1996 mit den PGM 800-Werten von 1998 mittels einer Regressionsbetrachtung überprüft. Dabei blieben in Analogie zur Regressionsbetrachtung PGM800_96 / SFC_96 die nicht zuzuordnenden Felder 1, 8, 9 und 19 unberücksichtigt. Das Ergebnis ist in **Bild 3.4** dargestellt.

Das Ergebnis ist optisch unmittelbar erkennbar und bedeutet nichts anderes, als daß die Griffigkeit der Bohrkernoberflächen von PGM im Jahre 1998 auf dem gleichen Niveau angesprochen wird wie 1996. Dies steht aber im Widerspruch zu den später im Abschnitt 4.1.5.2 diskutierten Zusammenhängen (s. dazu auch Bild 4.3), wonach SFC_98 zahlenmäßig geringer ist als SFC_96. Dort wurde erkannt, daß der höhere Wert SFC_96 auf den Umstand der Frühjahrsmessung zurückzuführen war. In Analogie dazu ist festzustellen, daß PGM demnach an einem systematisch um ca. 0,03 Einheiten zu hohen SFC-Wert kalibriert worden ist. Zur Berücksichtigung dieses Umstandes können die PGM-Messungen entsprechend den Regressionsdaten der Tabelle 3.1 bei einer um 200 min^{-1} höheren Drehzahl vorgenommen werden.

Alternativ dazu besteht die Möglichkeit, den Unterschied mit einem Korrekturfaktor von - 0,03 zu egalisieren. Aus pragmatischen Gründen ist diese Alternative vorzuziehen, weil sie die Möglichkeit beinhaltet, die vorhandenen Meßdaten ohne neue Versuche zu verwerten.

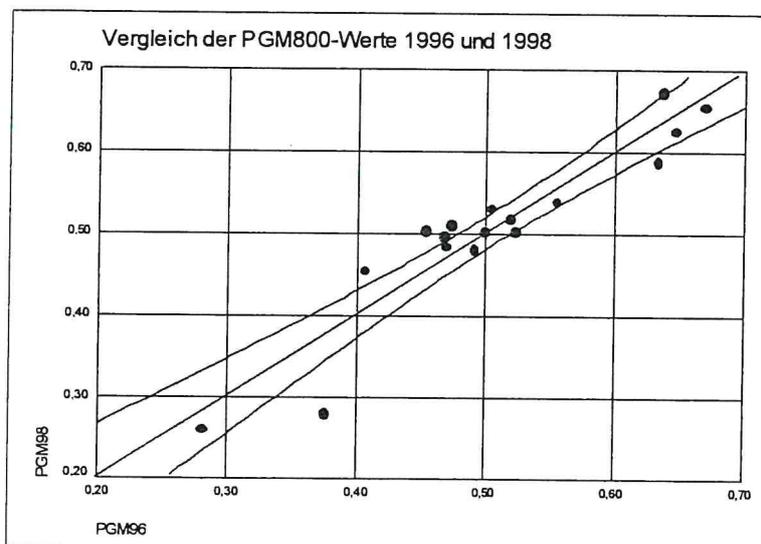


Bild 3.4 Darstellung des Zusammenhangs der PGM-Messungen der Jahre 1996 und 1998 als Regressionsgerade $PGM_{98} = 1,012 PGM_{96} - 0,0004$
Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,8973$, Regressionskoeffizient $r = 0,947$.

4 VERKNÜPFUNG DES GRIFFIGKEITSVERLAUFES IM LABORATORIUM MIT DEM POLIEREFFEKT DES VERKEHRS IN DER PRAXIS

Die Verknüpfung des Griffigkeitsverlaufes im Laboratorium mit dem Poliereffekt des Verkehrs sollte, wie bereits die Kalibrierung der Meßgeschwindigkeit, an den Bohrkernen aus der Versuchsstrecke der A 70 erfolgen. Bei dieser Untersuchung kommt der verkehrsbedingten Veränderung des Oberflächenzustandes in der Praxis die maßgebende Rolle zu, weshalb dieses Thema nachfolgend näher behandelt wird.

4.1 Die Versuchsstrecke BAB A 70 bei Bamberg

4.1.1 Lage und Trassenführung

Dank einer sehr kooperativen Zusammenarbeit mit der Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg und dem Fachgebiet Straßenbau des Instituts für Straßen- und Schienenverkehr der TU-Berlin war es möglich, die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit mit laufenden Untersuchungen auf einer Versuchsstrecke im Zuge der Bundesautobahn A 70 bei Bamberg zu verknüpfen.

Diese Versuchsstrecke wurde im Jahre 1991 für Untersuchungen im Rahmen der aus dem gemeinsamen Forschungsprogramm des Bundesministers für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen geförderten Forschungsarbeit FE-Nr. 6.061G93 E „Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlicher Mineralstoffe auf das Gebrauchsverhalten von Asphaltdeckschichten hinsichtlich Griffigkeit, Querebenheit und Reifen Geräuschen“ angelegt.

Die Strecke befindet sich auf beiden Richtungsfahrbahnen der A 70 Bamberg-Schweinfurt zwischen den Anschlußstellen Bamberg-Hafen und Viereth-Trunstadt. Die Trasse verläuft in diesem Bereich ziemlich geradlinig in ostwestlicher Richtung und mit geringem Längsgefälle im Maintal (s. **Bild 4.1**). Der Regelquerschnitt entspricht einem RQ 26.

Die Versuchsstrecke selbst besteht aus 21 Versuchsfeldern, wovon drei jeweils zur Hälfte eine zusätzliche alternative Bearbeitung der Oberfläche erfahren haben. In jeder Fahrtrichtung schließen sich Start- und Endfelder mit ortsüblichem Standardmischgut an.

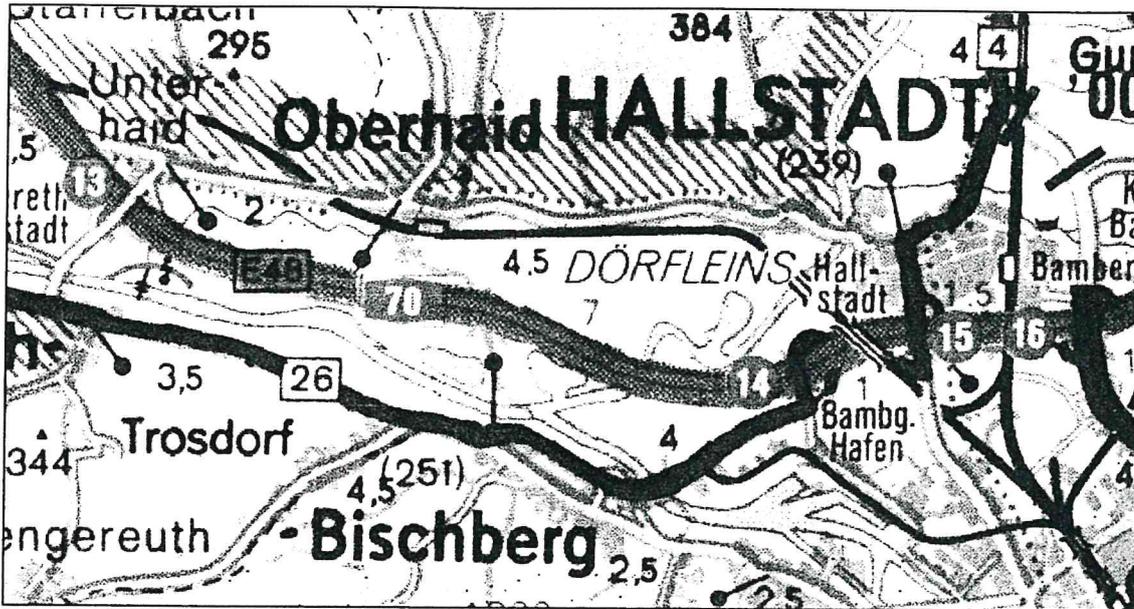


Bild 4.1 Lage und Trassenführung der Versuchsstrecke östlich der Anschlußstelle 13 im Zuge der BAB 70 (Kartenausschnitt aus Generalkarte Nr. 7, Bayern Nord)

4.1.2 Verkehrsdaten

Von der Autobahndirektion Nordbayern wurden die Ergebnisse von Verkehrszählungen auf der A 70 übermittelt. Danach ist in dem relevanten Bereich der Anschlußstelle Viereth-Trunstadt mit einem DTV von ca. 20.000 bis 25.000 Fahrzeugen zu rechnen:

Jahr der Zählung	Kfz insgesamt	Schwerverkehr SV	Bemerkung
1993	19.029	13,4%	Anstieg n. ABD: 5%/a
1995	21.728	17,2/28,3% (tags/nachts)	SV entspr. > 3,5 t
1996	26.283		Fortschreibung DTV 96

Tabelle 4.1 Verkehrsmengen im Bereich der Versuchsstrecke nach Angaben der Autobahndirektion Nord, Nürnberg

Die Betrachtung der Verkehrsmengen weist eine relativ geringe Belastung der relevanten Streckenabschnitte aus. In Verbindung mit der Charakteristik der Trassenführung (geringe Krümmungen, keine Steigungen) läßt sich daraus eine relativ geringe verkehrsbedingte Polierwirkung erwarten.

4.1.3 Versuchsfelder

Die zum Einsatz gekommenen Splitte wurden nach ihrem PSV-Wert⁴ ausgewählt. Sie umfassen eine Spanne zwischen gering und hoch polierresistent. Als Mischgutarten wurden Splittmastixasphalt und Asphaltbeton mit Korngrößen von 5, 8 und 11 mm eingesetzt. Mit dem Ziel einer Vergleichmäßigung der Hohlraumverhältnisse wurde die Konzeption der Mischgutzusammensetzung nach rein volumetrischen Gesichtspunkten vorgenommen.

Die im folgenden in kursiver Schrift wiedergegebenen Auszüge aus der Kurzfassung des Forschungsberichtes der TU Berlin erläutern die Zusammenhänge:

Die Versuchsstrecke Bamberg auf der A 70

Es wurden sechs verschiedene Mineralstoffe - die Gesteine A bis F - für den Bau der Deckschichten ausgewählt:

<i>Splitt A:</i>	<i>Grauwacke</i>
<i>Splitt B:</i>	<i>Kiessplitt 2</i>
<i>Splitt C:</i>	<i>Kiessplitt 1</i>
<i>Splitt D:</i>	<i>Diabas</i>
<i>Splitt E:</i>	<i>Basalt</i>
<i>Splitt F:</i>	<i>Dolomit</i>

Sie repräsentieren beispielhaft den unterschiedlichen Polierwiderstand der Splittkomponente 8/11 mm in der relevanten Spannweite zwischen 40 und 60 PSV-Einheiten. Von den Gesteinen A bis F wurde der Edelsplitt von 2 bis 11 mm für Untersuchungen herangezogen, von den Gesteinen D und F auch der zugehörige Brechsand 0 bis 2 mm. Die Untersuchungen zur Ermittlung des Polierwiderstandes der Mineralstoffe wurden nach Wehner/Schulze⁵ und nach British-Standard BS 812 durchgeführt. Die Hauptuntersuchungen erfolgten an der Splittkörnung 8/11 mm in drei unabhängigen Versuchsreihen. Die wichtigsten Ergebnisse:

- Beide Prüfmethode kommen hinsichtlich Polierwiderstand zur gleichen Rangfolge der Gesteine. Die Korrelation Wehner/Schulze zu BS 812 ist gut.*
- Das Gestein A (Grauwacke) besitzt mit Abstand den höchsten Polierwiderstand. Es folgen die Gesteine D (Diabas), B (Kiessplitt 2) und E (Basalt). Die Gesteine C (Kiessplitt 1) und F (Dolomit) weisen dagegen einen niedrigen Polierwiderstand auf (Bild 4.2).*

⁴ PSV ist die Abkürzung für Polished Stone Value, einem Maß für die Polierresistenz eines Mineralstoffes, ermittelt nach der britischen Norm BS 812

⁵ Mit dem Begriff „Wehner/Schulze“ ist das an der TU Berlin entwickelte Prüfverfahren gemeint

- Die nach Wehner/Schulze an der Sand-Prüfkörnung 0,2/0,4 mm durchgeführten Polierversuche ergeben beim Brechsand D (Diabas) einen hohen und beim Brechsand F (Dolomit) einen niedrigen Polierwiderstand.

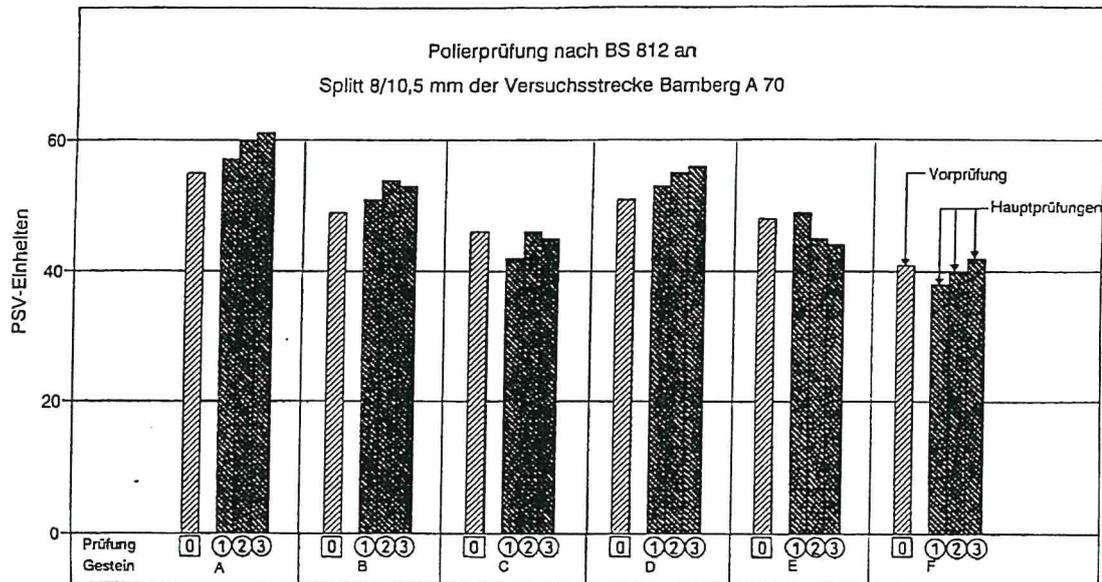


Bild 4.2 Polierbarkeit der in der Versuchsstrecke eingesetzten Splitte nach Untersuchungen der TU Berlin, ermittelt nach BS 812 (PSV-Werte); Vergleich der Ergebnisse aus Vor- und Hauptprüfungen

Für die 21 Felder der Versuchsstrecke Bamberg wurden die Mischgutvarianten mit den ausgewählten Mineralstoffen im Sinne der Forschungsziele gemäß Tabelle 4.2 festgelegt. Bei der Konzeption der Eignungsprüfungen waren folgende Forderungen zu berücksichtigen:

- Ausrichtung des Mischguts - auch bei den Körnungen 0/8 und 0/5 - auf Bauklasse SV aus der Vorgabe der angrenzenden Streckenabschnitte der A 70.
- Vergleichbarkeit der zugehörigen Asphaltvarianten untereinander in ihren volumenbezogenen kompositionellen Zusammensetzungen.
- Vermeidung von Mastix- bzw. Mörtelanreicherungen auf den Asphaltoberflächen, damit u.a. die Splittkomponenten möglichst frühzeitig nach Verkehrsübergabe zur Wirkung kommen können.

Die Asphaltherstellung erfolgte durch die Asphalt-Mischwerke Oberfranken (AMO), der Mischguteinbau durch die Firma Franz Gröne/Arge Oberbaulos A 70/04. Die Mischanlagenkapazität und Lagermöglichkeiten für die insgesamt 18 Lieferkörnungen der Splitte aus den sechs ausgewählten Gesteinen A bis F machten die Aufteilung der Asphaltherstellung auf drei Mischanlagen notwendig. Es wurden folgende konstruktive Festlegungen für die Versuchsfelder getroffen:

Gruppe	Rezeptur Nr.	Mischgut-Typ/Sorte	Gesteinsart in der Körnung [mm]				
			8/11	5/8	2/5	0/2	
I Varierte Splittarten	V1	SMA 0/11S	E	E	E	D	
	V2	SMA 0/11S	F	F	F	D	
	V3	SMA 0/11S	A	A	A	D	
	V4	SMA 0/11S	C	C	C	D	
	V5	SMA 0/11S	D	D	D	D	
	V6	SMA 0/11S	B	B	B	D	
II Optimierte Gemische	V7	AB 0/11S	A	A	A	D	
	V8	AB 0/11S	A	A	F	F	
	V9	AB 0/11S	A	F	F	D	
	V10	AB 0/11S	F	A	A	D	
	V11	AB 0/11S	F	F	A	D	
	V12	AB 0/11S	F	F	F	D	
	V13	AB 0/8		A	A	D	
	V14	AB 0/8		A	F	F	
	V15	AB 0/8		F	A	D	
	V16	AB 0/8		F	F	F	
	III Einfluß der Korngröße	V17	SMA 0/8		E	E	D
		V18	SMA 0/5			E	D
V19		AB 0/11S	E	E	E	D	
V20		AB 0/8		E	E	D	
V21		AB 0/5			E	D	

A = Splitt mit hohem Polierwiderstand
 F = Splitt mit niedrigem Polierwiderstand
 D = Sand mit hohem Polierwiderstand
 F = Sand mit niedrigem Polierwiderstand

Tabelle 2.2 Mischgutvarianten und Gesteinsarten (nach Angaben TU Berlin)

- **Einbaudicken:**
 4 cm für Körnungen 0/11
 3 cm für Körnungen 0/8
 2,5 cm für Körnungen 0/5
- **Keine Abtreppungen in der Binderschicht, bei Schichtdickenwechseln der Deckschicht soll die Anrampungsneigung 0,2 % nicht überschreiten.**
- **Fließender Übergang zwischen den ca. 200 m langen Asphaltvarianten; fertigerbedingt ergibt sich hierdurch ein Übergangsbereich zwischen zwei Feldern von je ca. 10 m; in der Unsicherheit der Liefermengen ist gegenüber dem Soll ein Schwankungsbereich von ca. \pm 4 m zu erwarten.**

Der Asphalteinbau erfolgte über den vollen Querschnitt der Richtungsfahrbahn mit einem Fertiger des Typs ABG Titan 411. Für die Walzverdichtung wurden die Glattmantelwalzen HAMM DV 10 (2 Stück) und HAMM

HW 90/12 sowie eine Gummiradwalze HAMM GR 15 (nur für Asphaltbeton) eingesetzt. Die Splittmastixasphalt-Varianten wurden im Zuge des Verdichtungsvorganges mittels Tellerstreuer mit vorbituminierter Diabas-Körnung 1/3 mm abgestreut, der Asphaltbeton benötigte keine Abstreuerung. Alle Versuchsfelder wurden auf dem bis zum Asphaltbinder fertiggestellten einheitlichen Oberbau aufgebracht, der für die Bauklasse SV nach RSt0 86/89, Tafel 1, Zeile 2 bemessen war. Auf keinem der Versuchsfelder zeigten sich nach der Verdichtung an der Asphaltoberfläche griffigkeitsmindernde Mastix- oder Mörtelanreicherungen. Die Strecke wurde am 10.10.1991 dem Verkehr übergeben.

Zur Ermittlung der asphalttechnologischen Kennwerte der eingebauten 21 Asphaltvarianten wurden unabhängig von den amtlichen Kontrollprüfungen Mischgutuntersuchungen an den auf der Baustelle vom Forschungsnehmer entnommenen Mischgutproben im Labor für bituminöse Baustoffe der Technischen Fachhochschule Berlin durchgeführt. Die Mischgut-Probenahmen erfolgten stets im Mittenbereich eines Versuchsfeldes, meist beim jeweils 4. Lieferfahrzeug. Die Ergebnisse der Mischgutuntersuchungen zeigen, daß die Vorgaben für die kompositionelle Zusammensetzung der 21 Asphaltvarianten aus den Eig-

nungsprüfungen bis auf wenige Ausnahmen trotz der vielfältigen Umstellungen an den Mischwerken eingehalten werden konnten.

Eine Übersicht über die Verteilung der Mischgutvarianten über die Strecke zeigt die folgende **Tabelle 4.3.**

Tabelle 4.3

Verteilung der Versuchsfelder innerhalb der Versuchsstrecke

*BA-SW bedeutet Fahrbahn in Richtung Schweinfurt
SW-BA bedeutet Fahrbahn in Richtung Bamberg*

Feld	von.. .Betr.-	km.....bis	MG-Typ	Sd/Sp/Sp/Sp
BA-SW				
2	58.400	58.605	SMA 11S	D / F / F / F
1	58.210	58.400	SMA 11S	D / E / E / E
3	58.000	58.210	SMA 11S	D / A / A / A
4	57.800	58.000	SMA 11S	D / C / C / C
7	57.620	57.800	AB 11S	D / A / A / A
8	57.470	57.620	AB 11S	F / F / A / A
8a	57.405	57.470	AB 11S	F / F / A / A
5	57.315	57.405	SMA 11S	D / D / D / D
5a	57.210	57.315	SMA 11S	D / D / D / D
9	57.020	57.210	AB 11S	D / F / F / A
6	56.820	57.020	SMA 11S	D / B / B / B
10	56.640	56.820	AB 11S	D / A / A / F
SW-BA				
11	58.590	58.810	AB 11S	D / A / F / F
19	58.405	58.590	AB 11S	D / E / E / E
12	58.205	58.405	AB 11S	D / F / F / F
17	57.985	58.205	SMA 8	D / E / E
13	57.770	57.985	AB 8	D / A / A
18	57.680	57.770	SMA 5	D / E
18a	57.570	57.680	SMA 5	D / E
14	57.375	57.570	AB 8	F / F / A
20	57.165	57.375	AB 8	D / E / E
15	57.020	57.165	AB 8	D / A / F
21	56.780	57.020	AB 5	D / E
16	56.595	56.780	AB 8	F / F / F

4.1.4 Ergebnisse von Griffigkeitsmessungen auf der Versuchsstrecke

Die Strecke wurde als Bestandteil des Forschungsvorhabens der TU Berlin regelmäßig hinsichtlich ihrer Griffigkeit untersucht. Seitens des Forschungsnehmers TU Berlin wurde dazu der Stuttgarter Reibungsmesser, seitens der Autobahnverwaltung das System SCRIM eingesetzt.

Die Messungen der TU Berlin wurden dabei nach dem ersten Betriebswinter im Frühjahr 1992 begonnen und anschließend, beginnend im Herbst 1992, bis einschließlich 1996, in jährlichem Rhythmus fortgesetzt. Die nächsten Messungen sollten nach Genehmigung einer Fortführung der Arbeit im Jahr 1999 durchgeführt werden.

SCRIM-Messungen wurden im Zuge der Zustandserfassung der Bundesfernstraßen im Jahre 1992 von der Schniering Ingenieurgesellschaft, Essen, und bei der Wiederholung im Jahre 1997 von der ARGE Schniering/ASTRA durchgeführt. Zusätzliche Messungen wurden mit dem Gerät der BAST-Außenstelle Inzell vor der Entnahme der Bohrkernserie I für die vorliegende Forschungsarbeit im Mai 1996, danach aufgrund der Notwendigkeiten der Forschungsarbeit nochmals im Herbst 1998 vor der Entnahme der Bohrkernserie II vorgenommen.

Die auf der Versuchsstrecke gewonnenen Griffigkeitsdaten sind in den **Tabellen 4.4** und **4.5** zusammengestellt.

Feld	von Betr. km ... bis	MG-Typ	Sd/Sp/Sp/Sp	SRM_92S	SRM_92H	SRM_93	SRM_94	SRM_95	SRM_96	
1	58.210	58.400	SMA 11S	D/E/E/E	0,46	0,48	0,43	0,42	0,38	0,41
2	58.400	58.605	SMA 11S	D/F/F/F	0,43	0,42	0,39	0,37	0,32	0,35
3	58.000	58.400	SMA 11S	D/A/A/A	0,48	0,51	0,50	0,52	0,50	0,54
4	57.800	58.000	SMA 11S	D/C/C/C	0,44	0,46	0,40	0,39	0,37	0,40
5	57.315	57.800	SMA 11S	D/D/D/D	0,47	0,50	0,46	0,45	0,42	0,45
5a	57.210	57.570	SMA 11S	D/D/D/D	0,46	0,50	0,45	0,45	0,42	0,44
6	56.820	57.020	SMA 11S	D/B/B/B	0,51	0,54	0,51	0,51	0,50	0,52
7	57.620	56.820	AB 11S	D/A/A/A	0,52	0,54	0,51	0,50	0,47	0,51
8	57.470	57.620	AB 11S	F/F/A/A	0,43	0,42	0,42	0,40		0,43
8a	57.405	57.210	AB 11S	F/F/A/A	0,47	0,51	0,44	0,44	0,44	0,46
9	57.020	57.470	AB 11S	D/F/F/A	0,48	0,49	0,47	0,46	0,41	0,45
10	56.640	56.820	AB 11S	D/A/A/F	0,50	0,52	0,48	0,47	0,42	0,47
11	58.590	58.810	AB 11S	D/A/F/F	0,51	0,51	0,46	0,46	0,41	0,45
12	58.205	58.590	AB 11S	D/F/F/F	0,46	0,46	0,43	0,41	0,39	0,39
13	57.770	56.780	AB 8	D/A/A	0,51	0,53	0,50	0,51	0,50	0,53
14	57.375	58.205	AB 8	F/F/A	0,46	0,46	0,42	0,41	0,43	0,41
15	57.020	57.375	AB 8	D/A/F	0,50	0,52	0,49	0,50		0,48
16	56.595	57.020	AB 8	F/F/F	0,38	0,39	0,34	0,33	0,32	0,31
17	57.985	56.595	SMA 8	D/E/E	0,49	0,52	0,47	0,48	0,44	0,43
18	57.680	57.985	SMA 5	D/E	0,51	0,53	0,49	0,49	0,46	0,47
18a	57.570	57.770	SMA 5	D/E	0,49	0,53	0,48	0,49	0,47	0,44
19	58.405	57.680	AB 11S	D/E/E/E	0,44	0,45	0,44	0,44	0,40	0,43
20	57.165	58.405	AB 8	D/E/E	0,45	0,49	0,45	0,44	0,42	0,42
21	56.780	57.165	AB 5	D/E	0,48	0,46	0,45	0,45	0,41	0,44

Tabelle 4.4 Ergebnisse SRM80 von Griffigkeitsmessungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) der TU Berlin in den Jahren 1992 bis 1996

Zur Kennzeichnung der Datenreihen wurden folgende Kürzel definiert:

Ausführung der Messung

SRM_92 Stuttgarter Reibungsmesser mit Jahr der Messung

SCRIM_96 SCRIM-Gerät mit Jahr der Messung

PGM Polier- und Griffigkeits-Meßgerät Institut Dr. Gauer

Ergebnis der Messung

SRM80 Stuttgarter Reibungsmesser mit Meßgeschwindigkeit [km/h]

SFC80 SCRIM-Messung mit Meßgeschwindigkeit [km/h]

PGM800 PGM-Messung mit Drehzahl des Meßstellers

Feld	von Betr. km ...bis	MG-Typ	Sd/Sp/Sp/Sp	SCRIM_92 ¹	SCRIM_96 ²	SCRIM_97 ¹	SCRIM_98 ²	
1	58.210	58.400	SMA 11S	D/E/E/E	0,47	0,45	0,36	0,41
2	58.400	58.605	SMA 11S	D/F/F/F	0,51	0,43	0,34	0,43
3	58.000	58.400	SMA 11S	D/A/A/A	0,58	0,64	0,57	0,58
4	57.800	58.000	SMA 11S	D/C/C/C	0,50	0,47	0,43	0,45
5	57.315	57.800	SMA 11S	D/D/D/D	0,52	0,54	0,47	0,48
5a	57.210	57.570	SMA 11S	D/D/D/D	0,53		0,49	0,52
6	56.820	57.020	SMA 11S	D/B/B/B	0,60	0,66	0,62	0,62
7	57.620	56.820	AB 11S	D/A/A/A	0,56	0,58	0,47	0,50
8	57.470	57.620	AB 11S	F/F/A/A	0,56	0,52	0,48	0,43
8a	57.405	57.210	AB 11S	F/F/A/A	0,57		0,52	0,48
9	57.020	57.470	AB 11S	D/F/F/A	0,52	0,51	0,40	0,46
10	56.640	56.820	AB 11S	D/A/A/F	0,53	0,51	0,43	0,47
11	58.590	58.810	AB 11S	D/A/F/F	0,48	0,46	0,31	0,40
12	58.205	58.590	AB 11S	D/F/F/F	0,44	0,41	0,40	0,36
13	57.770	56.780	AB 8	D/A/A	0,61	0,58	0,50	0,50
14	57.375	58.205	AB 8	F/F/A	0,55	0,49	0,41	0,47
15	57.020	57.375	AB 8	D/A/F	0,56	0,55	0,43	0,47
16	56.595	57.020	AB 8	F/F/F	0,41	0,32	0,37	0,27
17	57.985	56.595	SMA 8	D/E/E	0,53	0,48	0,52	0,44
18	57.680	57.985	SMA 5	D/E	0,54	0,54	0,53	0,48
18a	57.570	57.770	SMA 5	D/E	0,58		0,49	0,48
19	58.405	57.680	AB 11S	D/E/E/E	0,36	0,44	0,32	0,39
20	57.165	58.405	AB 8	D/E/E	0,41	0,44	0,45	0,41
21	56.780	57.165	AB 5	D/E	0,48	0,46	0,35	0,39

¹⁾ Zustandserfassung

²⁾ Sondermessungen vor Bohrkernentnahme

Tabelle 4.5 Ergebnisse SFC80 von Griffigkeitsmessungen mit dem Meßfahrzeug SCRIM

Beim Vergleich der Werte sind ungeachtet einer detaillierten Auswertung vorab folgende Phänomene festzustellen.

1. Die Werte SFC_96 liefern auch nach Umrechnung von SRM_96 in SCRIM-Werte nach der in der Literatur angegebenen Formel $SFC = 1,086 SRM - 0,008$ ein höheres Niveau als diese. Als Erklärung dafür können die unterschiedlichen Meß-

zeitpunkte (SCRIM: Frühsommer, SRM: Herbst) angesehen werden, auch wenn aufgrund der Formulierung im Entwurf der Griffigkeits-Richtlinien⁶ angenommen werden darf, daß innerhalb dieses Zeitraumes keine Unterschiede auftreten würden.

2. Die Messungen SFC_97 weisen gegenüber SFC_96 auf einen zum Teil erheblichen Griffigkeitsverlust hin. Neben apparativen Einflüssen sind auch hierbei die unterschiedlichen Meßzeitpunkte beachtenswert: Die Messung 97 fand im Rahmen der Zustandsbewertung im Juli statt.
3. Die Messungen SRM_95 weisen gegenüber SRM_94 ebenfalls auf einen zum Teil erheblichen Griffigkeitsverlust hin, der jedoch bei der 96er Messung wieder kompensiert, hin und wieder sogar umgedreht worden ist. Der niedrige Wert SRM_95 ist möglicherweise im Zusammenhang mit dem heißen 95er Sommer zu sehen. Aber auch der Sommer 96 war überdurchschnittlich warm und trocken, was sich nicht auf die Meßergebnisse ausgewirkt hat.
4. Die Messungen SFC_98 sind im Mittel signifikant niedriger als die Werte SFC_96, aber höher als die Ergebnisse SFC_97. Hier sind Einflüsse der Meßfahrzeuge und des Meßzeitpunktes nicht auszuschließen.

4.1.5 Veränderung der Griffigkeit unter Betrieb

4.1.5.1 Messungen mit dem Stuttgarter Reibungsmesser

Die von der TU Berlin übermittelten Daten sind in **Anlage 3** für jeden Versuchsblock grafisch aufgetragen.

Der aus den SRM-Daten der Jahre 1992 bis 1996 abzulesende mittlere Griffigkeitsverlauf läßt augenscheinlich nicht in allen Fällen eine deutliche Abhängigkeit von der Verkehrsmenge erkennen. Diese Beobachtung läßt sich auch statistisch anhand der Signifikanz der Regressionsparameter nachweisen. Dabei können entweder die Regressionsfunktionen einzeln, d.h. für jedes Feld gesondert, oder alle gleichzeitig, quasi als Gruppe oder im Block, geprüft werden.

Die wesentlichen Ergebnisse der statistischen Auswertung des linear angenommenen SRM-Verlaufs der 21 Versuchsfelder sind in **Tabelle 4.6** zusammengestellt.

⁶ Richtlinien zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe, FGSV 401, Entwurf November 1998

Tabelle 4.6: Statistische Auswertung des Verlaufs der mit dem Stuttgarter Reibungsmesser der TU Berlin in den Jahren 1992 bis 1996 gemessenen Griffigkeitswerte unter Ansatz eines linearen Zusammenhangs

Feld Nr.	Mischgutart	Mineralstoffgemisch Sd / Spl. 2/5 Spl. 5/8 Spl. 8/11	Statistische Kenngrößen und Bewertung					
			Betrachtung der Einzelfelder			Betrachtung aller Felder als Gruppe		
			Steigung	Irrtumswahrscheinlichkeit	Signifikanz	Steigung	Irrtumswahrscheinlichkeit	Signifikanz
1	SMA 11S	D/EEE	-0,0200	0,1056	nein	-0,0154	0,1525	nein
2	SMA 11S	D/FFF	-0,0240	0,0448	ja	-0,0197	0,0380	ja
3	SMA 11S	D/AAA	0,0060	0,3189	nein	0,0089	0,1143	nein
4	SMA 11S	D/CCC	-0,0160	0,1915	nein	-0,0123	0,3446	nein
5	SMA 11S	D/DDD	-0,0160	0,1250	nein	-0,0129	0,2355	nein
6	SMA 11S	D/BBB	-0,0050	0,3677	nein	-0,0034	0,5860	nein
7	AB 11S	D/AAA	-0,0110	0,2810	nein	-0,0063	0,3802	nein
8	AB 11S	F/FAA	0,0020	0,7286	nein	0,0020	0,7286	nein
9	AB 11S	D/FFA	-0,0140	0,1475	nein	-0,0094	0,0571	nein
10	AB 11S	D/AAF	-0,0180	0,1635	nein	-0,0129	0,2355	nein
11	AB 11S	D/AFF	-0,0190	0,1334	nein	-0,0156	0,2227	nein
12	AB 11S	D/FFF	-0,0180	0,0098	ja	-0,0169	0,0359	ja
13	AB 8	D/AA	0,0000	1,0000	nein	0,0020	0,7723	nein
14	AB 8	F/FA	-0,0090	0,2007	nein	-0,0109	0,2211	nein
15	AB 8	D/AF	-0,0100	0,2298	nein	-0,0100	0,2298	nein
16	AB 8	F/FF	-0,0200	0,0405	ja	-0,0200	0,1181	nein
17	SMA 8	D/EE	-0,0230	0,0250	ja	-0,0220	0,0865	nein
18	SMA 5	D/E	-0,0170	0,0539	nein	-0,0151	0,1339	nein
19	AB 11S	D/EEE	-0,0080	0,2278	nein	-0,0046	0,0438	ja
20	AB 8	D/EE	-0,0170	0,0206	ja	-0,0160	0,0718	nein
21	AB 5	D/E	-0,0080	0,2278	nein	-0,0046	0,0438	ja

Die Tabelle weist bei der Einzelbetrachtung 5/21 signifikante Fälle, bei Betrachtung aller 21 Fälle im Block 4/21 Signifikanzen aus. Dabei sind lediglich zwei Felder, nämlich Feld 02 und Feld 12 gleichermaßen betroffen. Gemeinsames Merkmal dieser beiden Felder ist ihre Kom-

zusammensetzung aus den Mineralstoffgruppen D/F/F/F. Ansonsten betreffen die signifikanten Felder immer solche (aber nicht alle) mit den Mineralstoffkomponenten F (Dolomit) oder E (Basalt) in den jeweiligen Splittfraktionen. Nur bei diesen Feldern hat demnach eine nachweisbare Verringerung der Griffigkeit stattgefunden.

Da in fast allen Feldern zwischen den beiden ersten Jahren eine deutlichere Abnahme der Griffigkeit zu beobachten ist als im weiteren Verlauf, wurde auch ein logarithmischer Zusammenhang geprüft. Generell ergeben sich dadurch erwartungsgemäß mehr signifikante Regressionen als bei dem linearen Ansatz, aber auch hierbei stellen sich Unterschiede zwischen Block- und Einzelbetrachtung der Felder ein. Die entsprechenden Daten sind in **Tabelle 4.7** wiedergegeben.

Bei Einzelbetrachtung der Felder erweisen sich 6/21 Fälle als signifikant, bei gemeinsamer Auswertung ergeben sich 7/21 signifikante Fälle. Mit einer Ausnahme handelt es sich auch hier um solche mit den Mineralstoffkomponenten F oder E in den Splittfraktionen. Die Ausnahme AB11S besteht in der größten Fraktion aus dem Material A (Grauwacke), sonst aus dem Material F. Vier der jeweiligen Fälle treten in beiden Kollektiven auf, der Ausnahmefall ist nicht dabei.

Im einzelnen läßt sich aus hiesiger Sicht zum Griffigkeitsverlauf und den eingetretenen Veränderungen im Hinblick auf die gewählten Parametervariationen folgendes anmerken:

1. Versuchsfelder 1 bis 6: Splittmastixasphalt 0/11S mit Splitten unterschiedlicher Polierresistenz (Anlage 3, S.2 oben)

Die gemessenen Verlaufskurven zeigen eine Aufweitung der Spanne von anfangs etwa 0,1 auf etwa 0,2 auf. Dies ist augenscheinlich im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die Felder 5 und 6 praktisch keine Veränderung erfahren haben, also auf dem bei der Herbst-Messung SRM_92H festgestellten hohen Niveau zwischen 0,50 und 0,55 verharrten, und im Feld 2 die beschriebene signifikante Verringerung von 0,43 auf 0,35 eingetreten ist. Die drei bzw. vier übrigen Felder bewegen sich nach Überwindung der hohen Werte der Messung SRM_92H praktisch unverändert im Bereich zwischen 0,40 und 0,45. Ein Unterschied zwischen den Feldern 5 und 5a ist nicht vorhanden.

Die Rangfolge der 96er Werte stimmt mit der Reihung des PSV-Wertes und, mit Ausnahme des überraschend hohen Wertes des Materials B, auch mit der Rangfolge des Polierwiderstandes PWS⁷ überein.

⁷ PWS ist die Abkürzung für den Polierwert Wehner/Schulze

Tabelle 4.7: Statistische Auswertung des Verlaufs der mit dem Stuttgarter Reibungsmesser der TU Berlin in den Jahren 1992 bis 1996 gemessenen Griffigkeitswerte unter Ansatz eines logarithmisch-linearen Zusammenhangs

Feld Nr.	Mischgutart	Mineralstoffgemisch Sd / Spl. 2/5 Spl. 5/8 Spl. 8/11	Statistische Kenngrößen und Bewertung					
			Betrachtung der Einzelfelder			Betrachtung aller Felder als Gruppe		
			Steigung	Irrtumswahrscheinlichkeit	Signifikanz	Steigung	Irrtumswahrscheinlichkeit	Signifikanz
1	SMA 11S	D/EEE	-0,0545	0,0525	nein	-0,0434	0,0506	nein
2	SMA 11S	D/FFF	-0,0618	0,0277	ja	-0,0512	0,0062	ja
3	SMA 11S	D/AAA	0,0120	0,4421	nein	0,0194	0,2295	nein
4	SMA 11S	D/CCC	-0,0471	0,0870	nein	-0,0386	0,1804	nein
5	SMA 11S	D/DDD	-0,0452	0,0506	nein	-0,0380	0,1020	nein
6	SMA 11S	D/BBB	-0,0164	0,1998	nein	-0,0129	0,3786	nein
7	AB 11S	D/AAA	-0,0319	0,1843	nein	-0,0202	0,2073	nein
8	AB 11S	F/FAA	0,0019	0,8977	nein	0,0019	0,8977	nein
9	AB 11S	D/FFA	-0,0367	0,1144	nein	-0,0250	0,0043	ja
10	AB 11S	D/AAF	-0,0505	0,0892	nein	-0,0380	0,1020	nein
11	AB 11S	D/AFF	-0,0529	0,0659	nein	-0,0423	0,1021	nein
12	AB 11S	D/FFF	-0,0463	0,0009	ja	-0,0439	0,0007	ja
13	AB 8	D/AA	-0,0048	0,7456	nein	-0,0002	0,9918	nein
14	AB 8	F/FA	-0,0260	0,1074	nein	-0,0318	0,0916	nein
15	AB 8	D/AF	-0,0264	0,1896	nein	-0,0264	0,1896	nein
16	AB 8	F/FF	-0,0539	0,0069	ja	-0,0550	0,0341	ja
17	SMA 8	D/EE	-0,0588	0,0137	ja	-0,0569	0,0591	nein
18	SMA 5	D/E	-0,0457	0,0168	ja	-0,0416	0,0523	nein
19	AB 11S	D/EEE	-0,0206	0,2066	nein	-0,0116	0,0332	ja
20	AB 8	D/EE	-0,0447	0,0022	ja	-0,0428	0,0126	ja
21	AB 5	D/E	-0,0206	0,2066	nein	-0,0116	0,0332	ja

2. Versuchsfelder 7 bis 12: Asphaltbeton 0/11S mit wechselnden Splittfraktionen unterschiedlicher Polierresistenz (Anlage 3, S.2 unten)

Die Verlaufskurven zeichnen im Beobachtungszeitraum ein etwa gleich breites Band, bei welchem unter zurückhaltender Bewertung des 95er Tiefpunktes bei Feld 12 mit dem Material F eine stetig und - nachgewiesenermaßen - signifikant fallende Griffigkeitslinie registriert werden kann. Die vier bzw. fünf übrigen Felder bewegen sich nach Überwindung der hohen Werte der Messung SRM_92H praktisch unverändert im Bereich zwischen 0,45 und 0,50, wobei der höhere Wert stets vom Gemisch mit dem Splittmaterial A eingenommen wird. Die Felder 8a bis 11, bei denen die Materialien A und F in den Splittfraktionen permutationsartig getauscht worden sind, befinden sich bei der Messung SRM_96 in einem Bereich von 0,45 bis 0,47, dessen Spanne eher auf zufällige als auf technisch bedingte Unterschiede schließen läßt.

Dies läßt, außer der Erkenntnis, daß die Griffigkeit von Mischkörnungen zwischen den Griffigkeitswerten der Einsatzkörnungen liegt, noch keinen Rückschluß auf den mindenden oder begünstigenden Einfluß bestimmter Kornfraktionen auf den Gesamtwert zu.

Auffällig ist der Unterschied zwischen den beiden Teilflächen im Feld 8, der sich über den ganzen Meßzeitraum hinzieht, dabei aber in den letzten Meßjahren konstant bleibt, obwohl bei beiden Teilflächen eine leichte tendenzielle Steigerung der Griffigkeitswerte beobachtet werden kann.

3. Versuchsfelder 13 bis 16: Asphaltbeton 0/8 S mit wechselnden Splittfraktionen unterschiedlicher Polierresistenz (Anlage 3, S.3 oben)

In dieser Feldergruppe können, wenn Feld 7 einbezogen wird, zwei verschiedene Einflüsse untersucht werden. Der Vergleich der Felder 7 und 13 erlaubt – ähnlich wie die Felder 19 und 20 - eine Abschätzung des Einflusses des Größtkorns; die Felder 13 bis 16 berücksichtigen die Einflüsse ausgetauschter Splittfraktionen und der Sandart.

Die Griffigkeitskurven der Felder 7 und 13 laufen mit Ausnahme der Messung SRM_95 unter Kreuzung der Rangfolge zwischen 93 und 94 nebeneinander wie Gleise. Die Rangfolge und der Unterschied im Meßbetrag dürften zufällig sein. Auch unter vorgezogener Einbeziehung der Felder 19 und 20 läßt sich bei Asphaltbeton bis zum Ende des Meßzeitraums noch kein Einfluß des Größtkorns ableiten.

Bezüglich der Verwendung unterschiedlich polierresistenter Splittmaterialien lassen sich dagegen Aussagen formulieren, wobei einschränkend anzumerken ist, daß der in der Tendenz erkennbare Unterschied zwischen den 96er Messungen bei den Feldern 13

(Splitt AA) und 15 (Splitt AF) durch wenigstens eine weitere Messung belegt werden müßte.

Deutlich sind dagegen die Niveauunterschiede zwischen den beiden Gemischen mit Sand F (Dolomit) einerseits (Felder 14 und 16) und den Gemischen mit Sand D (Diabas) andererseits. Feld 16 weist dabei eine signifikante Griffigkeitsminderung auf, während Feld 14, ähnlich wie fast alle anderen Felder, nach Überwindung des Hochpunktes 92H, praktisch unverändert geblieben ist. Als begünstigender Einfluß darf hier der Einsatz des Splittes A in der Fraktion 5/8 vermutet werden.

4. Versuchsfelder mit gleichen Splittmaterialien, aber unterschiedlichem Größtkorn (Anlage 3, S.3 unten und S.4 oben)

Diese Varianten werden für die Asphaltart Splittmastixasphalt von den Versuchsfeldern 1-17-18, für die Asphaltart Asphaltbeton von den Versuchsfeldern 19-20-21 repräsentiert.

Die Felder mit Asphaltbeton liegen bei tendenziell leichtem Griffigkeitsverlust und im Laufe der Jahre mehrfach wechselnder Rangfolge eng beieinander und lassen keine größtkornbezogene Differenzierung erkennen.

Die Felder mit Splittmastixasphalt zeigen diesbezüglich ein anderes Bild. Die Rangfolge fallender Griffigkeit der Felder Nr. 18 (0/5) – Nr. 17 (0/8) – Nr. 1 (0/11) ist bei allen Messungen zu beobachten und läßt daher auf einen systematischen Einfluß schließen. Wegen der schwankenden Spanne ist aber eine konkrete Angabe der Unterschiedsbeträge zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

Mangels einer analogen Untersuchung mit anderen, z.B. polierresistenteren Materialien, ist eine Übertragung der vorgenannten Beobachtungen auf andere Mineralstoffe nicht zulässig.

Zusammenfassend läßt sich aus den Beobachtungen entnehmen, daß nach den SRM-Messungen der TU Berlin im Untersuchungszeitraum 92-96

- das Griffigkeitsniveau im wesentlichen von der Polierresistenz der eingesetzten Splitte geprägt wird
- lediglich bei den erwartungsgemäß leichter polierbaren Mineralstoffen E und F ein signifikanter Verlauf in Verbindung mit einer Verringerung der Griffigkeit aufgetreten ist
- bei Asphaltbetonen zumindest in den ersten Jahren auch ein deutlicher Einfluß der Polierresistenz des Sandmaterials zu konstatieren ist
- bei Asphaltbetonen praktisch kein Einfluß des Größtkorns erkennbar ist

- der gemeinsame Einsatz unterschiedlich polierresistenter Materialien im Splittbereich zu „gemischten“ Griffigkeitswerten führt, wobei eine Verwendung in einer bestimmten Splittfraktion nicht favorisiert werden kann.

Eine Prüfung des Unterschiedes im Griffigkeitsniveau der beiden Jahre 1992 und 1996 wird im folgenden Abschnitt bei gleichzeitigem Vergleich mit den mit SCRIM gemessenen Werten vorgenommen.

4.1.5.2 Messungen mit dem Meßfahrzeug SCRIM

Aus dem Meßzeitraum 92/96, der zuvor bezüglich der SRM-Messungen diskutiert worden ist, liegen nur zwei SCRIM-Meßwert-Kollektive aus den Jahren 1992 und 1996 vor. Eine Betrachtung des Griffigkeitsverlaufes in diesem Zeitraum ist daher nicht möglich. Zum Vergleich der Ergebnismittelwerte der Jahre 1992 und 1996 wird daher ein einfacher Mittelwertvergleich durchgeführt, bei welchem die Überlappung der 95%-Vertrauensbereiche der Mittelwerte Übereinstimmung, Abstände dagegen signifikante Differenz belegen. Den analogen Beweis liefert der Vergleich von Prüfgröße und Schwellenwert der t-Verteilung, wonach bei einem größeren Wert der Prüfgröße die Hypothese „Übereinstimmung der Meßreihen“ verworfen werden muß. Im einzelnen ergeben sich die Werte gemäß **Tabelle 4.8**:

Tabelle 4.8: Vergleich der Ergebnisse der Griffigkeits-Messungen 1992 und 1996

Meßverfahren	95%-Vertrauensbereich Mittelwerte 1996	95%-Vertrauensbereich Mittelwerte 1992	Prüfgröße t^*	Schwellenwert t
SRM	0,420 bis 0,465	0,472 bis 0,507	7,40	2,069
SCRIM	0,466 bis 0,540	0,480 bis 0,539	1,18	2,086

Die Tabelle zeigt bei den SRM-Daten eine signifikante Differenz der beiden verglichenen Jahre, was im Mittel die bereits getroffene Feststellung bestätigt, während bei der SCRIM-Messung kein Unterschied festzustellen ist, d.h. die Unterschiede sind zufällig zustande gekommen.

Die Feststellung der Zufälligkeit der Ergebnisunterschiede zwischen den SCRIM-Messungen der Jahre 1992 und 1996 ließe erwarten, daß auch innerhalb eines weiteren Jahres, also zwischen 1996 und 1997, ebenfalls keine belegbaren Unterschiede auftreten würden. Die Antwort auf diese Frage gibt die Zusammenstellung der **Tabelle 4.9**, in der alle möglichen Mittelwertvergleiche zwischen den SCRIM-Messungen aufgeführt sind. Einschränkung ist dazu festzuhalten, daß die Betrachtung der Mittelwerte eine Betrachtung des mittleren Griffigkeitsniveaus aller Felder bedeutet. Eine Bewertung der einzelnen Felder ist damit nicht verbunden.

Tabelle 4.9: Vergleich der Ergebnisse der SCRIM-Messungen (Schwellenwert $t = 2,086$)

Vergleich zw. Jahren		Mittelwerte		Prüfgröße	Konsequenz
1992	1996	0,5105	0,4990	1,18	1992 = 1996
	1997		0,4348	8,10	1992 > 1997
	1998		0,4510	6,02	1992 > 1998
1996	1997	0,4990	0,4348	8,48	1996 > 1997
	1998		0,4510	9,70	1996 > 1998
1997	1998	0,4348	0,4510	1,82	1997 = 1998

Durch die Zahlenvergleiche der Tabelle wird zunächst die bereits bekannte Gleichheit von SCRIM_92 und SCRIM_96 bestätigt, aber auch festgestellt, daß SCRIM_92 größer ist als SCRIM_97 und SCRIM_98. Die Differenz zwischen 1996 und 1997 läßt aber wegen der oben geäußerten Vermutung nicht nur auf tatsächliche Unterschiede der Griffigkeit, sondern auch auf Unterschiede des Meßsystems oder der Messung als solcher schließen. In der Tat wurden die Messungen im Jahre 1997 mit einem anderen Meßfahrzeug als in den Vorjahren durchgeführt. Die weiteren Konsequenzen des Vergleichs können der Tabelle entnommen werden, aus der sich insgesamt folgende Feststellung ergibt:

$$\text{SCRIM}_{92} = \text{SCRIM}_{96} > \text{SCRIM}_{97} = \text{SCRIM}_{98}.$$

Die Betrachtung der grafischen Darstellungen der SCRIM-Messungen in **Anlage 4a** führt generell zu der Mutmaßung, daß die Messung SCRIM_97 „nicht in das Bild paßt“. Dagegen erscheint der Gesamtverlauf von 1992 über 1996 zu 1998, insbesondere bei Beachtung des Umstandes, daß die Messung 1996 im Frühsommer stattgefunden hat und dadurch jahreszeitbedingt möglicherweise etwas höher ausgefallen ist, plausibel. Diese Beobachtung und der Umstand, daß die 97er Messung mit einem anderen Gerät durchgeführt worden ist, begründen bei den nachfolgenden Betrachtungen die Nichteinbeziehung dieser Meßreihe, was in den **Anlagen 2b** auch grafisch berücksichtigt worden ist. Auf die Gründe für das Zustandekommen dieser Meßergebnisse wird hier nicht eingegangen.

Die Nichtberücksichtigung der Meßreihe SCRIM_97 führt vor dem Hintergrund der o.a. logischen Gleichung zu der Feststellung, daß in den Jahren 2 bis 5 nach dem Einbau keine, in den Jahren 5 bis 7 dagegen eine Verringerung des Griffigkeitsniveaus stattgefunden hat. Diese Feststellung entspricht weder dem erfahrungsgemäßen Verhalten einer Fahrbahnoberfläche noch dem nachweislich und physikalisch sinnvollen Ansatz einer nach einem logarithmischen Gesetz veränderlichen Griffigkeit. Danach wäre eine Vertauschung der logischen Symbole gemäß der folgenden Gleichung plausibler:

$$\text{SCRIM}_{92} > \text{SCRIM}_{96} = \text{SCRIM}_{98}.$$

Die folgenden statistischen Betrachtungen versuchen, den Widerspruch aufzulösen. In **Bild 4.3** sind die Ergebnisse der SCRIM-Messungen der Jahre 1996 und 1998 unter Angabe der Regressionsgleichung und des Bestimmtheitsmaßes einander gegenübergestellt.

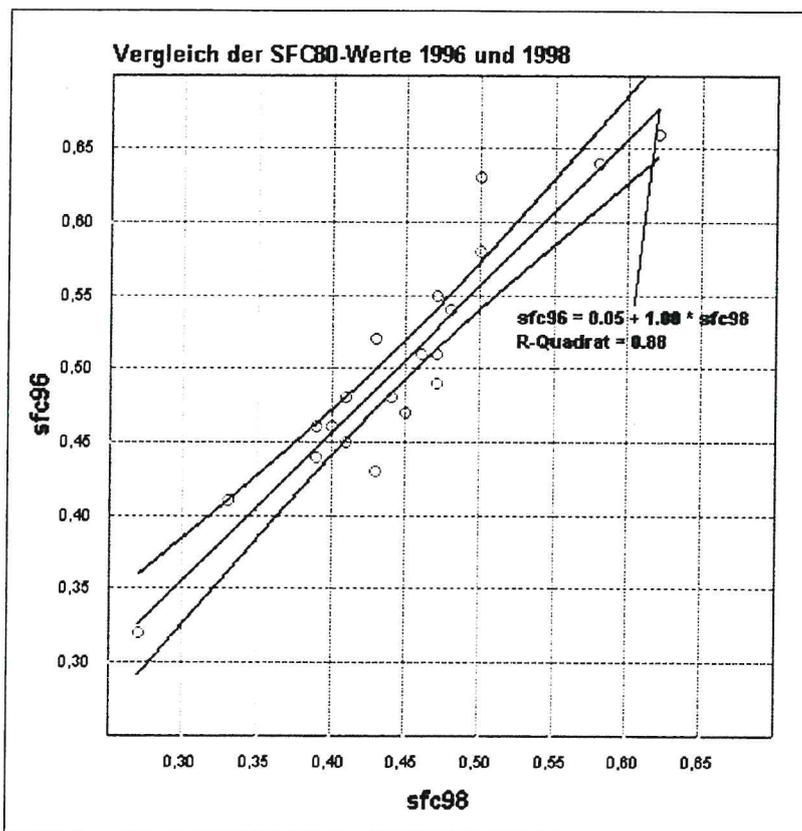


Bild 4.3 Vergleich der SCRIM-Messungen der Jahre 1996 und 1998

Die Regressionsgleichung sagt aus, daß die Meßergebnisse auf einer unter einem Winkel von 45° verlaufenden Linie liegen und somit die Griffigkeit der einzelnen Abschnitte in gleichem Maße spreizen. Die Regression belegt aber auch, daß die 96er Werte um einem mittleren Betrag von 0,05 Einheiten höher sind als die 98er Zahlen. Unter Berücksichtigung einer mittleren jährlichen Griffigkeitsverminderung von etwa 0,01 Einheiten, wie sie sich aus dem Mittelwert der Geradensteigungen der Tabelle 4.12 abschätzen läßt, würde sich ein verbleibender Unterschiedsbetrag von 0,03 Einheiten ergeben, um den die 96er Werte größer sind als die im Jahre 1998 festgestellten Zahlen. Dieser Betrag entspricht größenordnungsmäßig dem Erfahrungswert für die jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Griffigkeit. Da vorliegend die 96er Messung im Mai, die 98er Messung im Oktober stattgefunden

den hat, spricht die Wahrscheinlichkeit in hohem Maße dafür, daß die unterschiedlichen Meßzeitpunkte zu einem wesentlichen Teil des Unterschiedsbetrages beigetragen haben. Da die jährlichen Veränderungen in der angeführten Größenordnung allerdings nicht durchgängig signifikant sind, läßt sich die Hypothese der Gleichheit der 96er und 98er Griffigkeitszustände nicht verwerfen.

Diese Problematik wurde bereits bei der Erläuterung und Verifizierung der PGM-Messungen aufgegriffen. Dort ergab sich zwischen den Meßwerten PGM800 der Jahre 1996 und 1998 keine Veränderung.

Auf der Basis der Darstellungen der Anlage 4b läßt sich in Analogie zu den Anmerkungen zum SRM-Verlauf aus hiesiger Sicht zum Griffigkeitsverlauf SFC und den eingetretenen Veränderungen im Hinblick auf die gewählten Parametervariationen folgendes anmerken:

1. Versuchsfelder 1 bis 6: Splittmastixasphalt 0/11S mit Splitten unterschiedlicher Polierresistenz (Anlage 4b, S.2 oben)

Die SCRIM-Werte 96 spreizen das Griffigkeitsband auf höherem Niveau (0,43 – 0,66 gegenüber 0,35 – 0,54) in geringem Maße (0,23 gegenüber 0,19) weiter auf als bei den entsprechenden SRM-Werten, was sich bis 1998 bei weiter sinkenden Werten nur wenig ändert (0,41 – 0,62).

Zwischen 1996 und 1998 vertauscht sich bei allerdings geringem Wertunterschied die Rangfolge zwischen den Feldern 1 (Splitt E - Basalt) und 2 (Splitt F - Dolomit). Die gesamte Rangfolge stimmt daher signifikant nicht mit dem PSV-Ranking überein (**Tabelle 4.10 und 4.11**). Dies trifft nach diesem Test allerdings auch für die SRM-Messung zu. Daraus ist zu entnehmen, daß die Griffigkeitszustände nach wie vor einem Wandel unterliegen, bevor sie sich ihrem Endzustand nähern. Daraus könnte aber auch der Schluß gezogen werden, daß der PSV-Wert die Griffigkeitsentwicklung nicht praxisgerecht prognostiziert.

Tabelle 4.10: Rangfolgenvergleich verschiedener Polier- und Griffigkeitsmessungen

Polierwert PWS	Polierwert PSV	SRM80_96	SFC80_96	SFC80_98
A	A	A	B	B
D	D	B	A	A
B	B	D	D	D
E	E	E	C	C
C	C	C	E	F
F	F	F	F	E

Tabelle 4.11: Rangfolgetest nach Pearson zwischen PSV- und SRM- bzw. SCRIM-Ergebnissen

Korrelationen

		PSV	SRM96	SFC96	SFC98
PSV	Korrelation nach Pearson				
	Signifikanz (2-seitig)				
	N				
SRM96	Korrelation nach Pearson	,771			
	Signifikanz (2-seitig)	,072			
	N	6			
SFC96	Korrelation nach Pearson	,371	,714		
	Signifikanz (2-seitig)	,468	,111		
	N	6	6		
SFC98	Korrelation nach Pearson	,200	,543	,943**	
	Signifikanz (2-seitig)	,704	,266	,005	
	N	6	6	6	

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

2. Versuchsfelder 7 bis 12: Asphaltbeton 0/11S mit wechselnden Splittfraktionen unterschiedlicher Polierresistenz (Anlage 4b, S.2 unten)

Die zahlenmäßigen Veränderungen zum Meßjahr 1998 wurden bereits als signifikant belegt. Die gesamte Bandbreite hat sich von 1992 auf 1998 praktisch nicht geändert. Das Griffigkeitsniveau ist im Schnitt jährlich um etwa 0,01 Einheiten gesunken.

Das Band wird erwartungsgemäß von den Varianten 7 (AAA - Grauwacke) mit SFC80 = 0,50 und 12 (FFF - Dolomit) mit SFC80 = 0,36 begrenzt. Dazwischen stellt sich mit fallenden Werten eine plausible Reihung der Felder mit einer und zwei Fraktionen des Materials F ein. Überraschend ist dabei allerdings, daß sich die Felder 8a, 10 und 9 nur geringfügig unterscheiden und daß sich der Einsatz des Sandes F in Feld 8a im Griffigkeitsergebnis im Vergleich nicht bemerkbar macht.

Wie bei der SRM-Messung stellt sich auch bei SCRIM eine Differenzierung zwischen den Teilflächen des Feldes 8 (ein Teil ohne, ein Teil mit Splittabstreuerung) heraus.

3. Versuchsfelder 13 bis 16: Asphaltbeton 0/8 S mit wechselnden Splittfraktionen unterschiedlicher Polierresistenz (Anlage 4b, S.3 oben)

In dieser Feldergruppe können, wenn Feld 7 einbezogen wird, zwei verschiedene Einflüsse untersucht werden. Der Vergleich der Felder 7 und 13 erlaubt – ähnlich wie die Felder 19 und 20 - eine Abschätzung des Einflusses des Größtkorns; die Felder 13 bis 16 berücksichtigen die Einflüsse ausgetauschter Splittfraktionen und der Sandart.

Auch hier hat sich die Bandbreite seit 1992 fast nicht verändert. Die Verminderung der Griffigkeit beträgt durchschnittlich etwa 0,015 Einheiten pro Jahr. Erwartungsgemäß wird auch hier die obere Grenze von den Gemischen mit den Splitten A eingenommen, wobei kein Unterschied zwischen den variierten maximalen Korngrößen besteht. Eine gleiche Griffigkeit weisen auch die beiden Felder der Splittkombinationen AF und FA auf, wobei sich die Verwendung des Sandes F bisher noch nicht negativ auf den Reibwert auswirkt.

Erwartungsgemäß fällt in dieser Gruppe das vollständig aus dem Material F bestehende Gemisch in Feld 16 auf, welches mit einem Wert von 0,27 insgesamt den Negativrekord der gemessenen Griffigkeitswerte hält.

4. Versuchsfelder mit gleichen Splittmaterialien, aber unterschiedlichem Größtkorn (Anlage 4b, S.3 unten und S.4 oben)

Diese Varianten werden für die Asphaltart Splittmastixasphalt von den Versuchsfeldern 1-17-18, für die Asphaltart Asphaltbeton von den Versuchsfeldern 19-20-21 repräsentiert.

Die Felder mit Asphaltbeton liegen bei leichtem Griffigkeitsverlust seit 1996 und teilweise wechselnder Rangfolge relativ eng beieinander und lassen im Gegensatz zur Anfangsmessung im Jahre 1992 keine größtkornbezogene Differenzierung erkennen.

Die Felder mit Splittmastixasphalt zeigen diesbezüglich ein anderes Bild. Die Rangfolge fallender Griffigkeit der Felder Nr. 18 (0/5) – Nr. 17 (0/8) – Nr. 1 (0/11) ist bei allen Messungen zu beobachten und läßt daher auf einen systematischen Einfluß schließen. Ein Unterschied zwischen den Felder 18 und 18a ist dagegen praktisch nicht mehr zu erkennen. Die unterschiedliche Art des Abstumpfungsmaterials hat sich erwartungsgemäß langfristig nicht ausgewirkt. Dies gilt jedoch möglicherweise nicht für die Anfangsgriffigkeit, bei der ein höherer Wert des Feldes 18a die Abstumpfung mit der Körnung 1/3 mm günstiger erscheinen läßt.

Mangels einer analogen Untersuchung mit anderen, z.B. polierresistenteren Materialien, ist aber eine Übertragung der vorgenannten Beobachtungen auf andere Mineralstoffe nicht zulässig.

Zusammenfassend läßt sich aus den Beobachtungen entnehmen, daß nach den vorliegenden SCRIM-Messungen aus dem Untersuchungszeitraum 92-98

- der Griffigkeitsverlauf und das Griffigkeitsniveau nicht nur von der Polierresistenz der eingesetzten Splitte geprägt werden

- lediglich bei Mischungen, in denen die erwartungsgemäß leichter polierbaren Mineralstoffe E und F eingesetzt worden sind, in drei Fällen ein signifikanter Verlauf in Verbindung mit einer Verringerung der Griffigkeit aufgetreten ist (s. **Tabelle 4.12**). Ein logarithmischer Ansatz führt hier zu demselben Ergebnis.
- bei auch bei Asphaltbetonen kein deutlicher Einfluß der Polierresistenz des Sandmaterials zu konstatieren ist
- bei Asphaltbetonen praktisch kein Einfluß des Größtkorns erkennbar ist
- der gemeinsame Einsatz unterschiedlich polierresistenter Materialien im Splittbereich zu „gemischten“ Griffigkeitswerten führt, wobei eine Verwendung in einer bestimmten Splittfraktion nicht favorisiert werden kann.
- der bei der Anfangsgriffigkeit feststellbare positive Einfluß einer kleineren Körnung des Abstumpfungsmaterials im Laufe der Zeit nivelliert wird.

Tabelle 4.12: Regressionsdaten SFC-Verlauf von 1992 bis 1998

Unabhängige Variable: JAHR							
Abhäng. Kurve	Rsq	FG	F	Signifikanz	b0	b1	
FELD01	LIN	,525	2	2,21	,276	27,1127	-,0134
FELD02	LIN	,567	2	2,61	,247	40,1020	-,0199
FELD03	LIN	,000	2	2,0E-04	,990	,3520	,0001
FELD04	LIN	,776	2	6,92	,119	20,4200	-,0100
FELD05	LIN	,320	2	,94	,434	14,6892	-,0071
FELD06	LIN	,183	2	,45	,572	-7,5504	,0041
FELD07	LIN	,360	2	1,12	,400	23,8513	-,0117
FELD08	LIN	,842	2	1,56	,337	28,1245	-,0139
FELD10	LIN	,574	2	2,69	,243	25,9729	-,0128
FELD11	LIN	,681	2	,27	,175	30,2460	-,0149
FELD12	LIN	,720	2	5,13	,152	40,5280	-,0201
FELD13	LIN	,386	2	1,25	,379	27,5106	-,0135
FELD14	LIN	,993	2	266,02	,004	27,6686	-,0136
FELD15	LIN	,680	2	4,24	,176	26,2508	-,0129
FELD16	LIN	,998	2	820,45	,001	46,0108	-,0229
FELD17	LIN	,944	2	33,78	,028	31,9717	-,0158
FELD18	LIN	,611	2	3,15	,218	19,5082	-,0095
FELD19	LIN	,003	2	6,8E-03	,942	-2,0295	,0012
FELD20	LIN	,013	2	,03	,884	4,7431	-,0022
FELD21	LIN	,776	2	6,91	,119	30,0081	-,0148

4.1.5.3 Vergleich der Messungen mit Stuttgarter Reibungsmesser SRM und Meßfahrzeug SCRIM

Beim Vergleich der Ergebniswerte SFC80 und SRM80 aus den Jahren 1992 und 1996 fällt auf, daß sich 18/21 SRM-Werte, aber nur 13/21 SCRIM-Werte verringert haben. Mit Hilfe eines sog. Vierfeldertests kann geprüft werden, ob dieser Unterschied generell signifikant oder verfahrensabhängig ist. Das Ergebnis ist in der folgenden **Tabelle 4.13** wiedergegeben, aus der hervorgeht, daß die Gleichheit der beiden Verfahren abgelehnt wird. Dies bedeutet, daß die in einigen Fällen beobachtete signifikante Veränderung der SRM-Griffigkeit nicht auch bei der SCRIM-Messung auftreten muß. Es läßt aber auch den Schluß zu, daß das Kollektiv SCRIM_96 einen systematischen Fehler aufweist, der vorliegend auf die im vorangegangenen Abschnitt diskutierte Frühjahrmessung zurückgeführt werden könnte.

Tabelle 4.13: Untersuchung der Veränderung der Griffigkeitswerte SRM80 und SFC80 zwischen den Jahren 1992 und 1996 mit dem Vierfeldertest

Verfahren	Veränderung (-) 92 auf 96		Summe	<i>Nullhypothese</i>	<i>Gegenhypothese</i>
	ja	nein			
SCRIM 96/92	13	8	21	Gleichheit	Unterschied
SRM 96/92	18	3	21		
Summe	31	11	42		
Prüfgröße Chi ²			3,079		
Test einseitig (gleich oder größer/kleiner)			2,706	abgelehnt	angenommen
Test zweiseitig (gleich oder ungleich)			3,841		

4.1.5.4 Folgerungen

Die Betrachtung der Verkehrsmengen weist eine relativ geringe Belastung der relevanten Streckenabschnitte aus. In Verbindung mit der Charakteristik der Trassenführung (geringe Krümmungen, keine Steigungen) lassen sich daraus die Gründe für die bisher erst relativ geringe verkehrsbedingte Polierwirkung bzw. für die Zufälligkeiten der Griffigkeitsmessungen ableiten.

Aus der Zufälligkeit der Ergebnisse der Strecke läßt sich aber auch ableiten, daß eine Verknüpfung der Polierwirkungen von Straße und Labor ebenfalls Zufallscharakter haben muß.

Für die vorliegende Forschungsarbeit bedeutet dies, daß die Zielsetzungen ggf. revidiert werden müssen.

4.2 Polierversuche im Laboratorium

Die Oberflächen der insgesamt 105 Bohrkern wurden gemäß Abschnitt 2.4 vorbereitet und gemäß Abschnitt 2.5 poliert.

Tabelle 4.14: Zusammenstellung der Kennwerte der Regressionsgleichungen für den Griffigkeitsverlauf der Bohrkernoberflächen aus der Versuchsstrecke A 70 nach labormäßiger Poliereinwirkung im PGM

Polierversuche mit PGM im Laboratorium								
Zusammenstellung der Regressionsdaten für die Funktion: $PGM800 = A0 - A1 \ln(t)$								
Feld	von.. .Betr.-	km.....bis	MG-Typ	Sd/Sp/Sp/Sp	Koeff A1	Koeff A0	Best.maß	RegrKoeff
BA-SW								
1	58.210	58.400	SMA 11S	D / E / E / E	0,0610	0,6879	0,9841	0,992
2	58.400	58.605	SMA 11S	D / F / F / F	0,0319	0,4196	0,9121	0,955
3	58.000	58.210	SMA 11S	D / A / A / A	0,0461	0,7169	0,9353	0,967
4	57.800	58.000	SMA 11S	D / C / C / C	0,0314	0,5152	0,9873	0,994
5	57.315	57.800	SMA 11S	D / D / D / D	0,0492	0,6812	0,9914	0,996
6	56.820	57.020	SMA 11S	D / B / B / B	0,0331	0,6564	0,9908	0,995
7	57.620	57.800	AB 11S	D / A / A / A	0,0391	0,7283	0,9898	0,995
8	57.470	57.620	AB 11S	F / F / A / A	0,0337	0,7306	0,9701	0,985
9	57.020	57.470	AB 11S	D / F / F / A	0,0433	0,6793	0,9761	0,988
10	56.640	56.820	AB 11S	D / A / A / F	0,0379	0,5412	0,9565	0,978
SW-BA								
11	58.590	58.810	AB 11S	D / A / F / F	0,0303	0,5018	0,9285	0,964
12	58.205	58.405	AB 11S	D / F / F / F	0,0437	0,4920	0,9695	0,985
13	57.770	57.985	AB 8	D / A / A	0,0344	0,7610	0,9846	0,992
14	57.375	58.205	AB 8	F / F / A	0,0372	0,5941	0,9602	0,980
15	57.020	57.165	AB 8	D / A / F	0,0409	0,6078	0,9817	0,991
16	56.595	56.780	AB 8	F / F / F	0,0491	0,4929	0,9310	0,965
17	57.985	58.205	SMA 8	D / E / E	0,0587	0,7189	0,9934	0,997
18	57.680	57.770	SMA 5	D / E	0,0535	0,7048	0,9765	0,988
19	58.405	58.590	AB 11S	D / E / E / E	0,0519	0,6724	0,9900	0,995
20	57.165	57.375	AB 8	D / E / E	0,0640	0,6866	0,9893	0,995
21	56.780	57.020	AB 5	D / E	0,0460	0,6568	0,9896	0,995
Minimum					0,0303	0,4196	0,9121	0,955
Maximum					0,0640	0,7610	0,9934	0,997
Mittelwert					0,0436	0,6307	0,9708	0,985

Der Poliervorgang wurde bereits nach einer Minute unterbrochen und nach der sog. Nullmessung sowie einer Drehung der Probe um 90° fortgesetzt. Wegen der anfänglich starken Veränderung der Griffigkeit wurde der Poliervorgang jeweils zu den Zeitpunkten $t = 5, 10, 15$ und 30 min nach dem Start für eine doppelte Messung und eine 90°-Drehung der Probe unterbrochen. Zwischen den beiden Messungen wurde die Oberfläche mit einer Bürste von

ggf. anhaftenden Gummitteilen gereinigt. Danach wurde der Poliervorgang in gleichmäßigen Abständen von jeweils 30 min bis zur Konstanz des PGM800-Wertes fortgesetzt.

Die zeitabhängige Auftragung des Griffigkeitsverlaufes der fünf Bohrkernoberflächen eines Feldes spiegelt die Umstände in situ wider, wo in den einzelnen Feldern sehr unterschiedlich breite Spannen der Meßwerte registriert werden mußten. Für die Bildung der mittleren

Verlaufskurve wurde daher auf die Prüfung von Ausreißern verzichtet. Die **Bilder 4.4 bis 4.6** zeigen exemplarisch die Polierergebnisse der Bohrkernoberflächen aus den Feldern 5, 10 und 17, um einen Eindruck der Zusammenhänge zu vermitteln. Auf die detaillierte Wiedergabe aller Einzelwerte wird auch hier verzichtet. Bei Bedarf können die abgespeicherten Daten im Institut eingesehen werden.

Die mittleren Verlaufskurven wurden durch eine logarithmische Funktion approximiert. Die Kurven sind in **Anlage 5** wiedergegeben. Die statistischen Daten sind in **Tabelle 4.14** zusammengestellt. Das mittlere Bestimmtheitsmaß von 0,971 läßt erkennen, daß lediglich zu etwa 3% zufällige Einflüsse vorhanden sind.

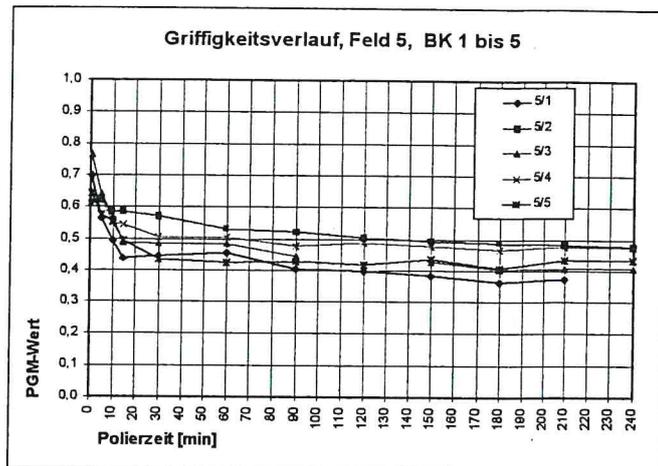


Bild 4.4 Griffigkeitsverlauf PGM der Bohrkernoberflächen des Feldes 5

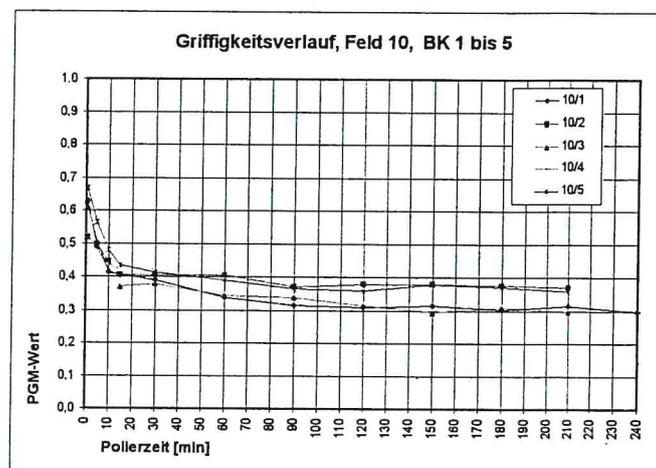


Bild 4.5 Griffigkeitsverlauf PGM der Bohrkernoberflächen des Feldes 10

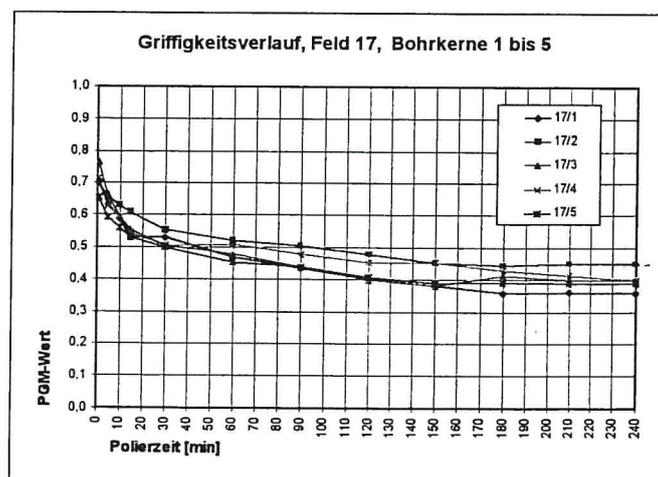


Bild 4.6 Griffigkeitsverlauf PGM der Bohrkernoberflächen des Feldes 17

4.3 Verknüpfung der Streckendaten und der Polierversuche im Laboratorium

Für die Verknüpfung der Streckendaten mit den im Laboratorium durchgeführten Polierversuchen bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an:

1. Erstellung von Regressionsskurven für den Verlauf der Griffigkeit in-situ und im Labor und rechnerische Verknüpfung der Kurven
2. Ermittlung desjenigen Zeitpunktes in der Regressionsskurve für die zeitliche Veränderung der Griffigkeit im Labor, bei welchem ein Griffigkeitszustand vorliegt, wie er zu einem definierten Zeitpunkt in situ vorhanden gewesen ist, z.B. Zustand SCRIM_96.

Die erste Möglichkeit scheitert an dem Umstand, daß nicht für alle Versuchsfelder signifikante Verlaufskurven der in-situ-Griffigkeit vorliegen. Somit verbleibt die zweite Möglichkeit, die sich, weil nur die Meßcharakteristiken von SCRIM und PGM identisch sind, auf den Vergleich dieser beiden Meßreihen beschränken muß. Somit stehen die Meßdaten der SCRIM-Messungen aus den Jahren 1996 und 1998 zur Disposition, die Meßreihe SCRIM_97 wird aus den bereits bekannten Gründen nicht berücksichtigt.

In der **Tabelle 4.15**, die eine Erweiterung der **Tabelle 4.14** ist, sind zusätzlich zu den Daten der **Tabelle 4.14** fünf Spalten mit Griffigkeitswerten und drei Spalten mit Schnittpunkten aufgeführt. Die Spalten mit Griffigkeitswerten beinhalten die beiden Meßreihen SCRIM_96 und 98 sowie die Meßreihe PGM800_96, die praktisch den labormäßig festgestellten Anlieferungszustand der Bohrkerns kennzeichnet. Da die logarithmischen Regressionsskurven des zeitabhängigen Griffigkeitsverlaufes auf der Basis der PGM-Messungen erstellt wurden, müssen die SFC-Werte nach Maßgabe der korrelativen Zusammenhänge zwischen SFC und PGM dem Maßstab der PGM-Achse angepaßt werden. Dies ist in den entsprechend gekennzeichneten Spalten geschehen. Bei der Korrektur des Wertes SFC_98 wurde zusätzlich der in Abschnitt 4.1.5.2 festgestellte Unterschied zwischen Frühjahrs- und Herbstmessung berücksichtigt.

In den Spalten „Schnittpunkte“ ist der in Minuten angegebene PGM-Polieraufwand aufgelistet, nach dem der im Spaltenkopf angegebene Griffigkeitszustand erreicht worden ist. Die Zeitpunkte wurden durch rechnerische Verknüpfung des Griffigkeitswertes und der Regressionsskurve des jeweiligen Feldes ermittelt. Das Idealergebnis dieser Auswertung hätte bei allen Feldern zum gleichen Zeitpunkt geführt. Ein solches Ergebnis war jedoch aus stochastischen Gründen und den bisherigen Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit nicht zu erwarten. Die Auswertung lieferte demzufolge ein gespreitztes Band von Zahlenwerten, unter welchen auch einige statistische Ausreißer festgestellt wurden⁸. Die Listen der Spalten

⁸ nach Merkblatt über die statistische Auswertung von Prüfergebnissen, Teil 2: Behandlung von abweichenden Meßwerten (Ausreißern), Ausgabe 1978



Tabelle 4.15:

Ermittlung der Schnittpunkte zwischen einer definierten Griffigkeitszustand der Strecke und dem vom Polieraufwand abhängigen Griffigkeitsverlauf im Laboratorium

Feld BA-SW	Angaben zum Versuchsabschnitt		Griffigkeitswerte						Koeffizient		Bestimmtheitsmaß B	Regressionskoeffizient r	Schnittpunkte der Verlaufskurve PGM [min] - ohne Ausreißer - mit			
	Betriebs-km von	MG-Typ bis	Sd/Sp/Sp/Sp	SFC_96 korrigiert	SFC_96 korrigiert	SFC_98 korrigiert	SFC_98 korrigiert	A1	A0	SFC_96			SFC_98	PGM_96	PGM_98	
1	58.210	58.400	SMA 11S	D/E/E/E	0,45	0,44	0,41	0,43	0,55	-0,0610	0,6879	0,9841	0,992	57	72	10
2	58.400	58.605	SMA 11S	D/F/F/F	0,43	0,42	0,43	0,45	0,37	-0,0319	0,4196	0,9121	0,955	1	0	5
3	58.000	58.210	SMA 11S	D/A/A/A	0,64	0,65	0,58	0,61	0,67	-0,0461	0,7169	0,9353	0,967	4	9	3
4	57.800	58.000	SMA 11S	D/C/C/C	0,47	0,46	0,45	0,47	0,49	-0,0314	0,5152	0,9873	0,994	5	4	2
5	57.315	57.800	SMA 11S	D/D/D/D	0,54	0,54	0,48	0,50	0,55	-0,0492	0,6812	0,9914	0,996	18	37	14
6	56.820	57.020	SMA 11S	D/B/B/B	0,66	0,67	0,62	0,66	0,63	-0,0331	0,6564	0,9908	0,995	1	1	2
7	57.620	57.800	AB 11S	D/A/A/A	0,58	0,58	0,50	0,53	0,64	-0,0391	0,7283	0,9898	0,995	41	178	10
8	57.470	57.620	AB 11S	F/F/A/A	0,52	0,52	0,48	0,50	0,62	-0,0337	0,7306	0,9701	0,985			27
9	57.020	57.470	AB 11S	D/F/F/A	0,51	0,51	0,46	0,48	0,58	-0,0433	0,6793	0,9761	0,988	54	95	10
10	56.640	56.820	AB 11S	D/A/A/F	0,51	0,51	0,47	0,49	0,47	-0,0379	0,5412	0,9565	0,978	2	4	7
SW-BA																
11	58.590	58.810	AB 11S	D/A/F/F	0,46	0,45	0,40	0,42	0,45	-0,0303	0,5018	0,9285	0,964	5	17	6
12	58.205	58.405	AB 11S	D/F/F/F	0,41	0,40	0,33	0,34	0,41	-0,0437	0,4920	0,9695	0,985	9	33	7
13	57.770	57.985	AB 8	D/A/A	0,63	0,64	0,50	0,53	0,65	-0,0344	0,7610	0,9846	0,992	36		25
14	57.375	57.570	AB 8	F/F/A	0,49	0,48	0,47	0,49	0,52	-0,0372	0,5941	0,9602	0,980	19	15	7
15	57.020	57.165	AB 8	D/A/F	0,55	0,55	0,47	0,49	0,52	-0,0409	0,6078	0,9817	0,991	4	17	9
16	56.595	56.780	AB 8	F/F/F	0,32	0,30	0,27	0,27	0,28	-0,0491	0,4929	0,9310	0,965	52	87	
17	57.985	58.205	SMA 8	D/E/E	0,48	0,47	0,44	0,46	0,50	-0,0587	0,7189	0,9934	0,997	65	82	42
18	57.680	57.770	SMA 5	D/E	0,54	0,54	0,48	0,50	0,47	-0,0535	0,7048	0,9765	0,988	22	43	
19	58.405	58.590	AB 11S	D/E/E/E	0,44	0,43	0,39	0,41	0,52	-0,0519	0,6724	0,9900	0,995	107	172	19
20	57.165	57.375	AB 8	D/E/E	0,48	0,47	0,41	0,43	0,50	-0,0640	0,6866	0,9893	0,995	28	58	18
21	56.780	57.020	AB 5	D/E	0,46	0,45	0,39	0,41	0,47	-0,0460	0,6568	0,9896	0,995	86	237	58
										Mittel				30,8	61,1	14,7
										Standardabweichung				30,8	68,1	14,6
										Vertrauensbereich unten				16,4	28,2	7,6
										Vertrauensbereich oben				45,2	93,9	21,7

Die Korrektur erfolgte zur Anpassung der SFC-Daten an die PGM-Skala entsprechend der Regressionsgleichungen PGM = 1,0955 SFC_96 - 0,052 bzw. 1,0955 SFC_98 - 0,022

„Schnittpunkte“ weisen daher wegen der Eliminierung der Ausreißer einige Lücken auf, dennoch sind bei allen drei Kolonnen noch teilweise große Spannen zu registrieren:

$$1 \leq \text{SFC}_{96} \leq 107$$

$$0 \leq \text{SFC}_{98} \leq 237$$

$$2 \leq \text{PGM}_{96} \leq 58$$

Die Spannweiten der beiden SFC-Kolonnen sind trotz der Ausreißerbereinigung noch deutlich größer als bei der PGM-Reihe. Dies ist ein Teilergebnis, das vor dem Hintergrund der Uneinheitlichkeit der SFC-Verläufe in situ nicht überrascht. Es bestätigt auch die erheblichen Zufallseinflüsse, die bei der Erhebung der Griffigkeitsdaten mitgewirkt haben. Bei der unter Laborbedingungen durchgeführten PGM-Messung konnten zumindest witterungs- und verkehrsbedingte Zufallseinflüsse ausgeschaltet werden, was bei dieser Kolonne zu einer deutlichen Verringerung der Spanne führte.

Die großen Spannen führen in allen drei Fällen dazu, daß die Standardabweichungen in der Größenordnung des Mittelwertes liegen, weshalb der aus Standardabweichung und t-Verteilung ($\alpha = 5\%$) errechnete Vertrauensbereich des Mittelwertes aussagekräftiger ist. Die Vertrauensbereichsgrenzen sind am Fuß der Kolonnen aufgeführt.

Danach überschneiden sich die Vertrauensbereiche von PGM und SFC₉₆, was auf Gemeinsamkeiten der beiden Kollektive hindeutet. Ähnliches gilt auch für SFC₉₆ und SFC₉₈, deren Unterschiedsbeträge auch nicht in allen Fällen signifikant waren. Ein Abstand besteht dagegen zwischen den Mittelwerten von SFC₉₈ und PGM₉₆, was eine Verminderung der Griffigkeit zwischen den beiden Meßzeitpunkten zumindest andeutet.

Zusammenfassend läßt die Betrachtung der drei Spalten „Schnittpunkte“ folgende Schlußfolgerungen zu.

Eine Verknüpfung des Polieraufwandes im Laboratorium mit der polierenden Beanspruchung des Straßenverkehrs ist mit dem PGM-System grundsätzlich möglich. Die unterschiedlichen Griffigkeitsveränderungen der zur Verfügung stehenden Versuchsstrecke, bei denen die verkehrsbedingten, griffigkeitsvermindernden und die umweltbedingten, griffigkeitserhöhenden Einflüsse nicht separiert oder gar quantifiziert werden können, liefern dazu jedoch kein klares Bild. Eine Abhilfe könnte die Untersuchung unterschiedlich alter, aber aus Mineralstoffen gleicher Provenienz hergestellter Fahrbahnoberflächen mit bekannter Verkehrsbelastung schaffen.

Das Beispiel PGM₉₆, das quasi eine unter Laborbedingungen erhaltene Zustandserfassung darstellt, führt dagegen zu einem bereits ziemlich präzisen Mittelwert, der mit einem Zahlenwert von rund 15 Minuten im vorderen Bereich der ermittelten Verlaufskurven angesiedelt ist. Dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund der geometrischen und verkehrlichen

Randbedingungen der Versuchsstrecke auf der A 70 durchaus plausibel und kann daher nur für die vorliegende, relativ geringe Verkehrsbelastung der Versuchsstrecke ein Anhaltspunkt sein. Eine Übertragung auf andere Strecken mit anderen Trassierungselementen und anderen Verkehrsbeanspruchungen ist nicht zulässig.

Zur Verbesserung der Prognose der verkehrsbedingten Polierwirkung wird eine breit angelegte Erfahrungssammlung empfohlen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Bis zum Vorliegen eines solchen Erfahrungshintergrundes wird empfohlen, aus Sicherheitsgründen den im Labor feststellbaren „Endpolierwert“ als Prognosewert heranzuziehen und diesen mit dem sog. Schwellenwert zu vergleichen.

4.4 Vergleich des PGM-Endpolierwertes mit dem PSV-Wert

In Abschnitt 4.1.5.2 wurde unter Ziffer 1 festgestellt, daß die bis dato vorliegenden SCRIM- und SRM-Messungen (möglicherweise noch) nicht mit dem PSV-Ranking übereinstimmen. Dies wird hier zum Anlaß genommen, einen korrelativen Vergleich des PSV-Wertes mit verschiedenen Griffigkeitszuständen einerseits und dem PGM-Endpolierwert andererseits vorzunehmen.

Tabelle 4.16: Statistische Kennzahlen korrelativer Zusammenhänge von mit unterschiedlichen Verfahren ermittelten Griffigkeitszuständen und PSV

Abhängige Variable	Konstante	Regressionskoeffizient	Signifikanz / Bewertung	Bestimmtheitsmaß / Korrelationskoeffiz.
SRM_96	-0,0366	0,00963	0,010 signifikant	0,8398 0,916
SFC_96	-0,0605	0,01184	0,039 signifikant	0,6974 0,835
SFC_98	0,0626	0,00864	0,117 nicht signifikant	0,4992 0,707
PGM_96	-0,1570	0,01402	0,009 hoch signifikant	0,8479 0,921
PGM_END	-0,1860	0,01156	0,006 hoch signifikant	0,8789 0,937

Die untersuchten Griffigkeitszustände und die statistisch relevanten Daten gehen aus der **Tabelle 4.16** hervor, die durch lineare Regressionen gekennzeichneten Zusammenhänge sind grafisch in den **Bildern 4.7 bis 4.11** dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, daß die Beziehung zwischen PSV und SFC_98 nicht signifikant ist, während die Regressionen zwischen den PGM-Werten und PSV mit Signifikanzwerten unter 0,01 sogar als hoch signifikant bezeichnet werden können. Am besten schneidet die Korrelation zwischen PSV und PGM-Endwert ab, die demzufolge auch von dem höchsten Bestimmtheitsmaß gekennzeichnet ist.

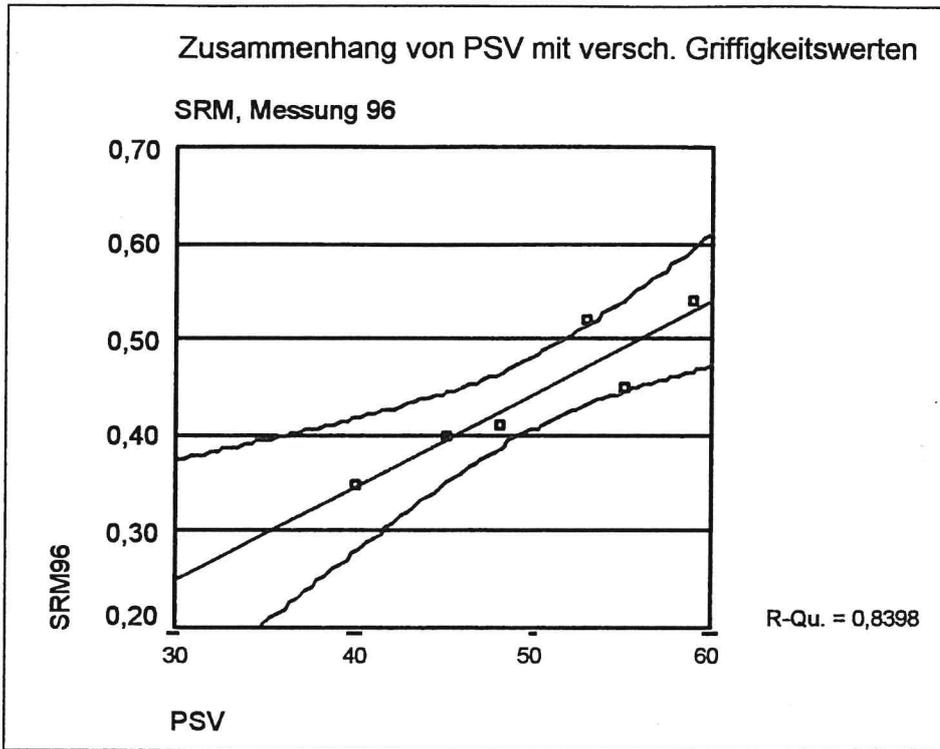


Bild 4.7

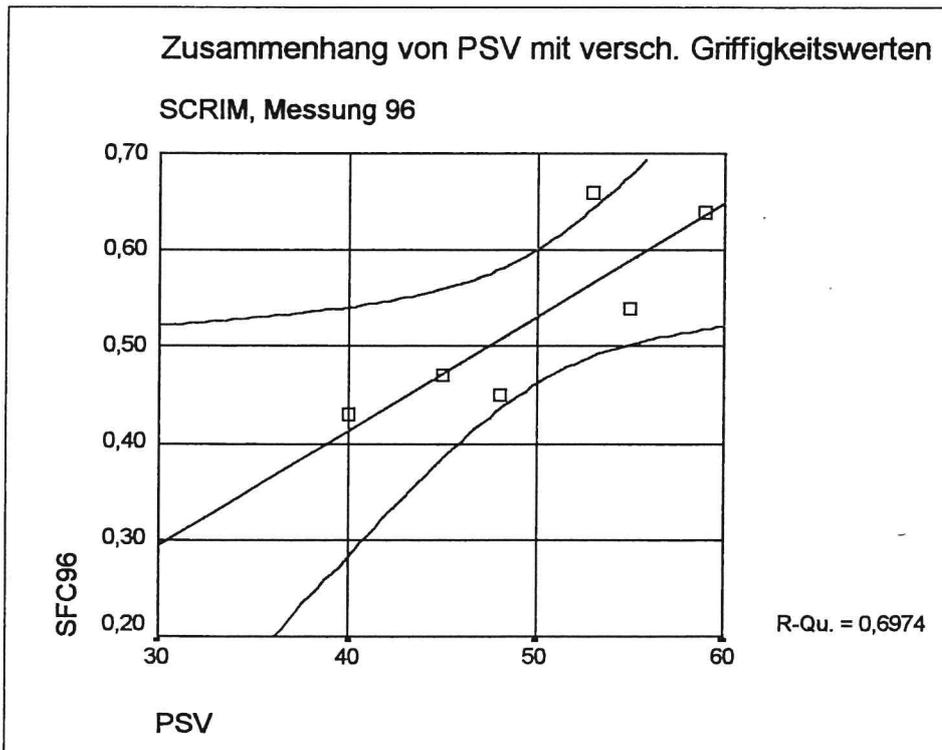


Bild 4.8

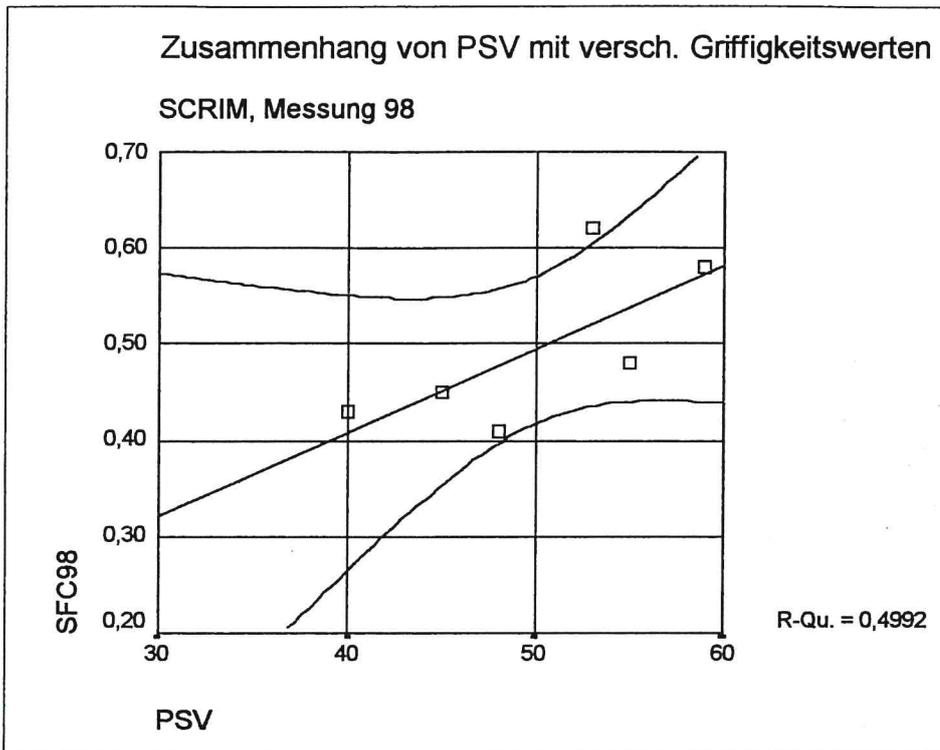


Bild 4.9

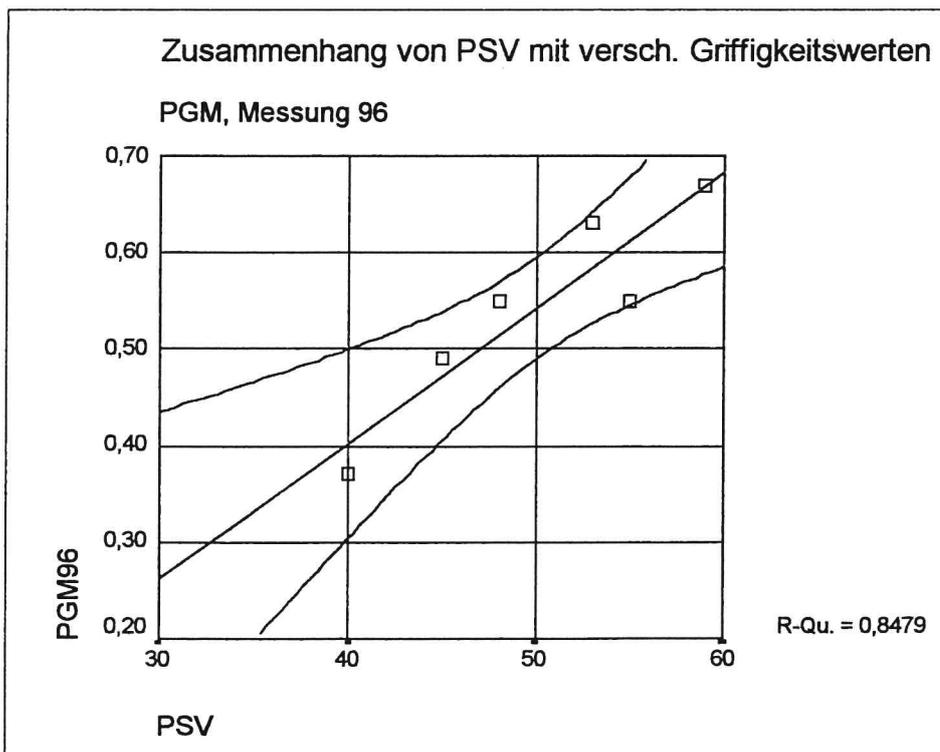
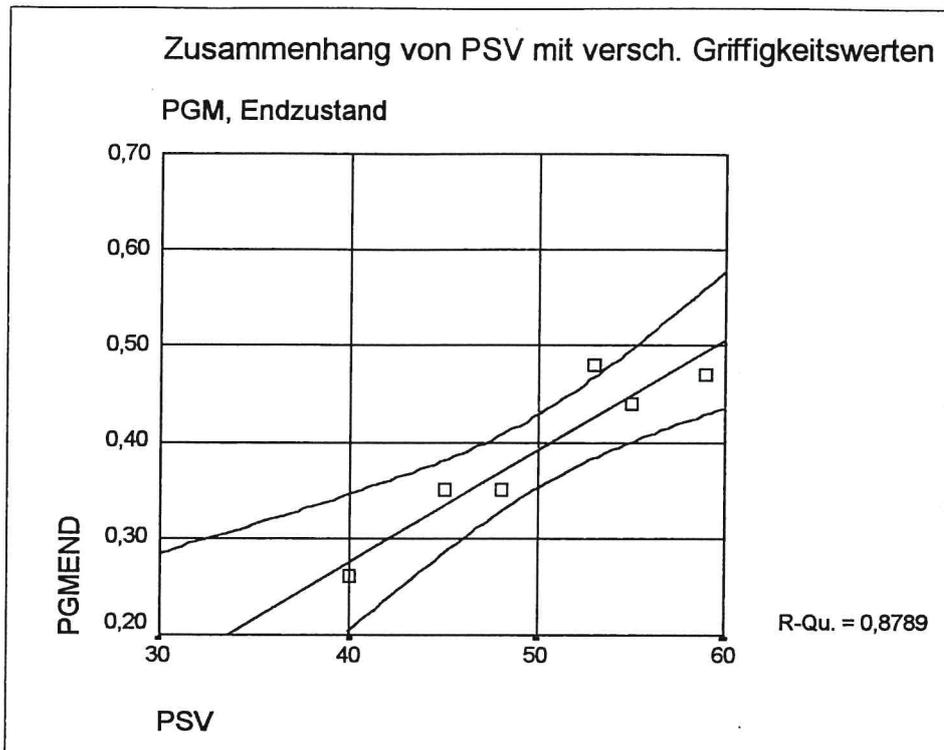


Bild 4.10

Bild 4.11

Dieses Ergebnis bestätigt vor dem Hintergrund der langjährigen Erfahrungen mit dem PSV-Wert die Relevanz des PGM-Systems und macht deutlich, daß mit dem PGM-Verfahren einschlägige Untersuchungen des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltoberflächen oder von präparativ entsprechend vorbereiteten Mineralstoffproben vorgenommen werden können. Der Vorteil des PGM-Verfahrens liegt dabei zum einen in der Möglichkeit, dem PSV-Verfahren unzugängliche Gesteinsfraktionen oder praxisrelevante Gemische aus einem oder mehreren Gesteinen, zum anderen aber, und dies ist besonders bedeutsam, die Auswirkung unterschiedlicher Fraktionen von Gesteinen unterschiedlicher Polierresistenz, im Asphaltgemisch an praxisähnlich hergestellten Asphaltproben prüfen zu können.

5 UNTERSUCHUNGEN ZUR GRIFFIGKEIT VON IM LABOR HERGESTELLTEN ASPHALTPLATTEN AUS ZUSCHLAGSTOFFEN MIT UNTERSCHIEDLICHER POLIERRESISTENZ

Untersuchungen zur Griffigkeit von im Labor hergestellten Asphaltplatten aus Zuschlagstoffen mit unterschiedlicher Polierresistenz waren unter weiterer Variation der Asphaltart und der kompositionellen Merkmale Gegenstand der dritten Bearbeitungsstufe. Aufgrund der im Kapitel 4 erläuterten unklaren Griffigkeitsveränderungen der Versuchsstrecke und der in diesem Zusammenhang vorgeschlagenen und vom Betreuungsausschuß akzeptierten Änderung der Untersuchungsmethodik, die eine erneute Probenahme und Untersuchungen der Proben erforderlich machte, konnte die Bearbeitungsstufe 3 im Rahmen des Forschungsbudgets nicht mehr bearbeitet werden.

Dennoch wurden in diesem Zeitraum bereits stichprobenartig Untersuchungen an labormäßig verdichteten Probenplatten durchgeführt, die aus Asphaltmischgut mit unterschiedlich polierresistenten Zuschlagstoffen hergestellt worden sind. Über diese Untersuchungen wird mit Zustimmung der Mineralstoff-Lieferanten nachfolgend berichtet.

Untersuchungsgegenstand waren in allen Fällen Splittmastixasphalte. Dies ist insofern von Bedeutung, weil bei den Untersuchungen zur Griffigkeitsveränderung der Versuchsstrecke A 70 festgestellt werden konnte, daß bei solchen Asphalten der Einfluß der Sandkomponente vernachlässigbar und ein Zusammenhang zwischen PSV- und PGM-Endwert nachweisbar ist.

5.1 Beispiel 1

Das erste Beispiel zeigt einen Splittmastixasphalt 0/8S mit Granitedelsplitten. Die **Bilder 5.1 und 5.2** zeigen Griffigkeitsmessungen, wie sie im Rahmen von Eignungsprüfungen ermittelt wurden. Eingezeichnet sind die an mehreren Probenteilen ermittelten Einzelwerte sowie die logarithmischen Ausgleichskurven (Trendlinien). Die Messung im Jahre 1997 wurde noch nicht bis zu dem später definierten Endpolierwert, entsprechend einer Polierdauer von 180 Minuten, durchgeführt,

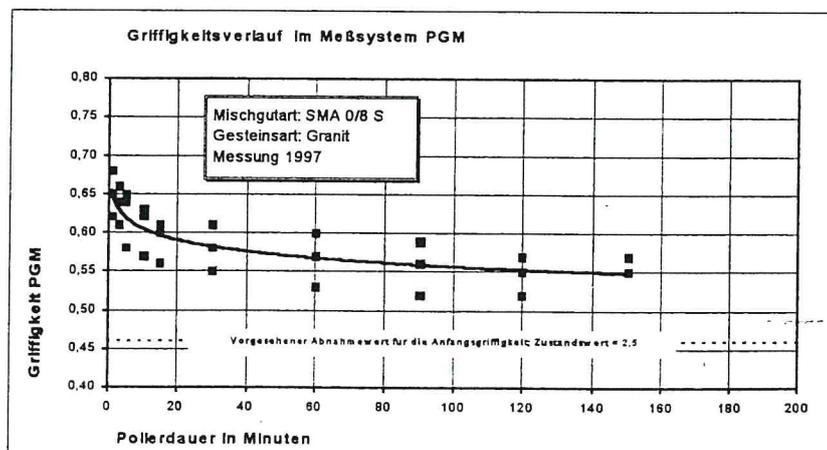


Bild 5.1 Griffigkeitsverlauf-PGM einer Probe SMA 0/8S im Rahmen einer Eignungsprüfung 1997

sondern bereits nach 150 min beendet. Die Einzelwerte weisen augenscheinlich deutliche Streuungsunterschiede zwischen den beiden Meßkollektiven auf, die aber auch erkennen lassen, daß die Messung 99 qualitativ besser ist. Dies ist einerseits auf die zwischenzeitlich installierte Verdichtungstechnik bei der Plattenherstellung mit dem Walz-Sektor-Verdichter anstelle eines handgeführten Verdichtungsgerätes, andererseits aber auch auf die vorgenommenen Verbesserungen am PGM-Gerät zurückzuführen. Unabhängig davon werden die Ergebnisse von 1997 von der 99er Messung bestätigt. Außer den Meßwerten sind in beiden Grafiken Vergleichswerte als Linien eingetragen: Die Grafik 97 enthält den vorgesehenen Anforderungswert für die Anfangsgriffigkeit, entsprechend einem Zustandwert von 2,5, die Grafik 99 zeigt mit dem Wert 0,43 den vorgesehenen Anforderungswert zum Ende der Gewährleistungszeit. Beide Linien machen deutlich, daß mit dem untersuchten Material keine Griffigkeitsprobleme zu erwarten sind.

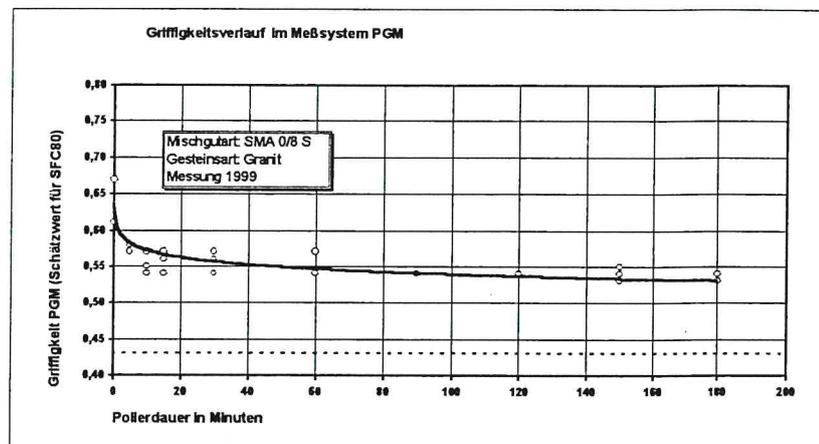


Bild 5.2 Griffigkeitsverlauf-PGM einer Probe SMA 0/8S im Rahmen einer Eignungsprüfung 1999

5.2 Beispiel 2

Das zweite Beispiel zeigt in Form eines Säulendiagramms und in Anwendung der in Kapitel 4 erarbeiteten Ergebnisse die 15 min- und die 3 h-Werte einer Oberfläche aus SMA 0/8S im Vergleich mit dem Abnahmewert am Ende der Gewährleistungszeit und dem Schwellenwert, der mit dem Zustandwert von 4,5 eine sofortige bauliche Maßnahme zur Griffigkeitsverbesserung fordert.

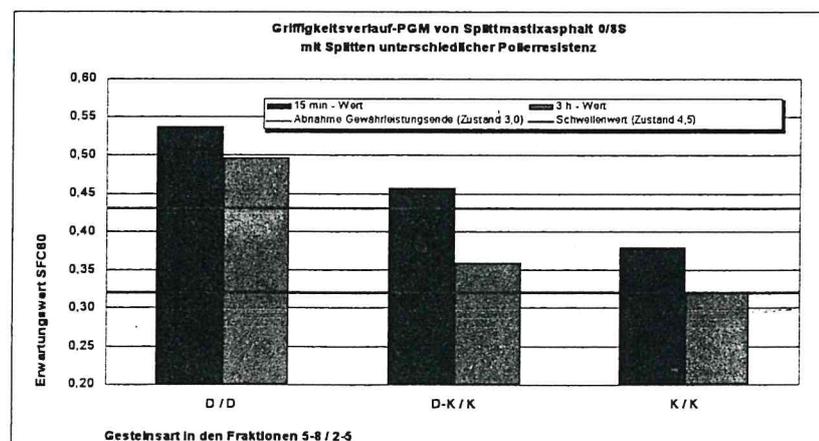


Bild 5.3 Griffigkeitsverlauf-PGM von SMA 0/8S unter Einsatz von Splitten mit unterschiedlichen Poliereigenschaften

Untersucht wurden zwei Splittmaterialien aus dem Gestein D (Diabas) und dem Gestein K (Kalkstein mit Quarzeinlagerungen), von denen das Gestein K einen überraschend hohen PSV-Wert aufgewiesen hat. Die Untersuchung zeigt, daß in diesem Fall der PSV-Wert keine relevante Aussage liefert. Die PGM-Messungen belegen, daß bei dem mit Splitt K hergestellten Asphalt bereits am Ende der Gewährleistungszeit mit Griffigkeitsproblemen gerechnet und im weiteren Verlauf auch das Erreichen des Schwellenwertes befürchtet werden muß. Letzteres wäre mit vorzeitigen Instandsetzungskosten für griffigkeitserhöhende Maßnahmen verbunden.

Die Untersuchung zeigt aber auch, daß eine Mischung von Splitten mit unterschiedlichen Poliereigenschaften, wie sie nach ZTV Asphalt ermöglicht wird, zu einer Verbesserung der Situation führen kann und so auch einem minder polierresistenten Material Einsatzmöglichkeiten eröffnet.

5.3 Beispiel 3

Das dritte Beispiel zeigt die Ergebnisse von Untersuchungen an Splittmastixasphalten 0/11S, die unter Verwendung von drei unterschiedlich polierresistenten Splittmaterialien hergestellt worden sind. Dabei wurden zum einen Mischungen untersucht, bei denen die drei Splittfraktionen aus einer Gesteinsart bestanden, während in einer zweiten Gruppe die mittlere Splittfraktion gegen eine andere Gesteinsart ausgetauscht worden ist. Mit dieser Untersuchung sollte überprüft werden, ob nicht nur die ZTV Asphalt-konforme Mischung von Splitten, wie sie am Beispiel 2 gezeigt werden konnte, sondern auch die fraktionsweise Mischung einen positiven Einfluß auf das Griffigkeitsverhalten erwarten lassen. Die Gesteinsarten sind durch die Buchstaben G = Grauwacke, M = Kiessplitt (Moräne), B = Basalt gekennzeichnet.

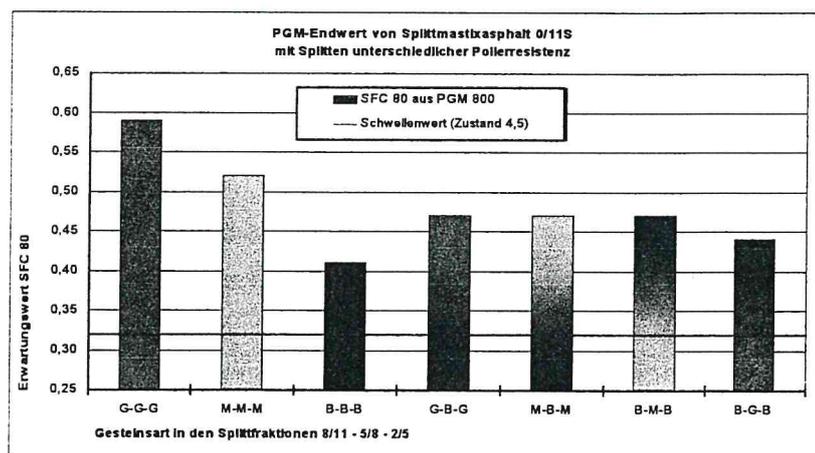


Bild 5.4 Endpolierwerte-PGM von SMA 0/11S unter Einsatz von Splitten mit unterschiedlichen Poliereigenschaften

Dargestellt sind die Endpolierwerte, d.h. die Griffigkeitszustände nach einer Polierdauer von drei Stunden. Die drei ersten Säulen der „reinen“ Mischungen zeigen eine Reihenfolge und Abstufung, wie sie nach den PSV-Werten erwartet werden durfte. Dabei weist auch das Gemisch mit dem Splitt B noch einen deutlichen Abstand zum Schwellenwert auf.

Die vier weiteren Säulen zeigen die Auswirkung des Austausches der mittleren Splittfraktion, die durchschnittlich mit höchstens 30% am Gesamtsplitt beteiligt ist. In zwei Fällen vermindert das Gestein B das vorherige Griffigkeitsniveau der reinen Mischungen um ein allerdings ungefährliches Maß, in den beiden anderen Fällen verbessert die Zugabe der Gesteine G und M das Griffigkeitsniveau der Grundmischung B.

Diese Beispiele zeigen, daß auch mit dieser Art der Mischung unterschiedlich polierresistenter Gesteinsarten ein Instrument zur Verbesserung der Griffigkeitseigenschaften von Asphalten zur Verfügung steht.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Statistische Untersuchungen der Straßenbauverwaltungen belegen einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Griffigkeit einer Fahrbahn und der Unfallhäufigkeit bei Nässe. Aus diesem Grunde werden in Deutschland auf Neubaustrecken der Bundesfernstraßen Griffigkeitsmessungen zur Ermittlung der Anfangsgriffigkeit durchgeführt.

Für die Mischguthersteller und die asphaltverarbeitenden Firmen ergibt sich die unbefriedigende Situation, daß die an das fertige Produkt gestellte Anforderung „Griffigkeit“ vor der Erstellung des Bauwerks nicht im Labor gemessen oder gar optimiert werden kann, zumal die Einführung von Anforderungswerten für die Griffigkeit bei Übergabe der Straße und bei Ablauf der Gewährleistungsfrist geplant ist.

Im Institut Dr.-Ing. Gauer wurde eine Prüfeinrichtung zur Messung der Polierresistenz und der Griffigkeit von Asphaltoberflächen entwickelt und bei Gutachten eingesetzt. Mit dem Polier- und Griffigkeits-Meßgerät PGM kann die Griffigkeit als Asphalteeigenschaft beurteilt, die Entwicklung der Griffigkeit unter simuliertem Verkehrseinfluß beobachtet und durch Variation einzelner Prüfparameter vergleichend untersucht werden. Als Probekörper werden sowohl im Labor, z.B. durch Walzverdichtung, hergestellte Asphalte wie auch Ausbaustücke oder Bohrkern aus Straßen verwendet.

Auf der Basis von Messungen mit diesem Polier- und Griffigkeits-Meßgerät (PGM) sollte mit dem vorgelegten Forschungsvorhaben die Entwicklung und Überprüfung eines bei der Eignungsprüfung anwendbaren Prognoseverfahrens vorgenommen werden, womit eine Abschätzung des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltdeckschichten unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrsbeanspruchung ermöglicht werden sollte.

Das Ziel des Forschungsvorhabens sollte in drei Stufen erreicht werden:

1. Korrelation der im Laboratorium an Bohrkernoberflächen ermittelten Meßergebnisse mit bekannten SCRIM⁹-Meßergebnissen von ausgewählten Straßenoberflächen. Dadurch soll die Laboreinrichtung auf die in der Praxis gemessenen Griffigkeitswerte kalibriert werden.
2. Erarbeitung von Äquivalenzwerten für die im Labor aufgebrauchte Polierbeanspruchung aus den bekannten Verkehrsdaten.

⁹ Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine (Schräglauflendes, nicht blockiertes Schlepprad, Rutschanteil 20%)

3. Systematische Untersuchung der Griffigkeit von im Labor hergestellten Asphaltplatten nach unterschiedlicher Polierbeanspruchung unter Variation der Asphaltorte, der kompositionellen Merkmale und der Polierresistenz der Zuschlagsstoffe.

Im Rahmen der Bearbeitungsstufe 1 erfolgte die Kalibrierung der Meßgeschwindigkeit anhand von je fünf Bohrkernen aus den 21 Versuchsfeldern einer bestehenden Versuchsstrecke auf der A 70 bei Bamberg. Als Zielgrößen für die Einstellung der Meßgeschwindigkeit des PGM-Systems dienten die aus der SCRIM-Messung 1996 bekannten Griffigkeiten der den Bohrkernen zuzuordnenden Fahrbahnoberflächen der 21 Versuchsfelder.

Dazu wurde die Griffigkeit der Oberflächen aller 105 Bohrkern im Originalzustand unter Variation der Drehzahl zwischen 300 und 1200 min^{-1} gemessen. Eine optimale Anpassung von PGM- und SCRIM-Messung ergab sich bei einer mittleren Drehzahl von $U = 800 \text{ min}^{-1}$ nach der Gleichung $\text{PGM} = 1,0955 \text{ SFC}^{10} - 0,052$, die mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 94,1 \%$ ausgestattet ist. Diese Beziehung, die auf einem Signifikanzniveau von mehr als 99,9% gesichert ist und im Rahmen der Konfidenzintervalle auch $\text{PGM} = \text{SFC}$ einschließt, macht deutlich, daß der gefundene rechnerische Zusammenhang die Relation zwischen den beiden Meßwerten in der Tat sehr gut beschreibt. Die PGM-Messung führt wegen des Steigungsfaktors von ca. 1 zu der gleichen Spreizung der Griffigkeitswerte wie die SCRIM-Messung.

Die für spätere Anwendungen des Meßverfahrens wichtige Umkehrung der Fragestellung nach der Höhe des aus der Labormessung abzuleitenden SCRIM-Wertes führt zu der Gleichung $\text{SFC}_{80} = 0,809 \text{ PGM}_{800} + 0,100$. Diese Gleichung ist als Ergebnis der Bearbeitungsstufe 1 die Basis für die weiteren Untersuchungen.

Die Verknüpfung des Griffigkeitsverlaufes im Laboratorium mit dem Poliereffekt des Verkehrs sollte ebenfalls an den Bohrkernen aus der Versuchsstrecke der A 70 erfolgen. Bei dieser Untersuchung kam der verkehrsbedingten Veränderung des Oberflächenzustandes in der Praxis die maßgebende Rolle zu, weshalb dieses Thema näher behandelt wurde. Im Untersuchungszeitraum (SRM¹¹: 1992 bis 1996, SCRIM: 1992 bis 1998) ergaben sich nur in wenigen Fällen signifikante Veränderungen der Griffigkeit. Die Betrachtung der Verkehrsmengen weist eine relativ geringe Belastung der relevanten Streckenabschnitte aus. In Verbindung mit der Charakteristik der Trassenführung (geringe Krümmungen, keine Steigungen) lassen sich daraus die Gründe für die relativ geringe verkehrsbedingte Polierwirkung bzw. für die Zufälligkeiten der Griffigkeitsmessungen ableiten. Aus der Zufälligkeit der

¹⁰ Sideway-Force Coefficient

¹¹ Stuttgarter Reibungsmesser (Blockiertes Schlepprad)

Ergebnisse der Strecke ließ sich aber auch ableiten, daß eine Verknüpfung der Polierwirkungen von Straße und Labor ebenfalls Zufallscharakter haben musste.

Für die vorliegende Forschungsarbeit bedeutete dies, daß die Zielsetzungen revidiert werden mussten. Anstelle der Bearbeitungsstufe 3 wurden in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuß im Jahre 1998 nochmals SCRIM-Messungen und Bohrkernentnahmen vorgenommen und erneut PGM-Messungen der Bohrkernoberflächen durchgeführt. Letzteres hatte vor dem Hintergrund zumindest teilweise anstehender Instandsetzungsarbeiten auch den Charakter einer Beweissicherung. Die Auswertung dieser Untersuchungen haben zu vertieften Kenntnissen über den Griffigkeitsverlauf in situ geführt und zudem die Möglichkeit einer Verifizierung der PGM-Messung geboten.

Unabhängig davon wurde das Untersuchungsprogramm der Bearbeitungsstufe 2 durchgeführt. Der mit PGM gemessene Griffigkeitsverlauf der polierten Bohrkernoberflächen wurde durch eine logarithmische Funktion approximiert. Das an den 21 Kurven erhaltene mittlere Bestimmtheitsmaß von 0,971 läßt erkennen, daß lediglich zu etwa 3% zufällige Einflüsse vorhanden sind.

Aus den Verlaufskurven wurden „Schnittpunkte“ mit drei unterschiedlichen Griffigkeitszuständen, SFC_96, SFC_98 und PGM_96, ermittelt. Die Betrachtung der „Schnittpunkte“ läßt folgende Schlußfolgerungen zu:

Eine Verknüpfung des Polieraufwandes im Laboratorium mit der polierenden Beanspruchung des Straßenverkehrs ist mit dem PGM-System grundsätzlich möglich. Die unterschiedlichen Griffigkeitsveränderungen der zur Verfügung stehenden Versuchsstrecke, bei denen die verkehrsbedingten, griffigkeitsvermindernden und die umweltbedingten, griffigkeitserhöhenden Einflüsse nicht separiert oder gar quantifiziert werden können, liefern dazu jedoch kein klares Bild.

Das Beispiel PGM_96, das quasi eine unter Laborbedingungen erhaltene Zustandserfassung darstellt, führt dagegen zu einem bereits ziemlich präzisen Mittelwert, der mit einem Zahlenwert von rund 15 Minuten im vorderen Bereich der ermittelten Verlaufskurven angesiedelt ist. Dies heißt, daß im Falle der vorliegenden Versuchsstrecke eine PGM-Polierzeit von ca. 15 Minuten auf der Straße einem Poliereffekt von etwa fünf Jahren unter Verkehr entspricht. Dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund der geometrischen und verkehrlichen Randbedingungen der Versuchsstrecke auf der A 70 durchaus plausibel und kann daher für die vorliegende, relativ geringe Verkehrsbelastung der Versuchsstrecke ein Anhaltspunkt sein. Eine Übertragung auf andere Strecken mit anderen Trassierungselementen und anderen Verkehrsbeanspruchungen ist nicht zulässig.

Zur Verbesserung der Prognose der verkehrsbedingten Polierwirkung wird eine breit angelegte Erfahrungssammlung empfohlen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Bis zum Vorliegen eines solchen Erfahrungshintergrundes wird empfohlen, aus Sicherheitsgründen den im Labor feststellbaren „Endpolierwert“ als Prognosewert heranzuziehen und diesen mit dem sog. Schwellenwert zu vergleichen.

Wegen der Wiederholung der SCRIM- und PGM-Messungen an einer zweiten Bohrkernserie konnten die in der Bearbeitungsstufe 3 vorgesehenen Untersuchungen zur Griffigkeit von im Labor hergestellten Asphaltplatten aus Zuschlagstoffen mit unterschiedlicher Polierresistenz nicht mehr bearbeitet werden. Dennoch wurden bereits stichprobenartig Voruntersuchungen an labormäßig verdichteten Probenplatten durchgeführt, die aus Asphaltmischgut mit unterschiedlich polierresistenten Zuschlagstoffen hergestellt worden sind.

Untersuchungsgegenstand waren in allen Fällen Splittmastixasphalte. Dies ist insofern von Bedeutung, weil bei den Untersuchungen zur Griffigkeitsveränderung der Versuchsstrecke A 70 festgestellt werden konnte, daß bei solchen Asphalten der Einfluß der Sandkomponente vernachlässigbar und ein Zusammenhang zwischen PSV- und PGM-Endwert nachweisbar ist.

Die PGM-Messungen deuten an, daß eine Mischung von Splitten gleicher Korngröße, aber unterschiedlichen Poliereigenschaften, wie sie nach ZTV Asphalt ermöglicht wird, tatsächlich zu einer Verbesserung der Griffigkeitssituation führen und so auch einem minder polierresistenten Material Einsatzmöglichkeiten eröffnen kann.

Diese Untersuchungen zeigten des weiteren auf, daß auch mit der fraktionsweisen Mischung unterschiedlich polierresistenter Gesteinsarten ein Instrument zur Verbesserung der Griffigkeitseigenschaften von Asphalten zur Verfügung steht.

Zusammenfassend läßt sich somit feststellen:

- Mit dem im Institut Dr.-Ing. Gauer entwickelten Polier- und Griffigkeits-Meßgerät PGM kann die Griffigkeit von Asphaltoberflächen zuverlässig gemessen werden.
- Wegen des physikalisch ähnlichen Meßvorgangs führt die PGM-Messung zur gleichen Spreizung der Meßwerte wie die SCRIM-Messung.
- Mit dem im Institut Dr.-Ing. Gauer entwickelten Polier- und Griffigkeits-Meßgerät PGM können Asphaltoberflächen poliert und somit zeitlich veränderliche Griffigkeitszustände ermittelt werden.
- Das im Institut Dr.-Ing. Gauer entwickelte Polier- und Griffigkeits-Meßgerät PGM ist grundsätzlich für die Prognose der Griffigkeitsentwicklung geeignet.

- Bei den in der Versuchsstrecke A 70 bei Bamberg eingebauten Splittmastixasphalten, bei denen in allen drei Splittfraktionen gleiche Mineralstoffe eingesetzt worden sind, besteht eine hochsignifikante Korrelation zwischen PSV und PGM-Endwert.

Schlußfolgernd ergeben sich folgende Hinweise auf weitere Entwicklungen oder weiteren Forschungsbedarf:

- Es wird empfohlen, das im Institut Dr.-Ing. Gauer entwickelte Polier- und Griffigkeits-Meßgerät PGM zur Serienreife zu bringen.
- Zur Verbesserung der PGM-Prognose wird die Untersuchung unterschiedlich alter, aber aus Mineralstoffen gleicher Provenienz hergestellter Fahrbahnoberflächen mit bekannter Verkehrsbelastung empfohlen.

7 LITERATUR

1. Merkblatt über Straßengriffigkeit und Verkehrssicherheit bei Nässe, Ausgabe 1968
Oberste Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern
2. Beyer, G.; Der Polierversuch, Teil I: Untersuchung des Laborversuches,
Schriftenreihe des österreichischen Bundesministeriums für Bauten und Technik, Stra-
ßenforschung, Heft 223, Teil 1, ISSN 0379-1491
3. Griffigkeitseigenschaften der Fahrbahn, Bericht der Kommission XIII, Heft 13, 1981
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)
4. Fenz, G.; Gregori, H.; Krzemien, R.; Reibungsbeiwerte von Edelsplitten nach Polieren,
Schriftenreihe des österreichischen Bundesministeriums für Bauten und Technik, Heft 284,
ISSN 0379-1491
5. Kalender, U.; Einflußfaktoren auf die Wasserfilmdicke
Straßenbautagung, Berlin 1970; Herausgeber: Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen
6. Dames, J.; Schulze, K.-H.; Wechselwirkung der Faktoren Wasserfilmdicke, Reifenprofiltiefe
und Geschwindigkeit auf den Kraftschluß Reifen/Fahrbahn.
Griffigkeitsmessungen bei hohen Geschwindigkeiten. Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft
189/1975. Hrsg. v. BMV, Abt. Straßenbau, Bonn
7. Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau (TL Min-StB 94)
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln; "
8. Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TPMin-StB 94)
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln; "
9. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken
aus Asphalt; Ausgabe 1994 (ZTVAsphalt-StB 94)
10. Merkblatt für den Bau griffiger bituminöser Deckschichten, Ausgabe 1982
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
11. Dübner R., Verfahren zur Verbesserung der Griffigkeit; Vortragskurzfassung, Februar 1988
12. Schulze, K.-H. Rückblick und Ausblick anlässlich des 40-jährigen Bestehens der Arbeitsgruppe
"Fahrzeug und Fahrbahn".
Tagung der Arbeitsgruppe "Fahrzeug und Fahrbahn" 1976 Köln.
Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Köln

13. Huschek, S., Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe - Diskussionspapier.
Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß 1994, Karlsruhe
14. Kamplade, J., Griffigkeit und Verkehrssicherheit,
Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß 1994, Karlsruhe
15. Berndt, W., Fleischer, W. Können die Anforderungen an die Griffigkeit bei Neubau und Instandsetzung gewährleistet werden?,
Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß 1994, Karlsruhe
16. Woltereck, G.:Sicherung einer ausreichenden Griffigkeit im Straßennetz durch die Straßenverwaltungen, Deutscher Straßen- und Verkehrskongresses 1994, Karlsruhe
17. Technische Universität Berlin, Fachgebiet FG Straßenbau, "Untersuchungen zum Griffigkeitsverhalten von Asphaltmischungen mit unterschiedlichen Mineralstoffen (Labor- und Felduntersuchungen, Schlußbericht zum Forschungsbericht Nr. FE Nr.: 06 056 G 89C
18. Schulze, K.-H., Zur quantitativen Bewertung der Rauheit von Straßenoberflächen in Beziehung zum Reibungswiderstand bei Nässe, Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesverkehrsministeriums und der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Straßenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 103/1970. Hrsg. v. BMV, Abt. Straßenbau, Bonn
- 19 Dames, J., Rittershofer, M., FA 4.149, Griffigkeitsschwankungen von Fahrbahndecken
Informationen – Forschung im Straßen- und Verkehrswesen – Teil: Straßenbau- und Straßenverkehrstechnik III – 60. Lfg.,
- 20 Richtlinien zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe“, November 1998
Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen
- 21 Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 8: Bestimmung des Polierwertes, prEN 1097-8
- 22 Ballmann, P., Seliger, R., Toussaint, A., Eignung verschiedener Brechsande für Oberflächenbehandlungen auf Epoxidharzbasis zur Wiederherstellung der Griffigkeit von Straßendecken, 2. Teilbericht zur Untersuchung des Einflusses der Mineralstoffart auf die Griffigkeit von Straßenoberflächen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Projekt Nr. 87303, Bergisch Gladbach, Oktober 1994
- 23 Ballmann, P., Zusammenstellung von Daten zur Polierresistenz von Mineralstoffen, 1. Teilbericht zur Untersuchung des Einflusses der Mineralstoffart auf die Griffigkeit von Straßenoberflächen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Projekt Nr. 87 303, Bergisch Gladbach, Oktober 1994

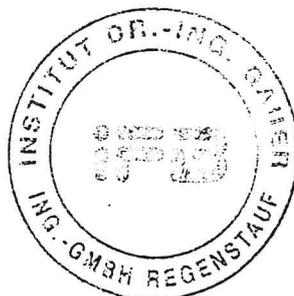
- 24 Humm, W., Junker, J., Neubauer, O., Polierwiderstand von Mineralstoffen, Forschungsarbeit 10/86 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement Bundesamt für Straßenbau, Dezember 1989
- 25 Neubauer, O., Polierverhalten von Mineralstoffen, Forschungsauftrag 8/90 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement Bundesamt für Straßenbau, Juni 1995
- 26 Dames, J., Erfassen und Beurteilen der Griffigkeit von Straßen, Straße + Autobahn, Heft 2/92
- 27 Dames, J., Lindner, J., Ermittlung der Endpolierwerte von im Straßenbau verwendeten Gesteinen – Kurzbericht, TH Berlin, Fachgebiet Straßenbau, Labor für bituminöse Baustoffe, FE 6.048 G 85 C, 1989
- 28 Kunath, H., Schladitz, H., Ein neues Gerät für die Beurteilung des Polierverhaltens von Gesteinen im Laboratorium, Die Strasse Heft 7/76
- 29 Mader, H., Der Polierversuch nach British Standard BS 812 – eine kritische Betrachtung, Bayerischer Industrieverband, Steine und Erden, München
- 30 Dames, J., Lindner, J., Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlicher Mineralstoffe auf das Gebrauchsverhalten von Asphaltdeckschichten hinsichtlich Griffigkeit, Querebenheit und Reifengeräuschen
Informationen – Forschung im Straßen- und Verkehrswesen – Teil: Straßenbau- und Straßenverkehrstechnik III – 63. Lfg., FA 6.061

Regenstauf, den 25. August 1999

Der Forschungsbeauftragte



Dr.-Ing. Peter K. Gauer



Anlage 1.1

Entnahmestellen September 96 Oberflächenkennwerte der Bohrkerne (Rauhtiefe – Ausflußzeit nach Moore)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Messwerte in Richtung Schweinfurt	
Felder 1 – 4	2
Felder 5 - 8	3
Felder 9 – 10	4
2. Messwerte in Richtung Bamberg	
Felder 11 – 13	5
Felder 14 – 17	6
Felder 18 – 20	7
Feld 21	8

Messwerte A 70, Fahrtrichtung Schweinfurt

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 3 0,64	58,190	0,56		
	58,170	0,63		
	58,155		0,67	4,00
	58,150	0,63		
	58,130	0,64	0,80	3,50
	58,110	0,65		
	58,105		0,67	6,00
	58,090	0,62		
	58,080		0,88	3,00
	58,070	0,65		
58,055		0,54	5,50	
58,050	0,65			
58,030	0,67			
58,010	0,66			
58,000				
Feld 4 0,47	57,990	0,64		
	57,970	0,55		
	57,950	0,47	0,68	3,00
	57,930	0,47		
	57,925		0,55	5,50
	57,910	0,47		
	57,900		0,54	6,00
	57,890	0,46		
	57,875		0,60	6,00
	57,870	0,48		
57,850	0,47	0,65	7,00	
57,830	0,48			
57,810	0,49			
57,800				

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 1 0,45	58,390	0,41		
	58,370	0,43		
	58,355		0,59	4,50
	58,350	0,43		
	58,330	0,43	0,58	6,00
	58,310	0,46		
	58,305		0,61	3,50
	58,290	0,47		
	58,280		0,52	9,25
	58,270	0,48		
58,255		0,60	5,40	
58,250	0,49			
58,230	0,48			
58,210	0,49			
58,605				
58,590	0,47			
58,570	0,43			
58,553		0,63	5,50	
58,550	0,43			
58,530	0,44			
58,528		0,70	3,00	
58,510	0,41			
58,503		0,64	6,50	
58,490	0,43			
58,478		0,77	4,00	
58,470	0,43			
58,453		0,78	3,00	
58,450	0,43			
58,430	0,43			
58,410	0,44			
58,400				



Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 7 0,58	57,790	0,50		
	57,770	0,59		
	57,760	0,61	0,55	8,00
	57,750			
	57,735	0,59	0,41	34,30
	57,730			
	57,710	0,59	0,46	13,50
	57,690	0,60	0,46	9,00
	57,685	0,52	0,46	
	57,670			
57,660	0,57	0,43	19,00	
Feld 8 0,52	57,610	0,55		
	57,590	0,49		
	57,585	0,50	0,48	10,00
	57,570			
	57,565	0,51	0,51	9,67
	57,550	0,51		
	57,545	0,54	0,55	8,00
	57,530			
	57,525	0,54	0,52	8,00
	57,510	0,54	0,62	5,33
57,505	0,52			
57,490		0,56		
57,470				

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 5 0,54	57,390	0,54	0,68	3,00
	57,375	0,54	0,67	3,67
	57,370			
	57,360	0,55	0,65	4,50
	57,350			
	57,345	0,55	0,68	3,50
	57,330	0,55	0,62	5,00
	57,315			
	57,010	0,51		
	56,990	0,66		
56,970	0,66	0,84	3,00	
56,950	0,65	0,86	3,50	
56,945	0,66	0,86	3,50	
56,930				
56,920	0,66	0,86	3,50	
56,910	0,66	0,74	4,00	
56,895	0,66	0,76	2,00	
56,890				
56,870	0,66	0,76	2,00	
56,850	0,66			
56,830	0,65			
56,820				

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 9 0,51	57,190	0,51		
	57,170	0,46		
	57,165		0,43	15,00
	57,150	0,50		
	57,140		0,43	15,00
	57,130	0,50		
	57,115		0,40	10,50
	57,110	0,50		
	57,090	0,54	0,45	19,00
	57,070	0,54		
	57,065		0,48	13,33
	57,050	0,50		
	57,030	0,48		
	57,020			
Feld 10 0,51	56,810	0,64		
	56,790	0,50		
	56,780		0,43	53,67
	56,770	0,51		
	56,755		0,41	50,33
	56,750	0,50		
	56,730	0,52	0,44	14,00
	56,710	0,51		
	56,705		0,44	22,00
	56,690	0,51		
	56,680		0,41	21,00
	56,670	0,51		
	56,650	0,48		
56,640				



Messwerte A 70, Fahrtrichtung Bamberg

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 13 0,57	57,790	0,53		
	57,810	0,53		
	57,828		0,55	8,25
	57,830	0,50		
	57,850	0,50		
	57,853		0,45	12,33
	57,870	0,60		
	57,878		0,36	35,67
	57,880			
	57,890	0,64		
	57,900			
	57,903		0,5	8,67
	57,910	0,64		
57,928				
57,930	0,63			
57,950	0,52			
57,970	0,47			
57,985				

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 11 0,46	58,630	0,49		
	58,650	0,45	0,41	27
	58,680			
	58,670	0,48		18,33
	58,675		0,41	
	58,690	0,45		28,5
	58,700		0,39	
	58,710	0,44		31,33
	58,725		0,38	
	58,730	0,47		10
	58,750	0,47		
	58,770	0,49		
	58,790	0,46		
	58,810	0,42		
	58,210	0,37		
	58,230	0,37		
	58,250	0,40		
58,255			13,5	
58,260				
58,270	0,39		14,00	
58,280		0,50		
58,290	0,40		15	
58,305		0,51		
58,310	0,42		13,5	
58,330	0,41			
58,350	0,45			
58,355			23	
58,370	0,45			
58,390	0,37			
58,405				



Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 16 0,32	56,595	0,32		
	56,610	0,34		
	56,630	0,31	0,46	9
	56,638	0,31	0,46	9
	56,650	0,34	0,41	19,5
	56,663	0,32		
	56,670	0,33		
	56,688	0,31	0,47	10
	56,690	0,37	0,42	15
	56,710	0,47		
Feld 17 0,48	56,730	0,44		
	56,738	0,48		
	56,750	0,50		
	56,770	0,49		
	56,790	0,48	0,73	4
	56,780	0,45	0,62	6
	57,990	0,47	0,64	4,33
	58,010	0,49		
	58,030	0,49	0,6	5,5
	58,045	0,47	0,74	2
58,050	0,49			
58,070	0,49			
58,090	0,49			
58,095	0,49			
58,100	0,52			
58,110	0,49			
58,120	0,52			
58,130	0,49			
58,145	0,45			
58,150	0,45			
58,170	0,36			
58,190				
58,205				

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 14 0,49	57,390	0,47		
	57,410	0,49		
	57,420	0,49	0,52	7
	57,423	0,49	0,61	6,67
	57,430	0,51		
	57,448	0,46	0,64	5,5
	57,450	0,50	0,59	6,5
	57,470	0,47		
	57,473	0,49	0,59	7
	57,490	0,56		
Feld 15 0,55	57,498	0,55		
	57,510	0,53		
	57,520	0,54	0,52	8,5
	57,522	0,54	0,47	18
	57,530	0,54	0,56	9
	57,550	0,56	0,41	21,67
	57,570	0,55	0,43	13,66
	57,030	0,45		
	57,050			
	57,053			
57,070				
57,073				
57,090				
57,093				
57,110				
57,113				
57,130				
57,133				
57,150				
57,165				



Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 20 0,43	57,170	0,40		
	57,190	0,40		
	57,210	0,41		
	57,230	0,40		
	57,235		0,56	4,5
	57,240			
	57,250	0,41		
	57,255		0,42	20,33
	57,260			
	57,270	0,45		
	57,275		0,48	16
	57,280			
	57,290	0,44		
	57,295		0,48	11,33
	57,300			
	57,310	0,44		
57,320		0,41	26,67	
57,330	0,47			
57,350	0,48			
57,370	0,46			
57,375				

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
Feld 18 0,53	57,710	0,51		
	57,725		0,57	7,5
	57,730	0,58		
	57,733		0,55	8,5
	57,740		0,63	5,5
	57,748		0,60	5,00
	57,750	0,49		
	57,755		0,60	4,00
	57,770	0,57		
	58,410	0,40		
Feld 19 0,44	58,430	0,40		
	58,448		0,41	24,67
	58,450	0,43		
	58,470	0,46		
	58,473		0,42	12,5
	58,490	0,45		
	58,498		0,41	16
	58,500			
	58,510	0,43		
	58,520		0,33	46
58,523				
58,530	0,45			
58,548		0,46	11,5	
58,550	0,45			
58,570	0,46			
58,590	0,48			

Feld	Station	SCRIM μ	Rauhigkeit	Moore
μ -Scrim	m	-	mm	s
	56,810	0,44		
	56,830	0,45		
	56,850	0,45	0,40	35,67
	56,870	0,45		
	56,875		0,44	12
	56,890	0,45		
	56,900		0,46	23
Feld 21	56,910	0,43		
0,44	56,925		0,45	9,5
	56,930	0,44		
	56,950	0,51	0,42	16,5
	56,970	0,53		
	56,990	0,52		
	57,010	0,55		
	57,020			

Anlage 1.2

Entnahmestellen Oktober 98

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Entnahmestellen Richtung Schweinfurt	
Felder 1 – 5a	2
Felder 6 - 10	3
2. Entnahmestellen Richtung Bamberg	
Felder 11 – 16	4
Felder 17 – 21	5

Fahrtrichtung Schweinfurt

	km von	km bis	SCRIM μ	km/h	SFC _k	BK Nr.
Feld 1	58.400	58.380	0,40	81	0,40	
	58.380	58.360	0,41	81	0,41	
	58.360	58.340	0,40	81	0,40	1/1
	58.340	58.320	0,39	81	0,39	1/2
	58.320	58.300	0,39	81	0,39	1/3
	58.300	58.280	0,41	81	0,41	1/4
	58.280	58.260	0,42	81	0,42	
	58.260	58.240	0,42	81	0,42	
	58.240	58.220	0,41	81	0,41	
	58.220	58.200	0,42	81	0,42	
Feld 2	58.600	58.580	0,42	81	0,42	
	58.580	58.560	0,38	81	0,38	
	58.560	58.540	0,38	81	0,38	2/1
	58.540	58.520	0,44	81	0,44	2/2
	58.520	58.500	0,44	81	0,44	2/3
	58.500	58.480	0,44	81	0,44	2/4
	58.480	58.460	0,45	81	0,45	
	58.460	58.440	0,43	81	0,43	
	58.440	58.420	0,43	81	0,43	
	58.420	58.400	0,42	81	0,42	
Feld 3	58.180	58.160	0,56	81	0,56	
	58.160	58.140	0,56	81	0,56	3/1
	58.140	58.120	0,56	81	0,56	3/2
	58.120	58.100	0,59	81	0,59	3/3
	58.100	58.080	0,57	81	0,57	3/4
	58.080	58.060	0,59	81	0,59	
	58.060	58.040	0,60	81	0,60	
	58.040	58.020	0,61	81	0,61	
	58.020	58.000	0,60	81	0,60	
	58.000	57.980	0,57	81	0,57	
Feld 4	57.960	57.940	0,44	81	0,44	
	57.940	57.920	0,44	81	0,44	4/1
	57.920	57.900	0,43	81	0,43	4/2
	57.900	57.880	0,44	81	0,44	4/3
	57.880	57.860	0,45	81	0,45	4/4
	57.860	57.840	0,44	81	0,44	
	57.840	57.820	0,45	81	0,45	
	57.820	57.800	0,45	81	0,45	
Feld 5	57.400	57.380	0,46	81	0,46	
	57.380	57.360	0,50	81	0,50	
	57.360	57.340	0,48	81	0,48	
	57.340	57.320	0,48	81	0,48	
	57.320	57.300	0,48	81	0,48	
Feld 5a	57.300	57.280	0,51	81	0,51	5A1
	57.280	57.260	0,51	81	0,51	5A2
	57.260	57.240	0,51	81	0,51	5A3
	57.240	57.220	0,52	81	0,52	5A4
	57.220	57.200	0,53	81	0,53	
	57.200	57.180	0,50	81	0,50	

	km von	km bis	SCRIM μ	km/h	SFC _k	BK Nr.
Feld 6	57.000	56.980	0,61	81	0,61	6/1 6/2 6/3 6/4
	56.980	56.960	0,61	81	0,61	
	56.960	56.940	0,59	81	0,59	
	56.940	56.920	0,60	81	0,60	
	56.920	56.900	0,62	81	0,62	
	56.900	56.880	0,63	81	0,63	
	56.880	56.860	0,63	81	0,63	
	56.860	56.840	0,65	81	0,65	
	56.840	56.820	0,64	81	0,64	
	56.820	56.800	0,63	82	0,64	
Feld 7	57.780	57.760	0,51	81	0,51	7/1 7/2 7/3 7/4
	57.760	57.740	0,51	81	0,51	
	57.740	57.720	0,50	81	0,50	
	57.720	57.700	0,49	82	0,50	
	57.700	57.680	0,52	81	0,52	
	57.680	57.660	0,45	81	0,45	
	57.660	57.640	0,48	81	0,48	
Feld 8	57.620	57.600	0,45	81	0,45	8/2 8/4
	57.600	57.580	0,43	81	0,43	
	57.580	57.560	0,42	81	0,42	
	57.560	57.540	0,40	81	0,40	
	57.540	57.520	0,42	81	0,42	
	57.520	57.500	0,42	81	0,42	
Feld 8*	57.500	57.480	0,46	81	0,46	8*2 8*4
	57.480	57.460	0,51	81	0,51	
	57.460	57.440	0,48	81	0,48	
	57.440	57.420	0,45	81	0,45	
	57.420	57.400	0,46	81	0,46	
Feld 9	57.180	57.160	0,43	81	0,43	9/1 9/2 9/3 9/4
	57.160	57.140	0,43	82	0,44	
	57.140	57.120	0,42	81	0,42	
	57.120	57.100	0,44	81	0,44	
	57.100	57.080	0,46	81	0,46	
	57.080	57.060	0,51	81	0,51	
	57.060	57.040	0,51	81	0,51	
	57.040	57.020	0,48	81	0,48	
	57.020	57.000	0,46	81	0,46	
Feld 10	56.800	56.780	0,49	81	0,49	10/1 10/2 10/3 10/4
	56.780	56.760	0,47	81	0,47	
	56.760	56.740	0,46	81	0,46	
	56.740	56.720	0,47	81	0,47	
	56.720	56.700	0,47	81	0,47	
	56.700	56.680	0,49	81	0,49	
	56.680	56.660	0,50	81	0,50	
	56.660	56.640	0,45	81	0,45	
	56.640	56.620	0,44	81	0,44	

Fahrtrichtung Bamberg

	km von	km bis	SCRIM μ	km/h	SFC _k	BK Nr.
Feld 11	58.580	58.600	0,41	81	0,41	11/1 11/2 11/3 11/4
	58.600	58.620	0,42	81	0,42	
	58.620	58.640	0,41	81	0,41	
	58.640	58.660	0,37	81	0,37	
	58.660	58.680	0,40	81	0,40	
	58.680	58.700	0,39	81	0,39	
	58.700	58.720	0,37	81	0,37	
	58.720	58.740	0,39	81	0,39	
	58.740	58.760	0,39	81	0,39	
	58.760	58.780	0,40	81	0,40	
58.780	58.800	0,41	81	0,41		
Feld 12	58.180	58.200	0,28	81	0,28	12/1 12/2 12/3 12/4
	58.200	58.220	0,28	81	0,28	
	58.220	58.240	0,29	81	0,29	
	58.240	58.260	0,31	81	0,31	
	58.260	58.280	0,33	81	0,33	
	58.280	58.300	0,33	81	0,33	
	58.300	58.320	0,35	81	0,35	
	58.320	58.340	0,35	81	0,35	
	58.340	58.360	0,38	81	0,38	
	58.360	58.380	0,37	81	0,37	
58.380	58.400	0,36	81	0,36		
Feld 13	57.780	57.800	0,49	81	0,49	13A1
	57.800	57.820	0,47	81	0,47	13A3
	57.820	57.840	0,47	81	0,47	
	57.840	57.860	0,45	81	0,45	
	57.860	57.880	0,50	81	0,50	13B1
	57.880	57.900	0,54	81	0,54	13B3
	57.900	57.920	0,53	81	0,53	
	57.920	57.940	0,55	81	0,55	
Feld 14	57.440	57.460	0,48	81	0,48	14/2
	57.460	57.480	0,44	81	0,44	14/3
	57.480	57.500	0,45	81	0,45	14/4
	57.500	57.520	0,47	81	0,47	
	57.520	57.540	0,47	81	0,47	
Feld 15	56.960	56.980	0,46	81	0,46	15/1 15/2 15/3 15/4
	56.980	57.000	0,45	81	0,45	
	57.000	57.020	0,47	81	0,47	
	57.020	57.040	0,46	81	0,46	
	57.040	57.060	0,44	81	0,44	
	57.060	57.080	0,46	81	0,46	
	57.080	57.100	0,48	81	0,48	
	57.100	57.120	0,49	81	0,49	
	57.120	57.140	0,50	81	0,50	
	57.140	57.160	0,47	81	0,47	
Feld 16	56.580	56.600	0,23	80	0,23	16/1 16/2 16/3 16/4
	56.600	56.620	0,27	81	0,27	
	56.620	56.640	0,28	81	0,28	
	56.640	56.660	0,27	81	0,27	
	56.660	56.680	0,30	81	0,30	
	56.680	56.700	0,26	81	0,26	
	56.700	56.720	0,27	81	0,27	
	56.720	56.740	0,26	81	0,26	

	km von	km bis	SCRIM μ	km/h	SFC _k	BK Nr.
Feld 17	57.960	57.980	0,41	81	0,41	17/1 17/2 17/3 17/4
	57.980	58.000	0,43	81	0,43	
	58.000	58.020	0,44	81	0,44	
	58.020	58.040	0,43	81	0,43	
	58.040	58.060	0,43	81	0,43	
	58.060	58.080	0,45	81	0,45	
	58.080	58.100	0,47	81	0,47	
	58.100	58.120	0,45	81	0,45	
	58.120	58.140	0,45	81	0,45	
	58.140	58.160	0,42	81	0,42	
58.160	58.180	0,41	81	0,41		
Feld 18*	57.540	57.560	0,50	81	0,50	18*2 18*4
	57.560	57.580	0,51	81	0,51	
	57.580	57.600	0,51	81	0,51	
	57.600	57.620	0,51	81	0,51	
	57.620	57.640	0,51	81	0,51	
Feld 18	57.640	57.660	0,48	81	0,48	18/1 18/3
	57.660	57.680	0,48	81	0,48	
	57.680	57.700	0,48	81	0,48	
	57.700	57.720	0,47	81	0,47	
	57.720	57.740	0,49	81	0,49	
	57.740	57.760	0,47	81	0,47	
Feld 19	58.400	58.420	0,36	81	0,36	19/1 19/2 19/3 19/4
	58.420	58.440	0,37	81	0,37	
	58.440	58.460	0,37	81	0,37	
	58.460	58.480	0,39	81	0,39	
	58.480	58.500	0,39	81	0,39	
	58.500	58.520	0,38	81	0,38	
	58.520	58.540	0,40	81	0,40	
	58.540	58.560	0,43	80	0,43	
58.560	58.580	0,40	81	0,40		
Feld 20	57.160	57.180	0,40	81	0,40	20A1 20A2 20A3 20A4 20B2 20B4
	57.180	57.200	0,40	81	0,40	
	57.200	57.220	0,38	81	0,38	
	57.220	57.240	0,36	81	0,36	
	57.240	57.260	0,38	81	0,38	
	57.260	57.280	0,42	81	0,42	
	57.280	57.300	0,39	81	0,39	
	57.300	57.320	0,41	81	0,41	
	57.320	57.340	0,44	81	0,44	
	57.340	57.360	0,42	81	0,42	
	57.360	57.380	0,41	81	0,41	
	57.380	57.400	0,41	81	0,41	
	57.400	57.420	0,42	81	0,42	
	Feld 21	56.760	56.780	0,38	81	
56.780		56.800	0,38	81	0,38	
56.800		56.820	0,37	81	0,37	
56.820		56.840	0,38	81	0,38	
56.840		56.860	0,39	81	0,39	
56.860		56.880	0,38	81	0,38	
56.880		56.900	0,38	81	0,38	
56.900		56.920	0,40	81	0,40	
56.920		56.940	0,41	81	0,41	

Anlage 2

PGM über Meßdrehzahl

$$\text{PGM} = f(U)$$

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Richtung Schweinfurt	
Felder 1 – 2	2
Felder 3 - 4	3
Felder 5 - 6	4
Felder 7 - 8	5
Felder 9 - 10	6
2. Richtung Bamberg	
Felder 11 – 12	7
Felder 13 – 14	8
Felder 15 - 16	9
Felder 17 - 18	10
Felder 19 - 20	11
Feld 21	12

Legende der Eintragungen:

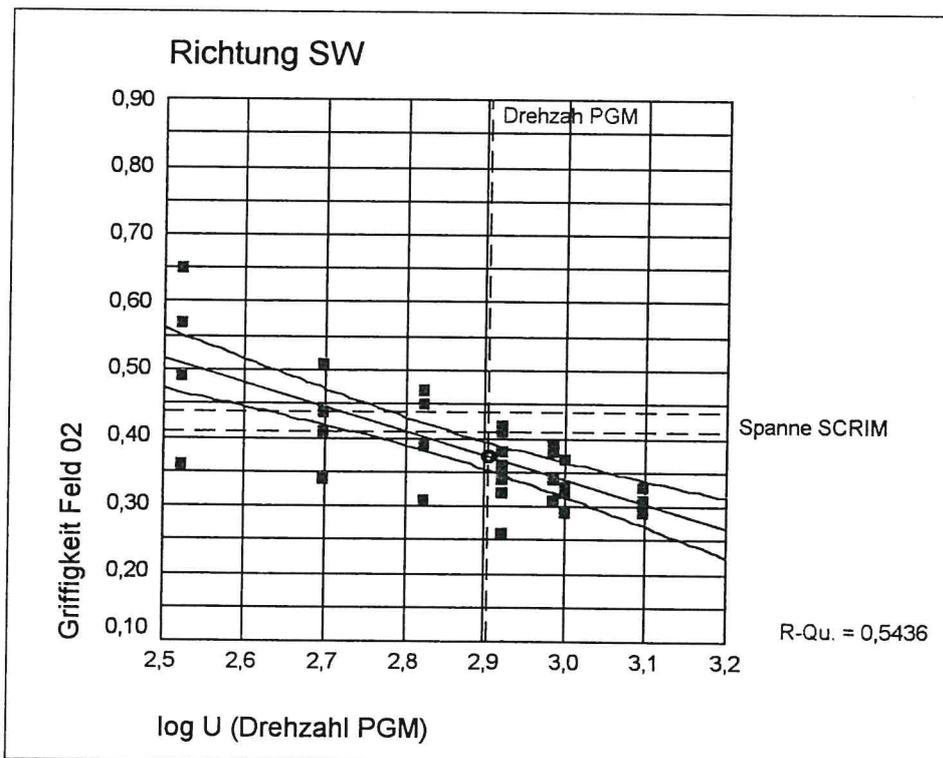
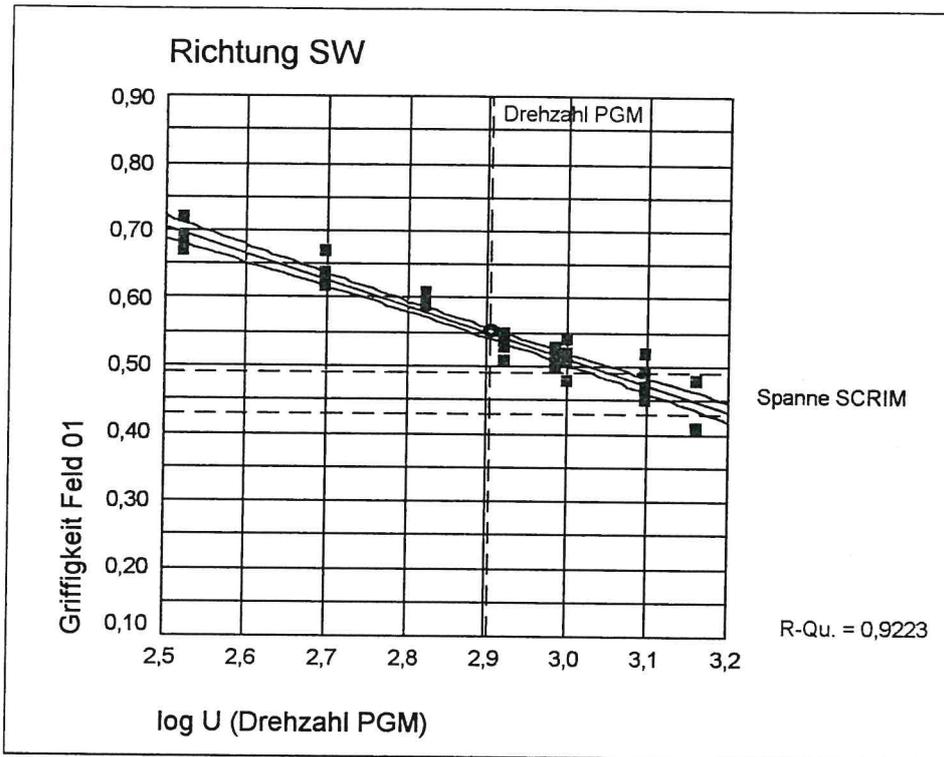
Rot: Meßpunkte, Regressionskurve mit Konfidenzintervallen (95%)

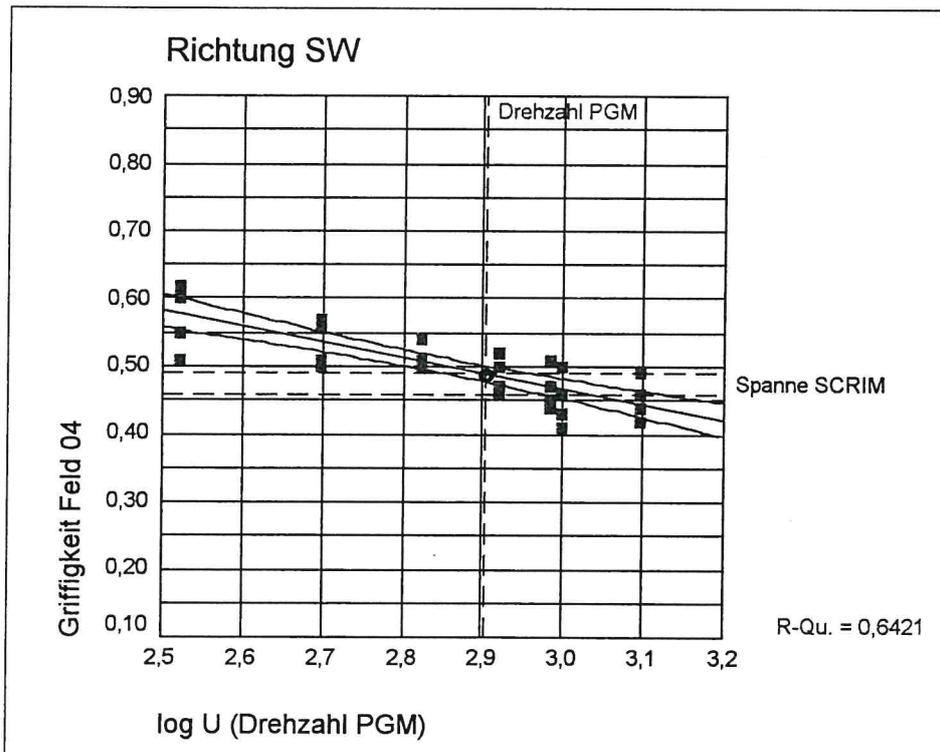
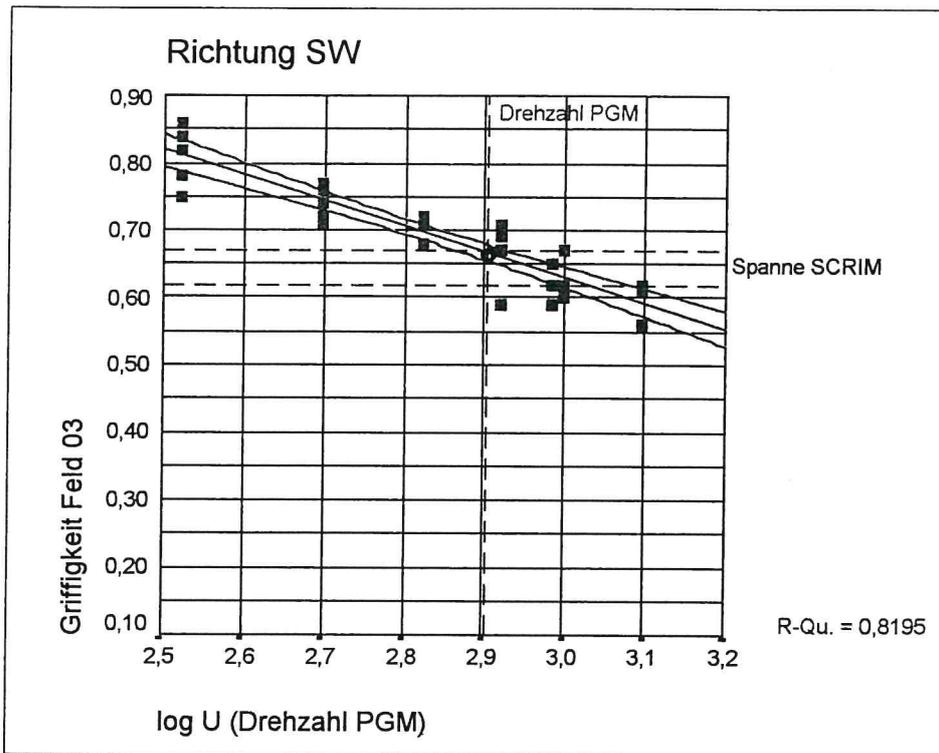
Blau: Spannweite der SCRIM-Messungen im Versuchsfeld (Schriftgröße = Mitte)

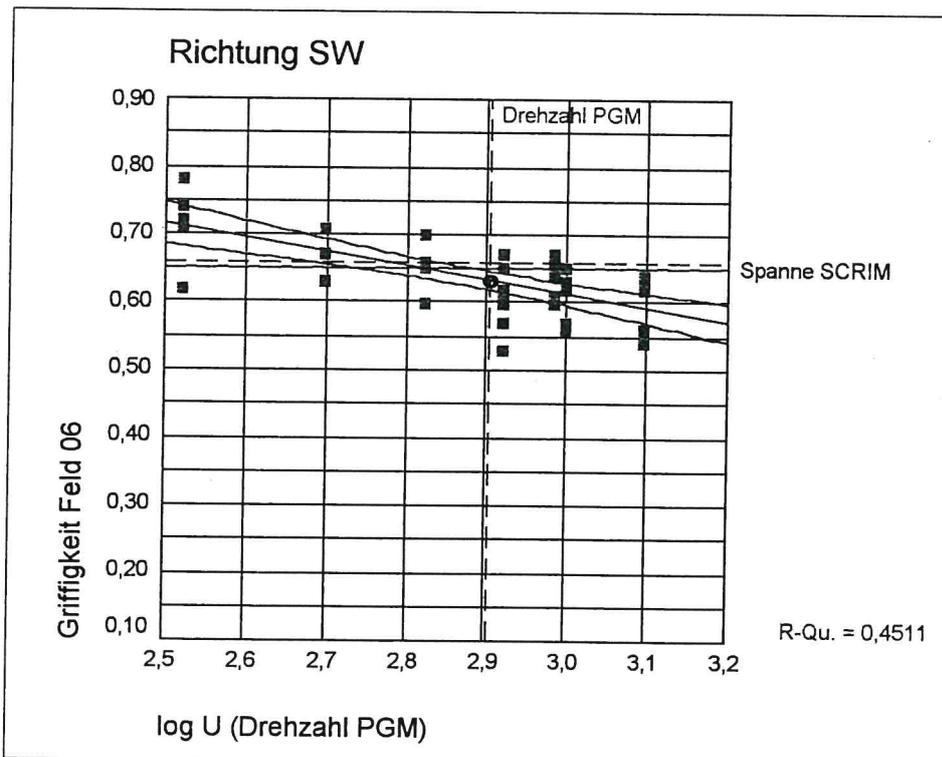
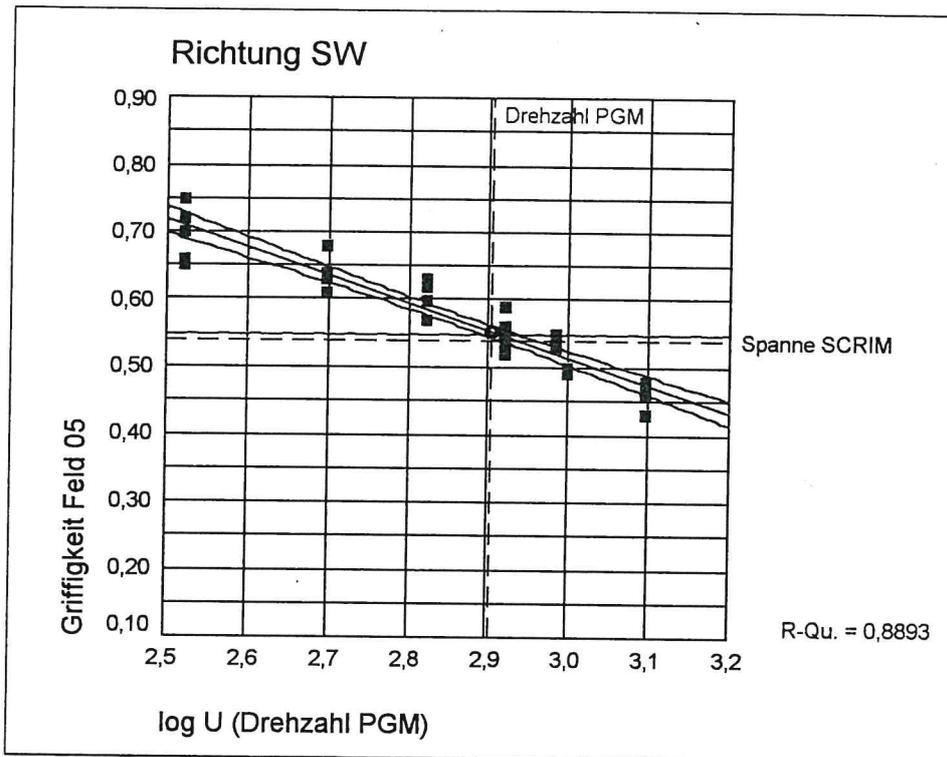
Grün: Gewählte PGM-Drehzahl 800 min⁻¹

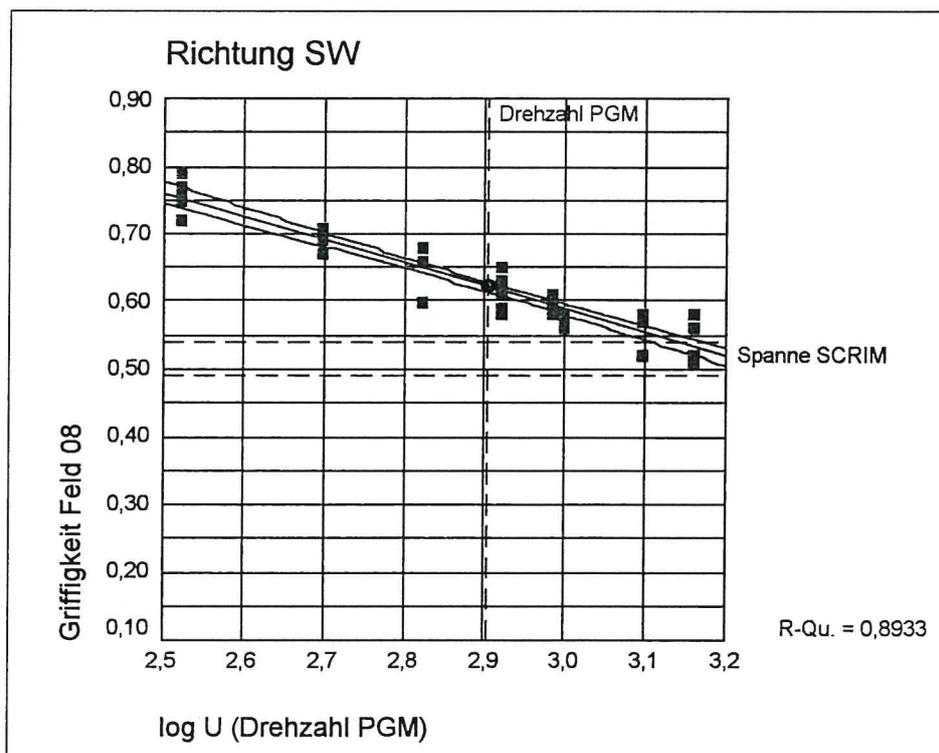
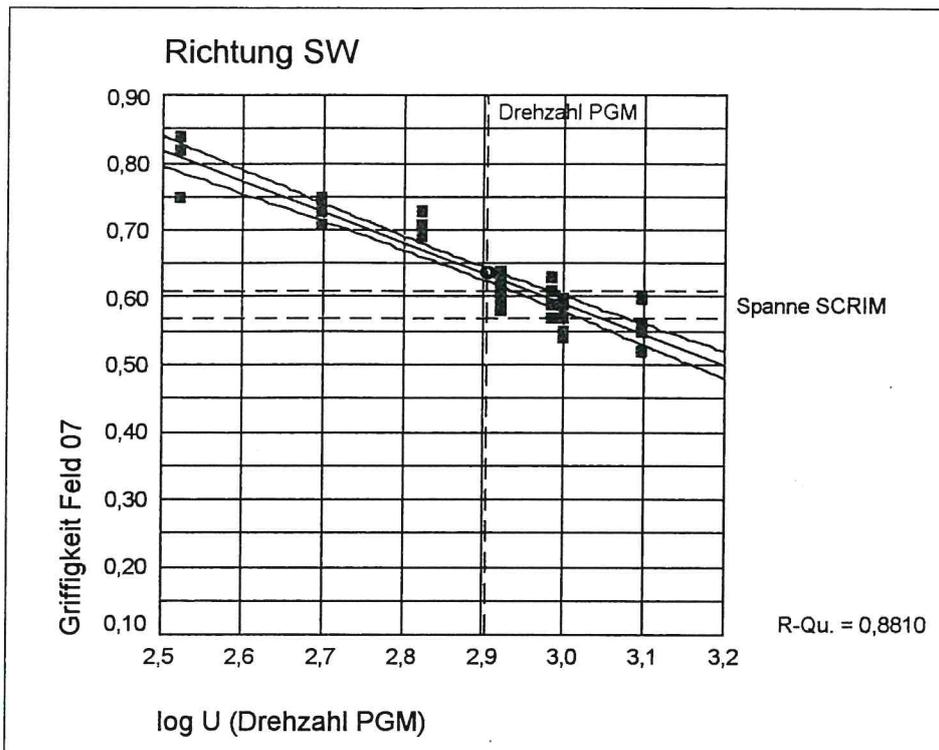
Kreis: PGM 800

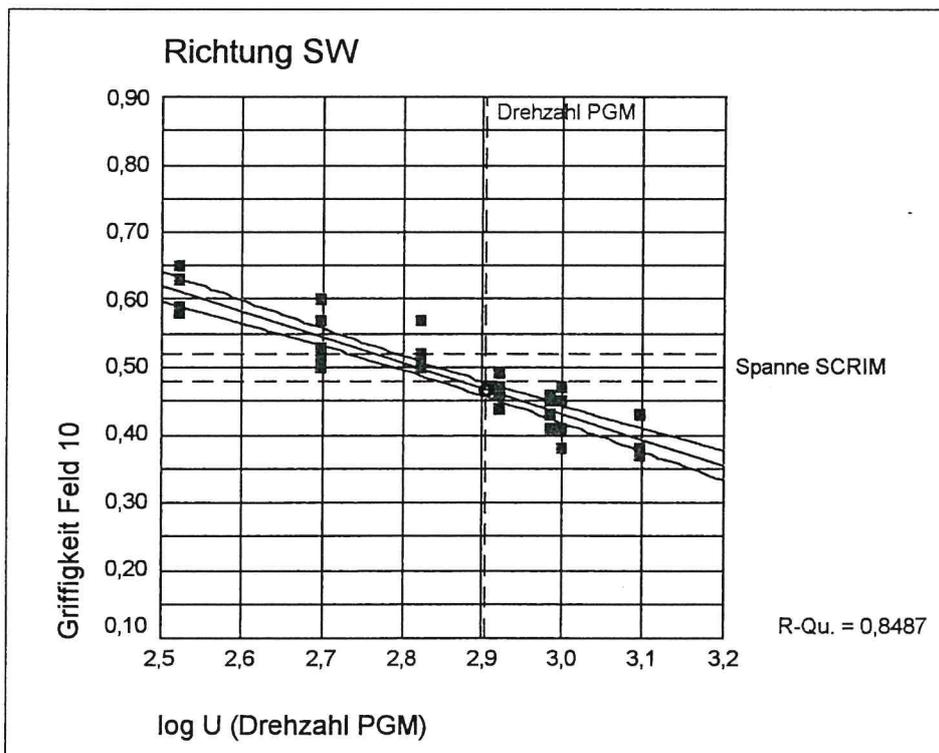
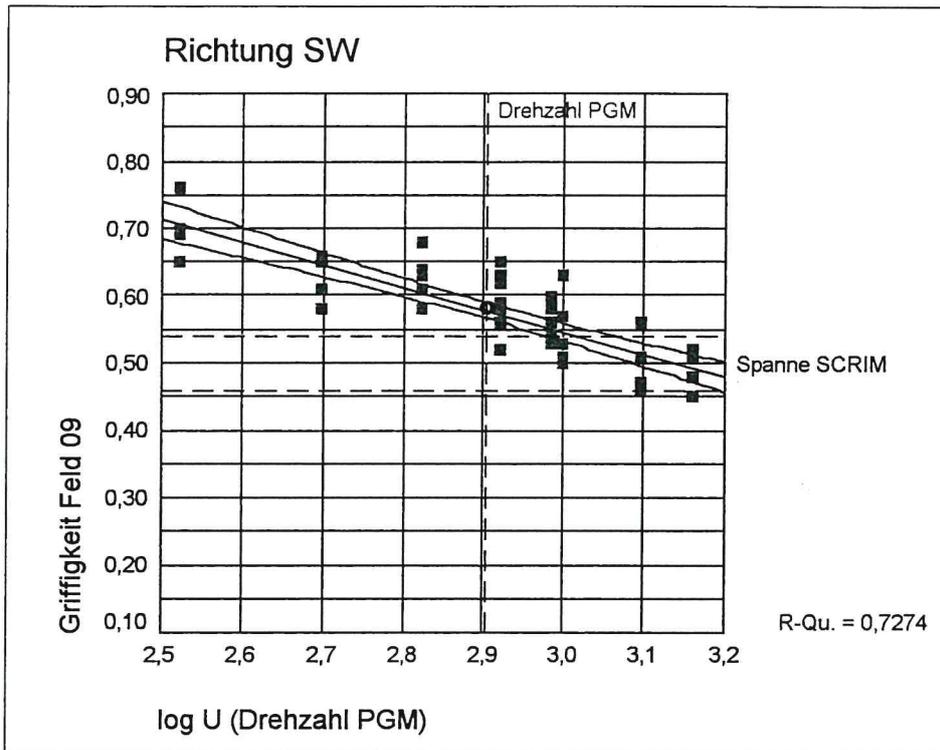
Richtung Schwandorf



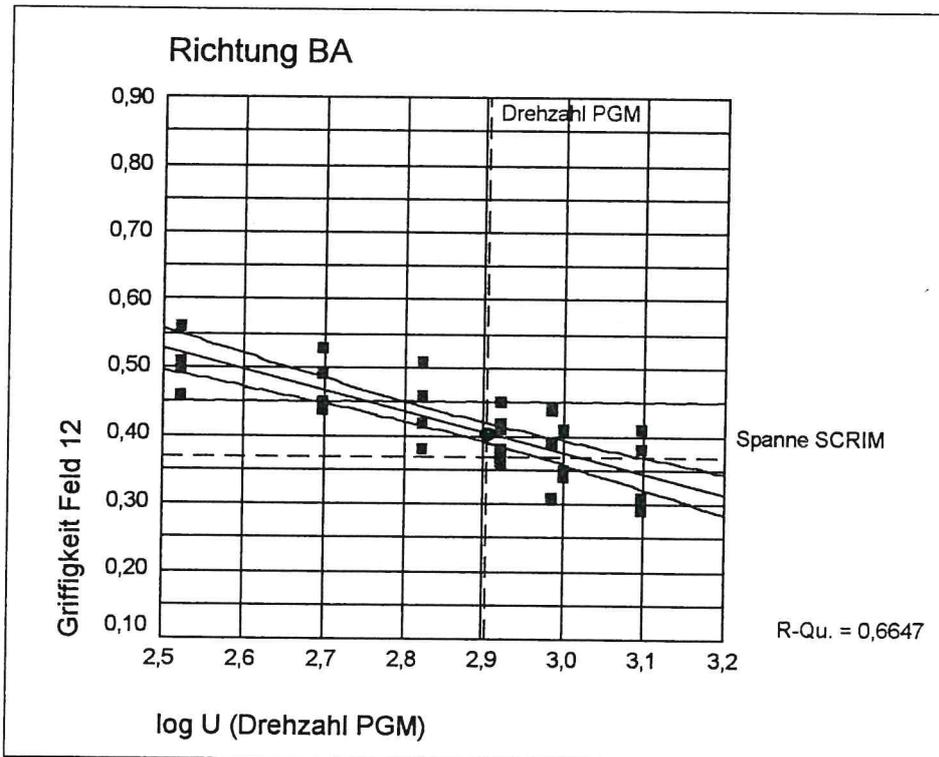
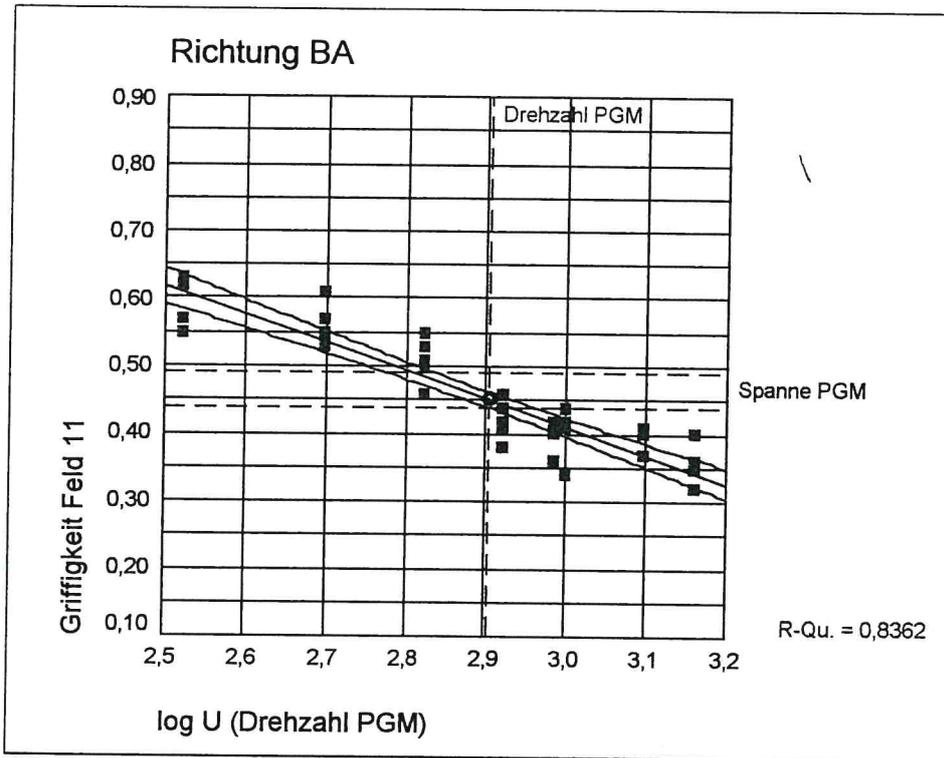


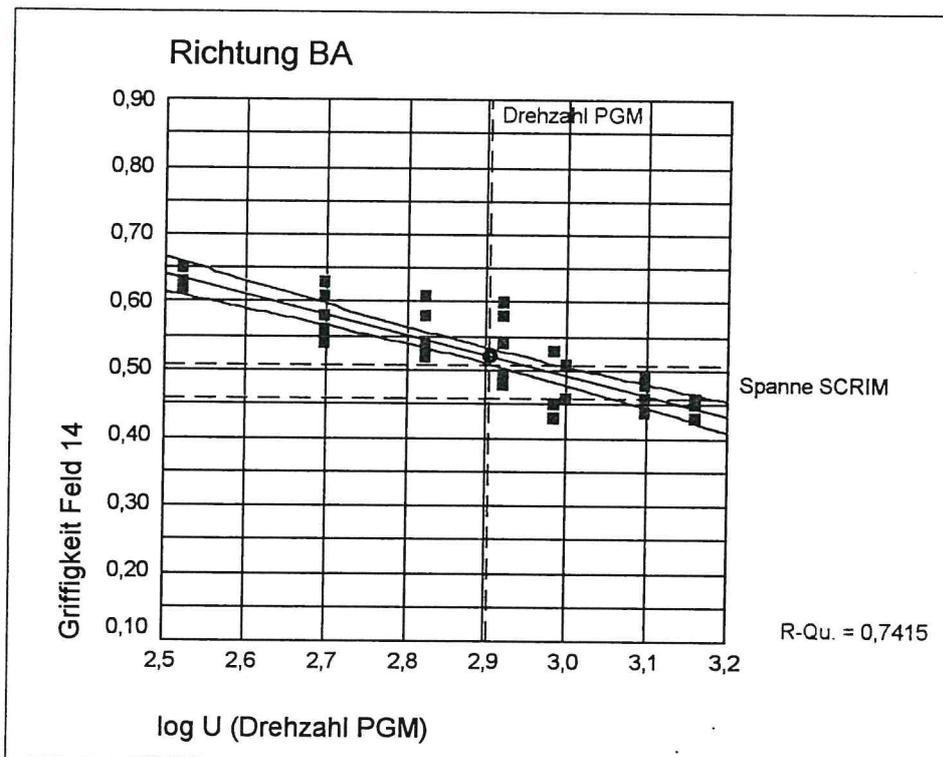
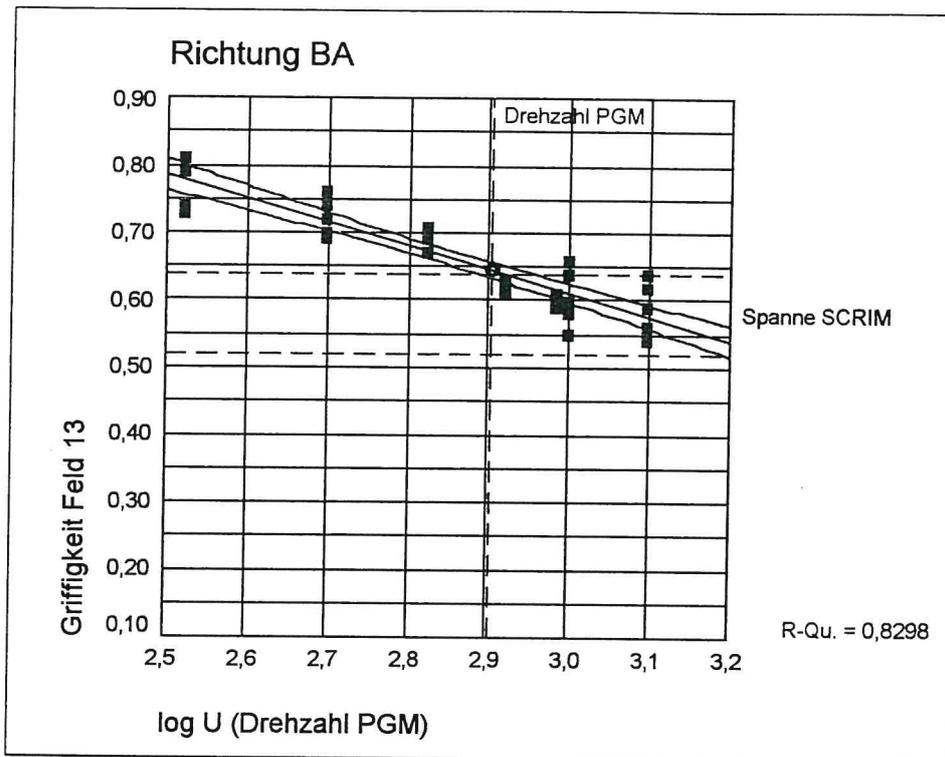


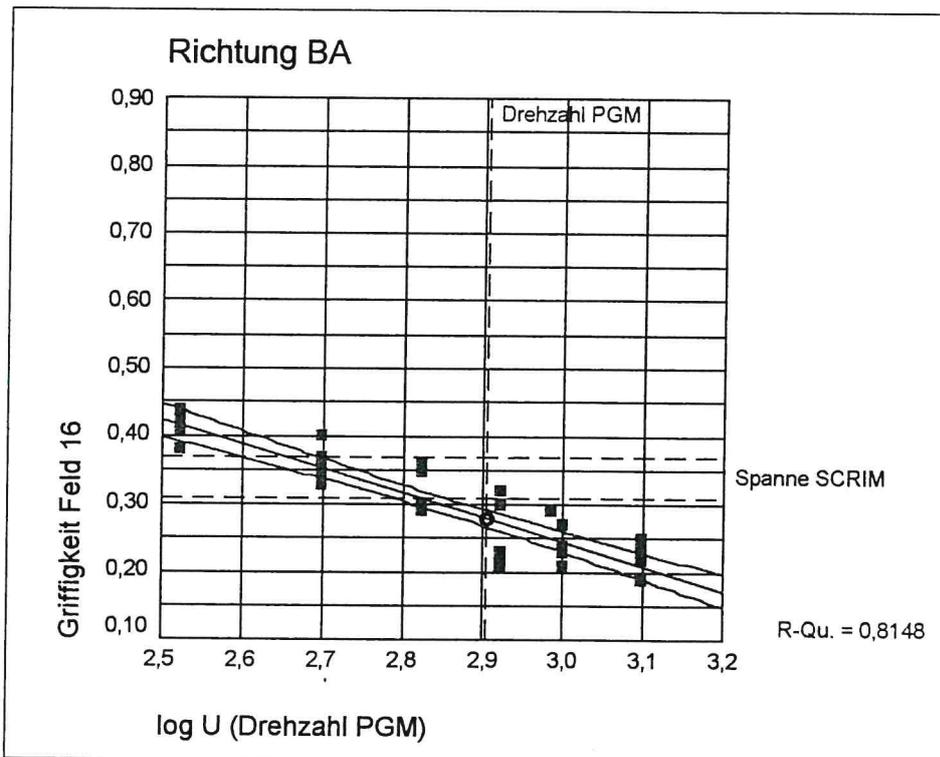
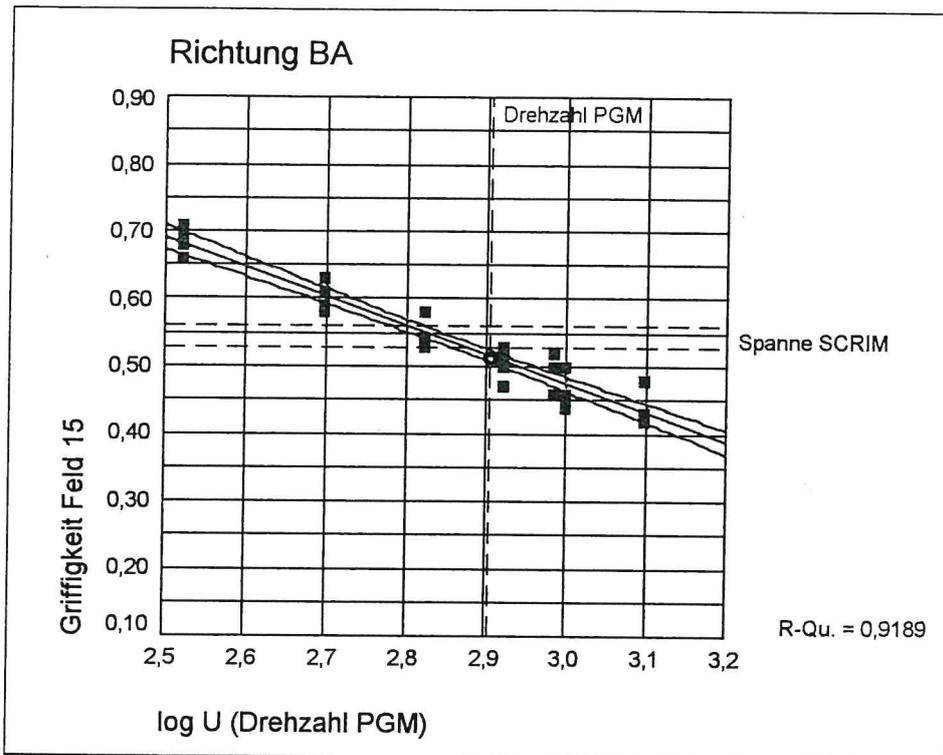


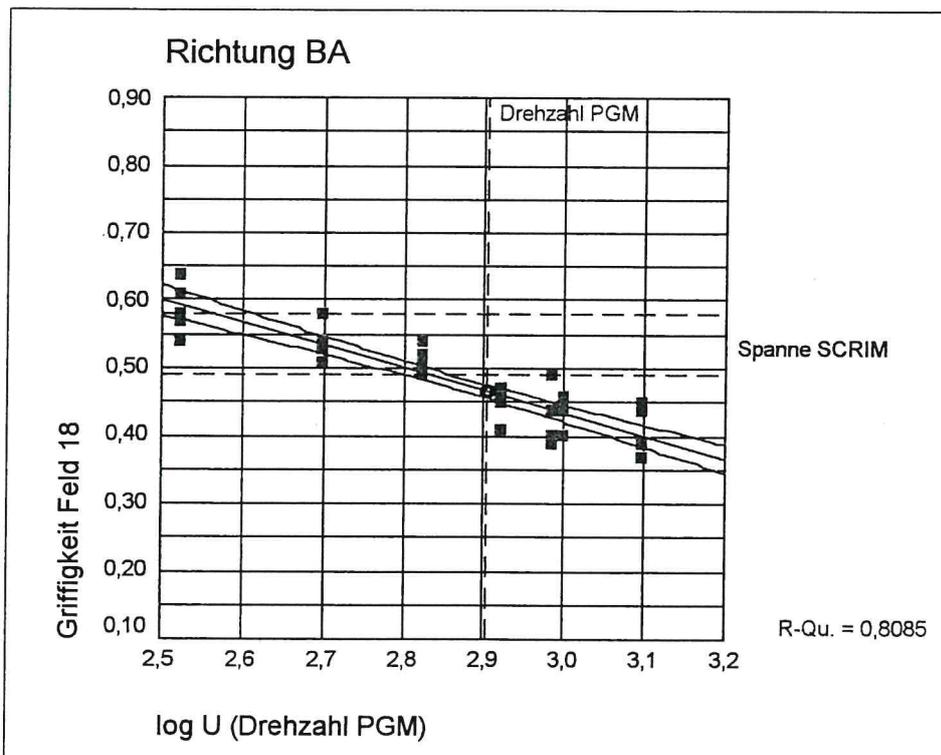
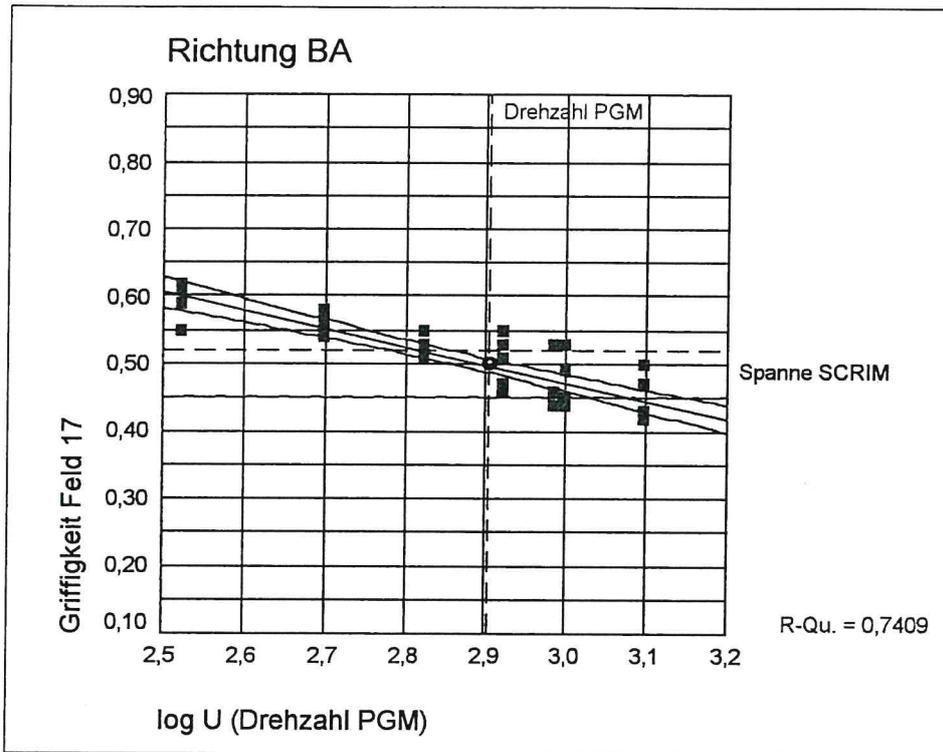


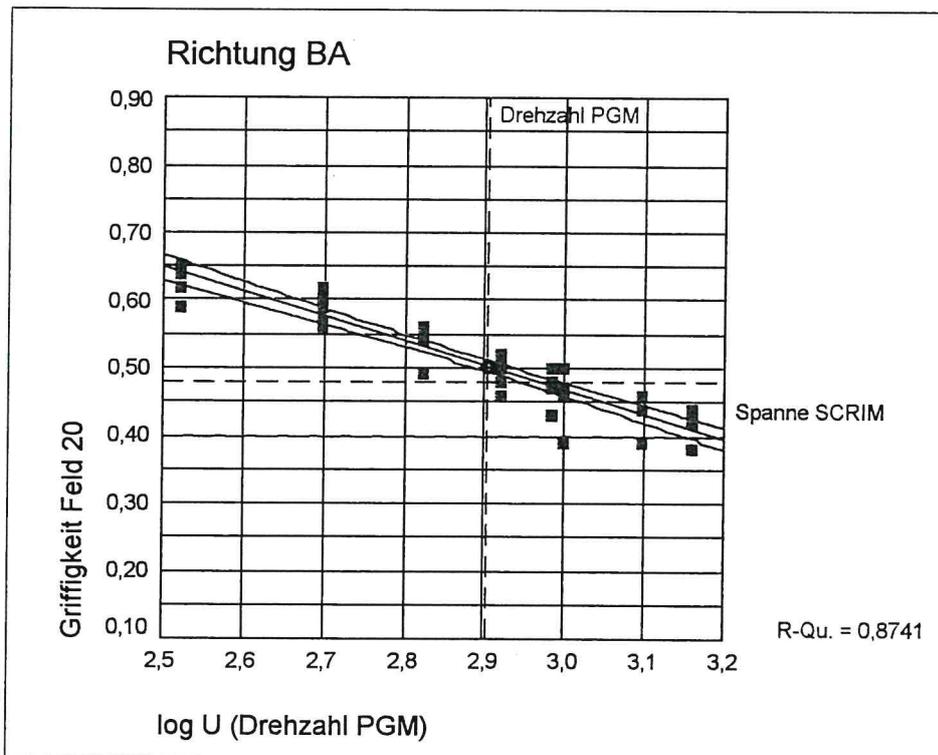
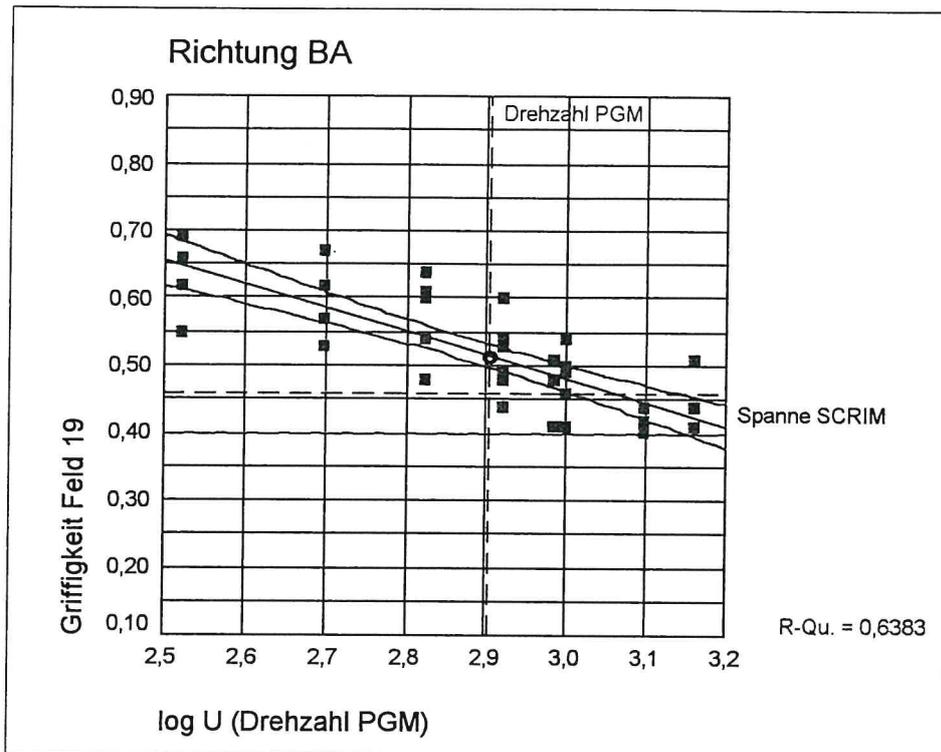
Richtung Bamberg

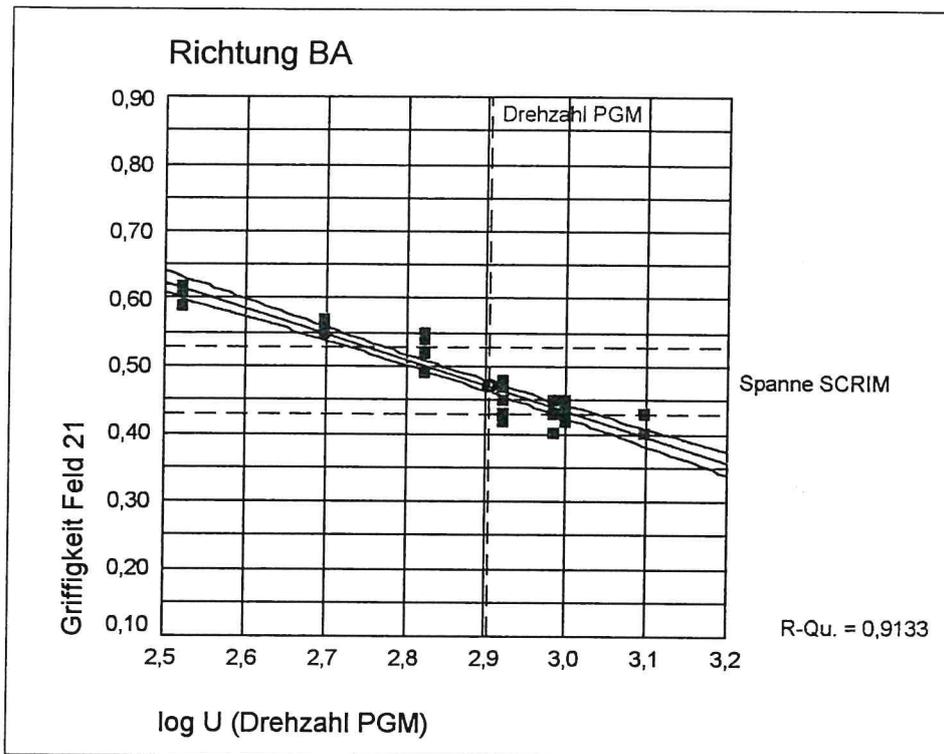












Anlage 3

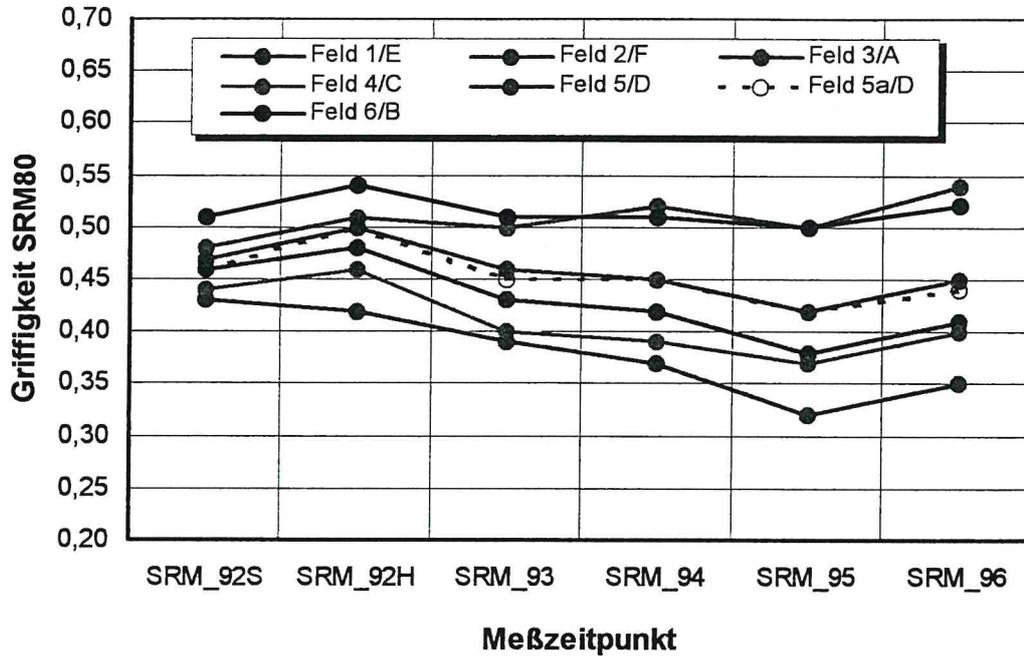
Versuchsstrecke A 70 Bamberg
Griffigkeitsmessungen mit Stuttgarter Reibungsmesser SRM

Grafische Darstellung des SRM – Verlaufes

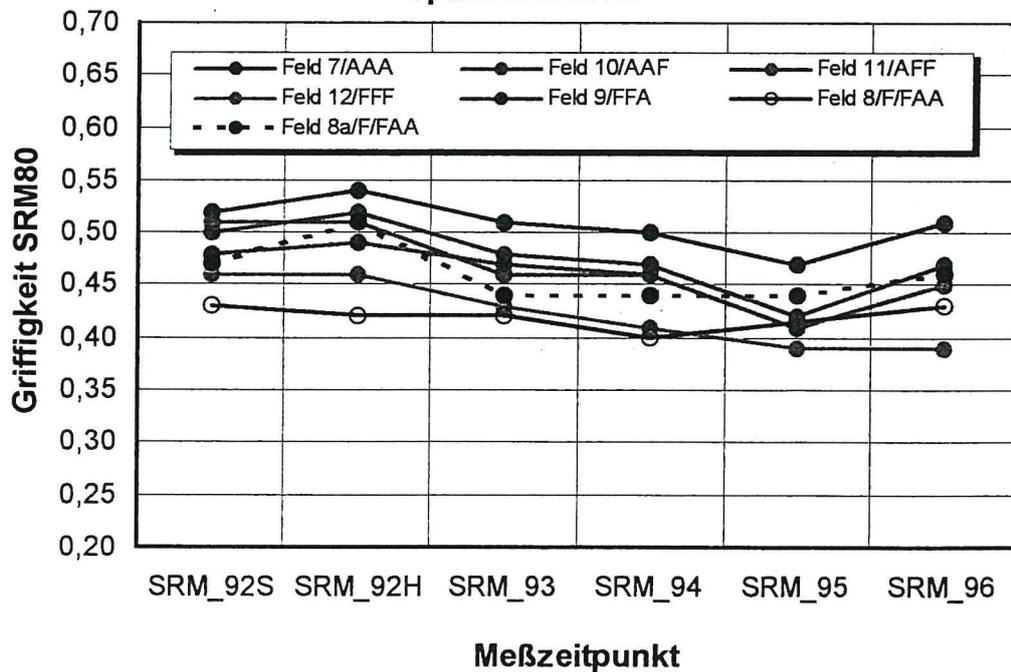
Inhaltsverzeichnis

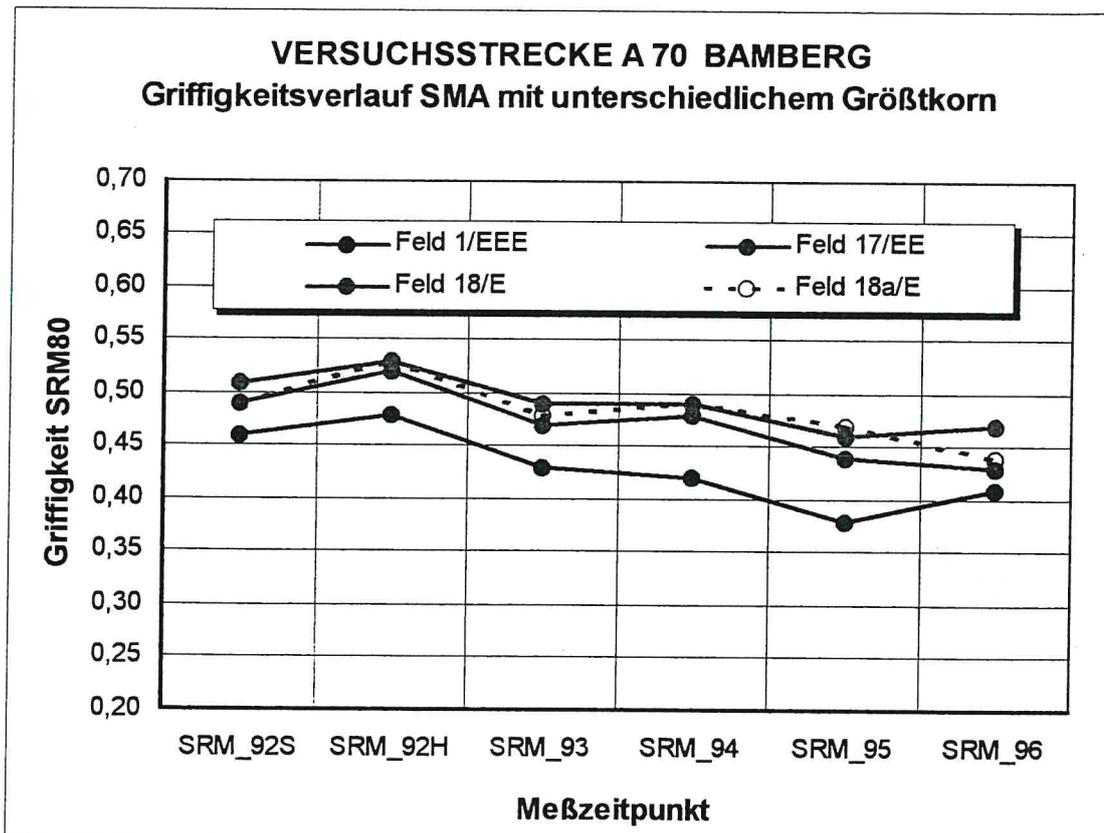
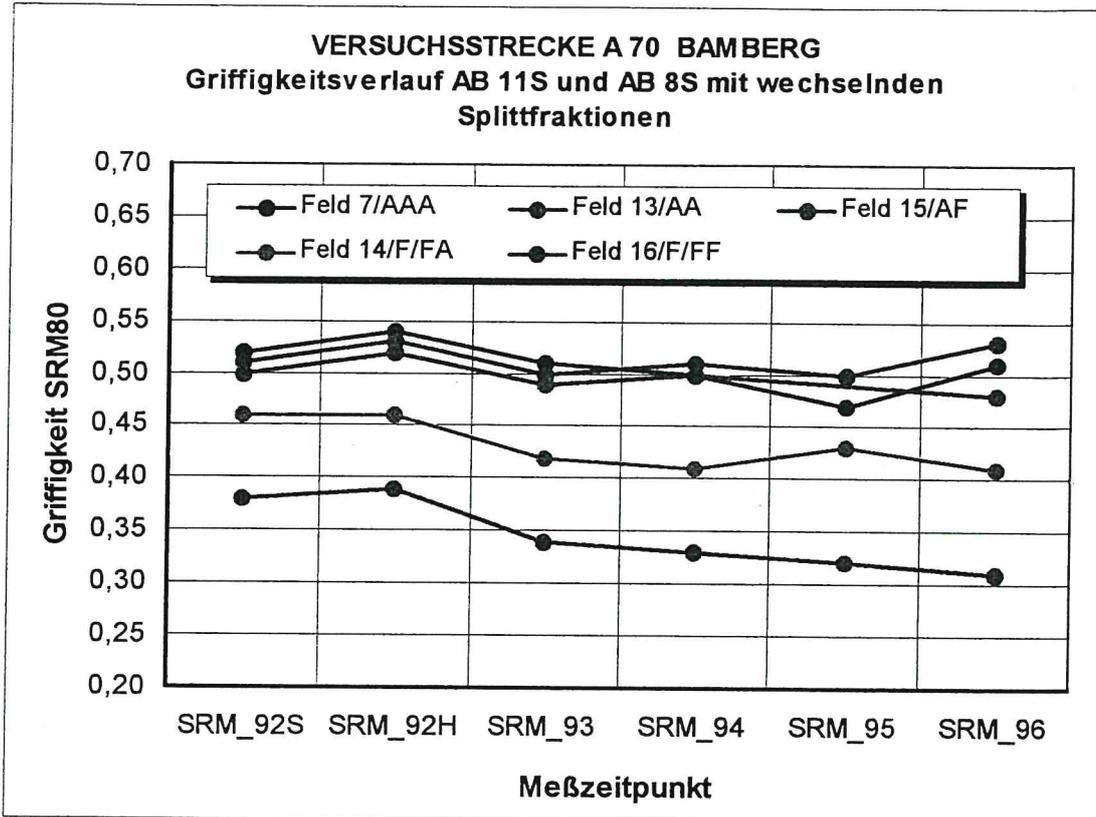
	Seite
1. Griffigkeitsverlauf SMA 11S	2
2. Griffigkeitsverlauf AB 11S mit wechselnden Splittfraktionen	2
3. Griffigkeitsverlauf AB 8S mit wechselnden Splittfraktionen	3
4. Griffigkeitsverlauf SMA mit unterschiedlichem Größtkorn	3
5. Griffigkeitsverlauf AB mit unterschiedlichem Größtkorn	4

VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf SMA 11S

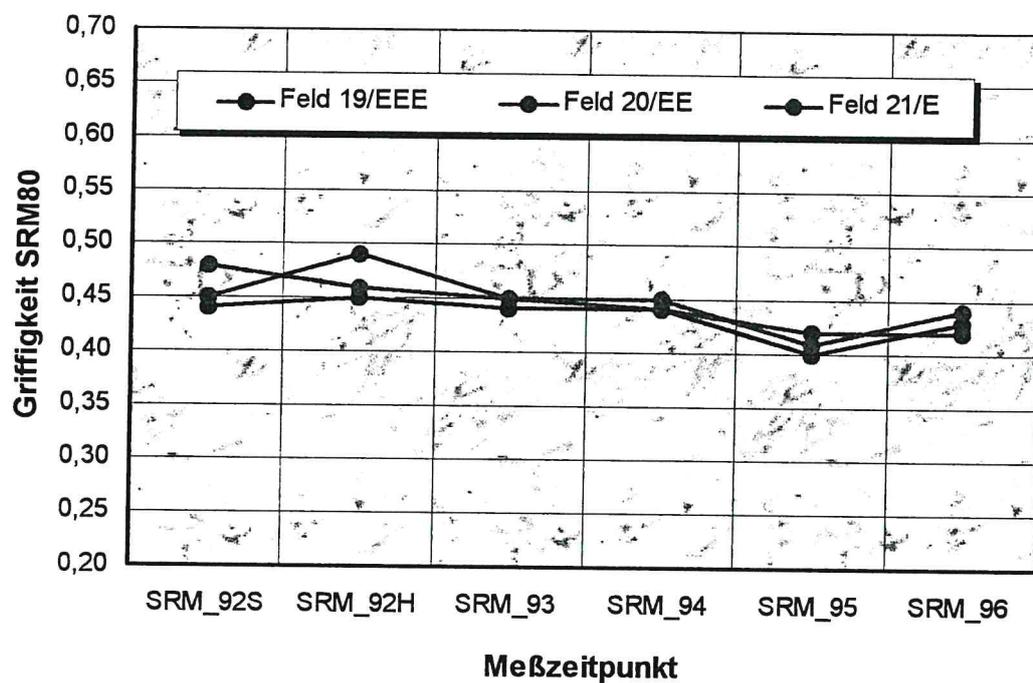


VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf AB 11S mit wechselnden Splittfraktionen





VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf AB mit unterschiedlichem Größtkorn



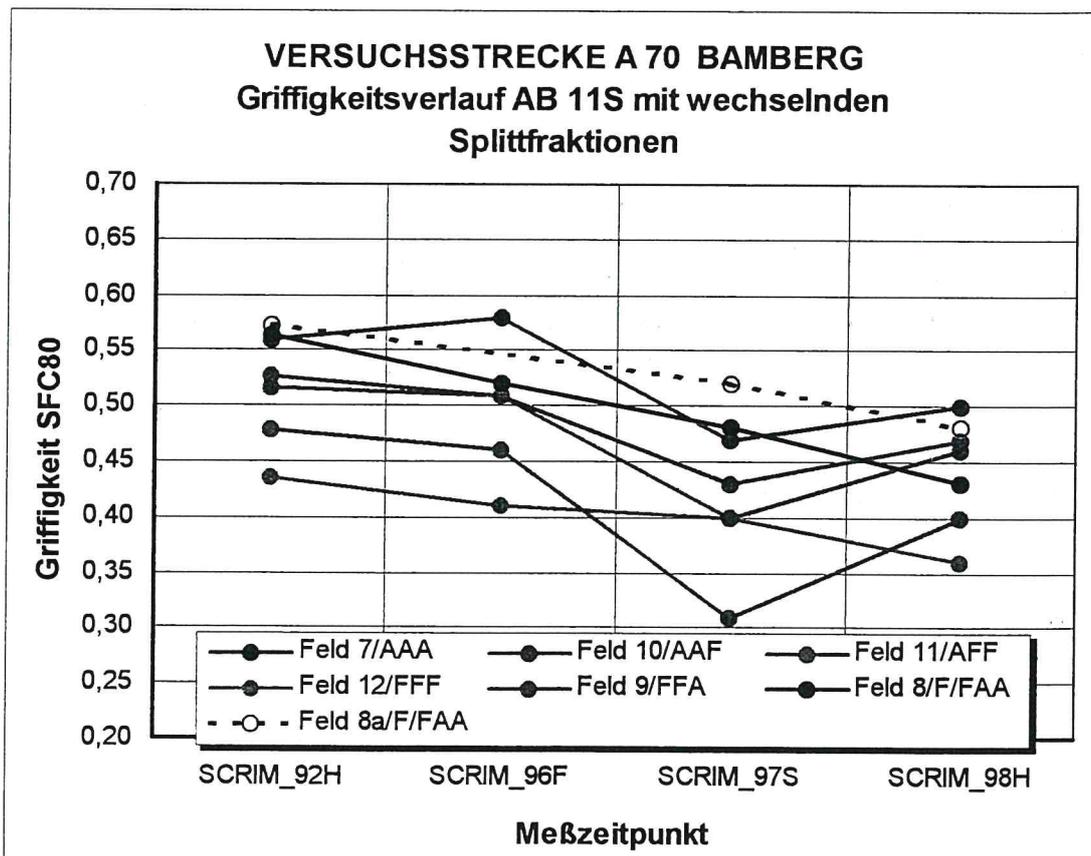
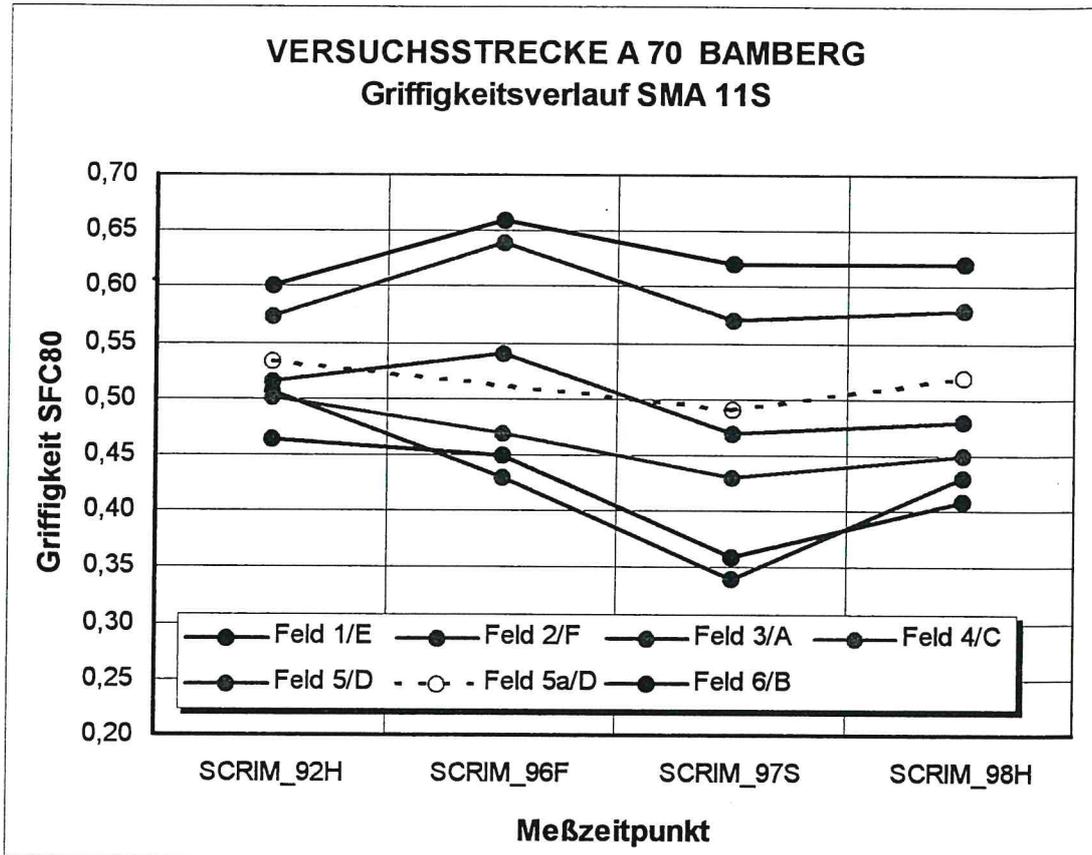
Anlage 4 a

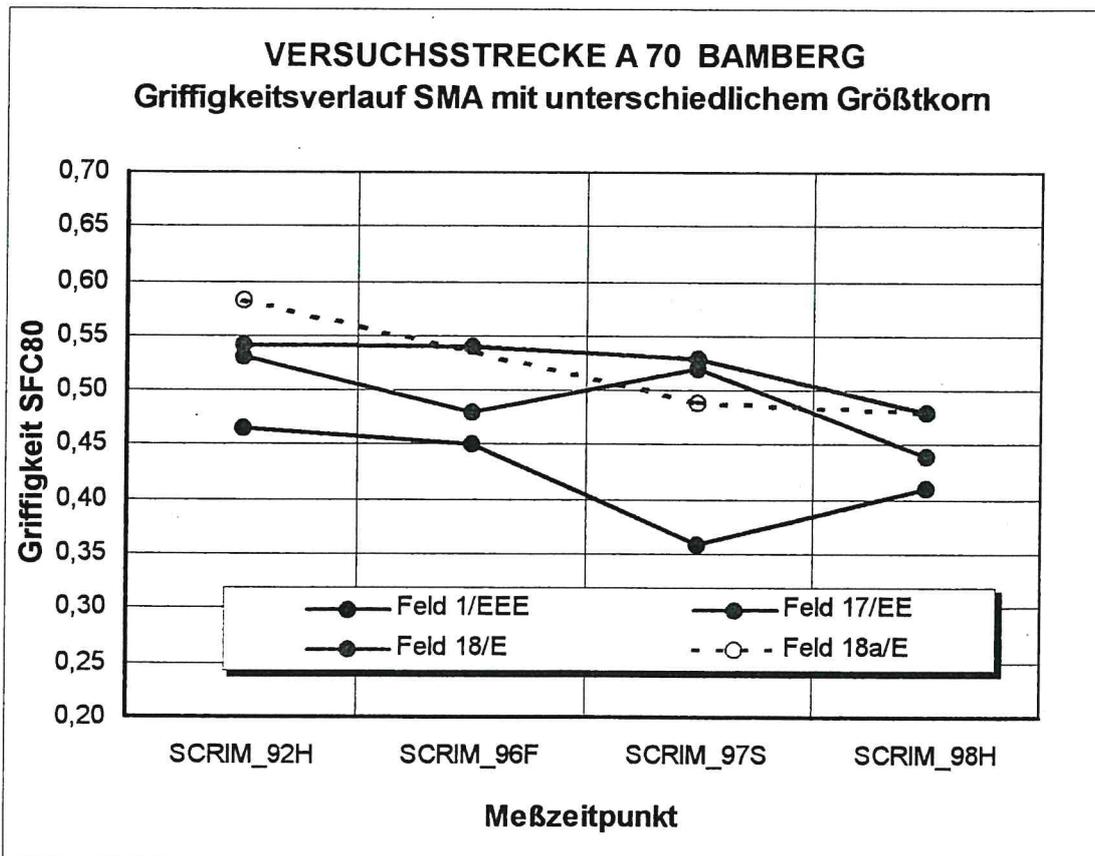
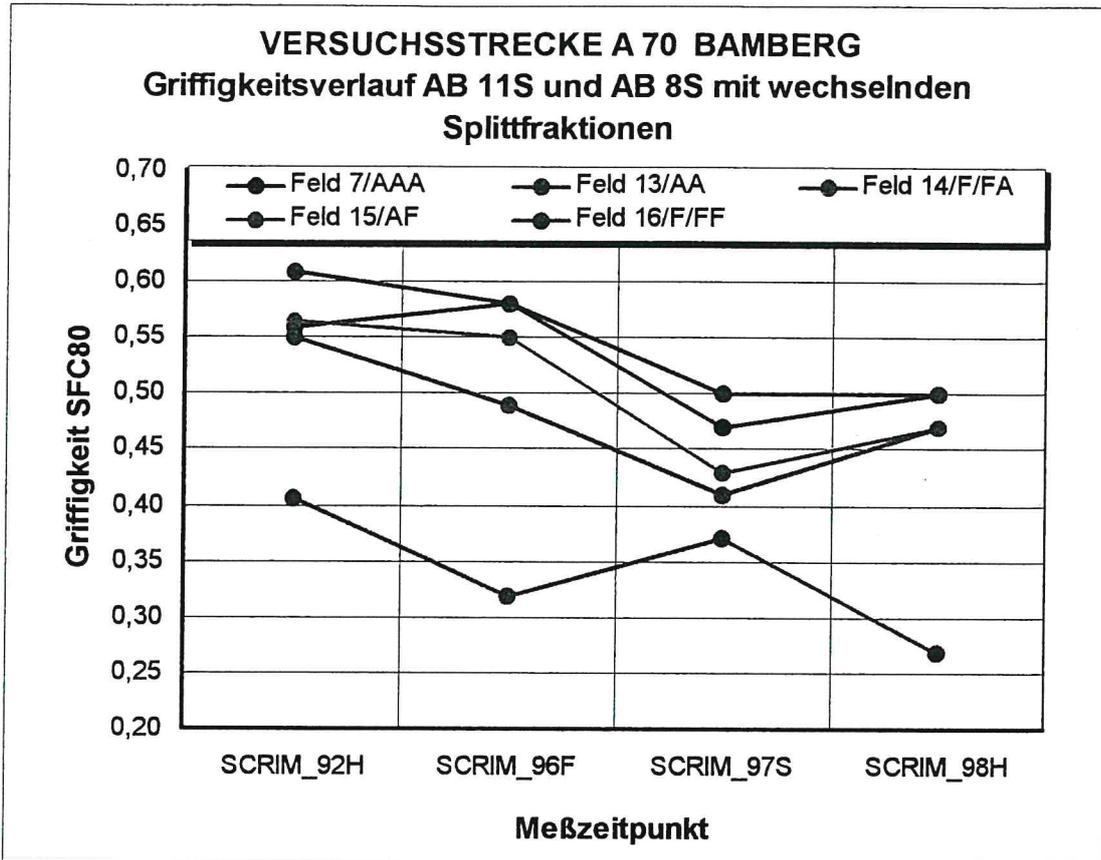
Versuchsstrecke A 70 Bamberg
Griffigkeitsmessungen mit SCRIM

Grafische Darstellung des SCRIM – Verlaufes

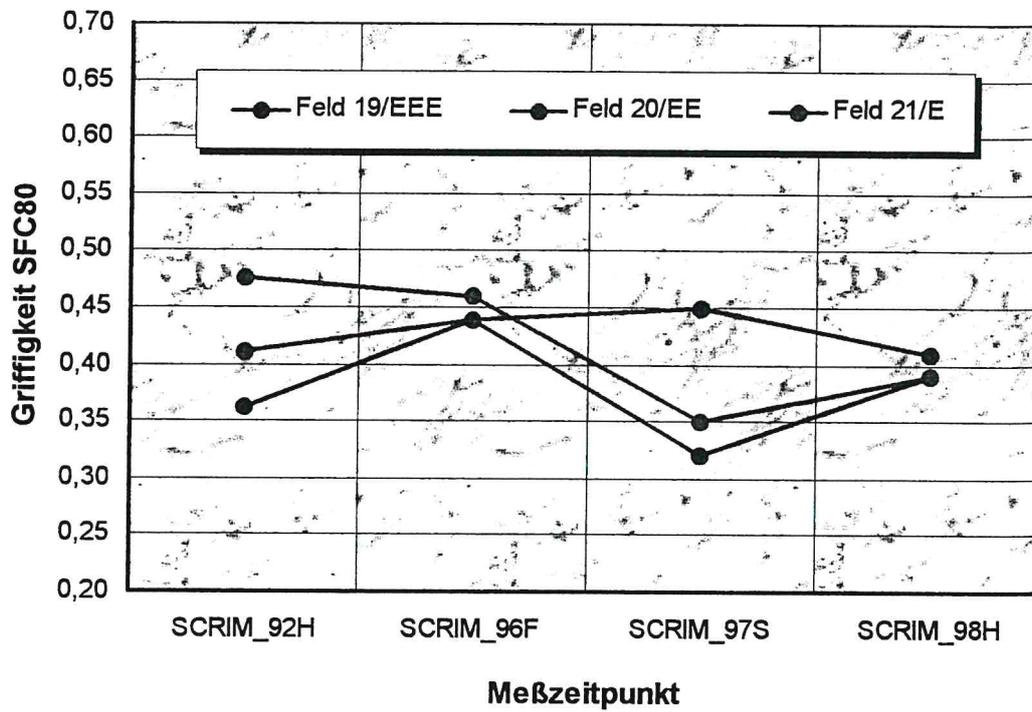
Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Griffigkeitsverlauf SMA 11S	2
2. Griffigkeitsverlauf AB 11S mit wechselnden Splittfraktionen	2
3. Griffigkeitsverlauf AB 8S mit wechselnden Splittfraktionen	3
4. Griffigkeitsverlauf SMA mit unterschiedlichem Größtkorn	3
5. Griffigkeitsverlauf AB mit unterschiedlichem Größtkorn	4





VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf AB mit unterschiedlichem Größtkorn



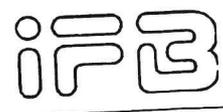
Anlage 4 b

Versuchsstrecke A 70 Bamberg
Griffigkeitsmessungen mit SCRIM

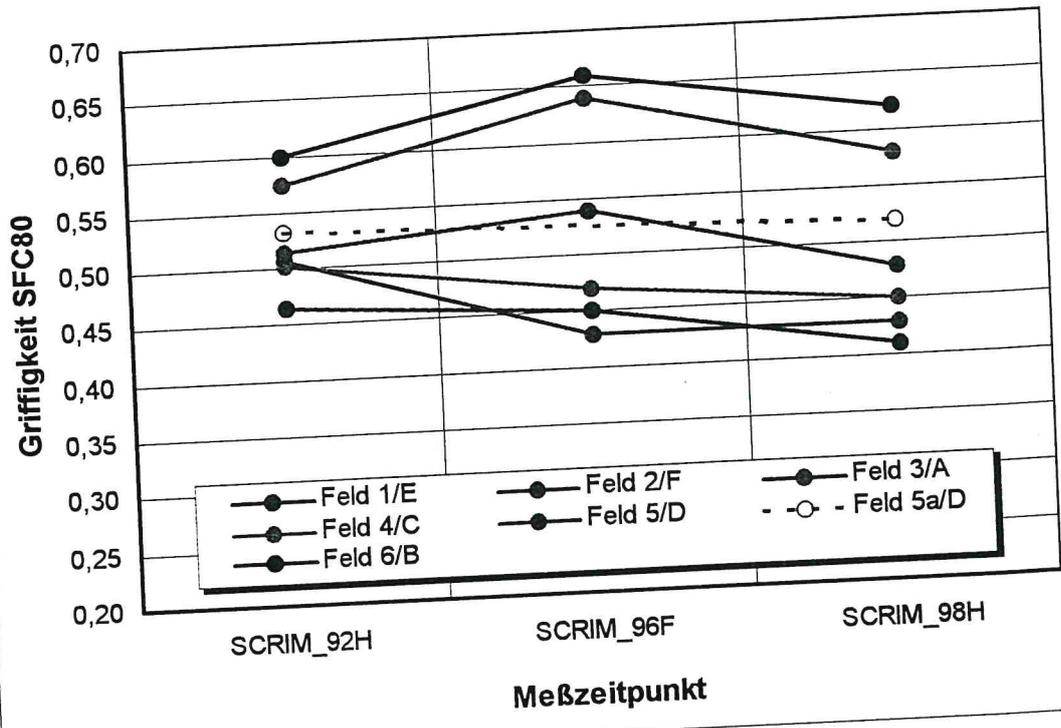
Grafische Darstellung des SCRIM – Verlaufes

Inhaltsverzeichnis

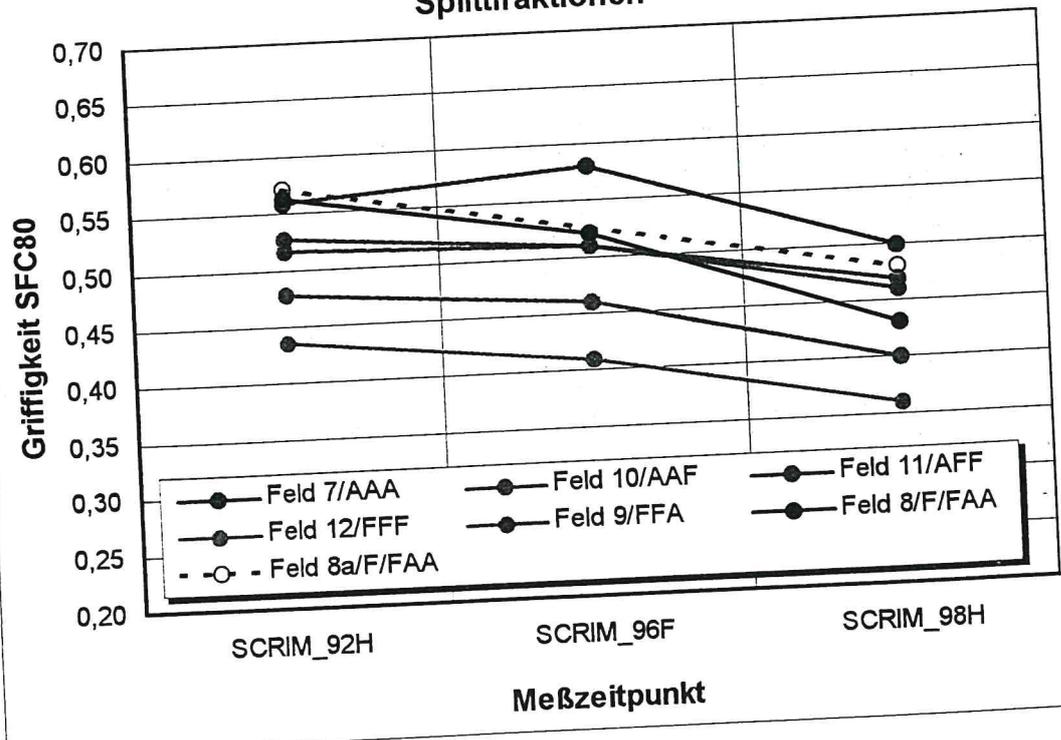
	Seite
1. Griffigkeitsverlauf SMA 11S	2
2. Griffigkeitsverlauf AB 11S mit wechselnden Splittfraktionen	2
3. Griffigkeitsverlauf AB 8S mit wechselnden Splittfraktionen	3
4. Griffigkeitsverlauf SMA mit unterschiedlichem Größtkorn	3
5. Griffigkeitsverlauf AB mit unterschiedlichem Größtkorn	4

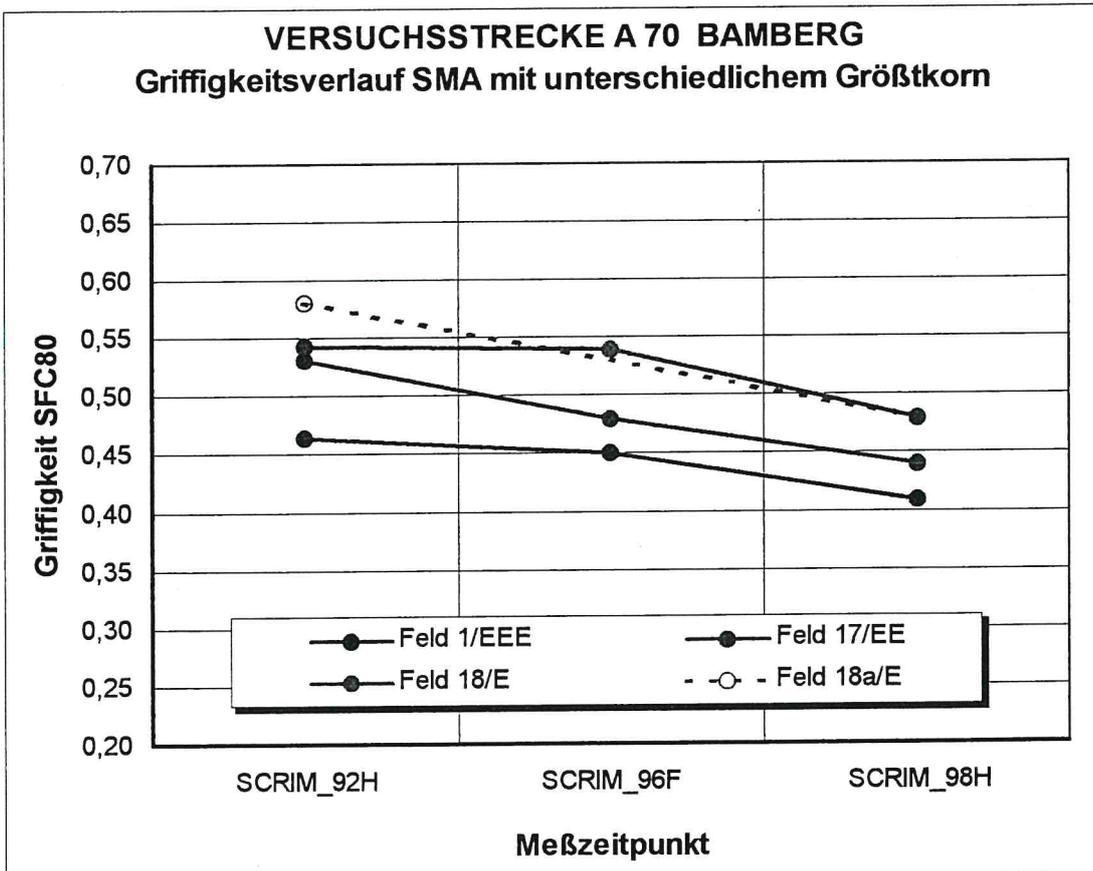
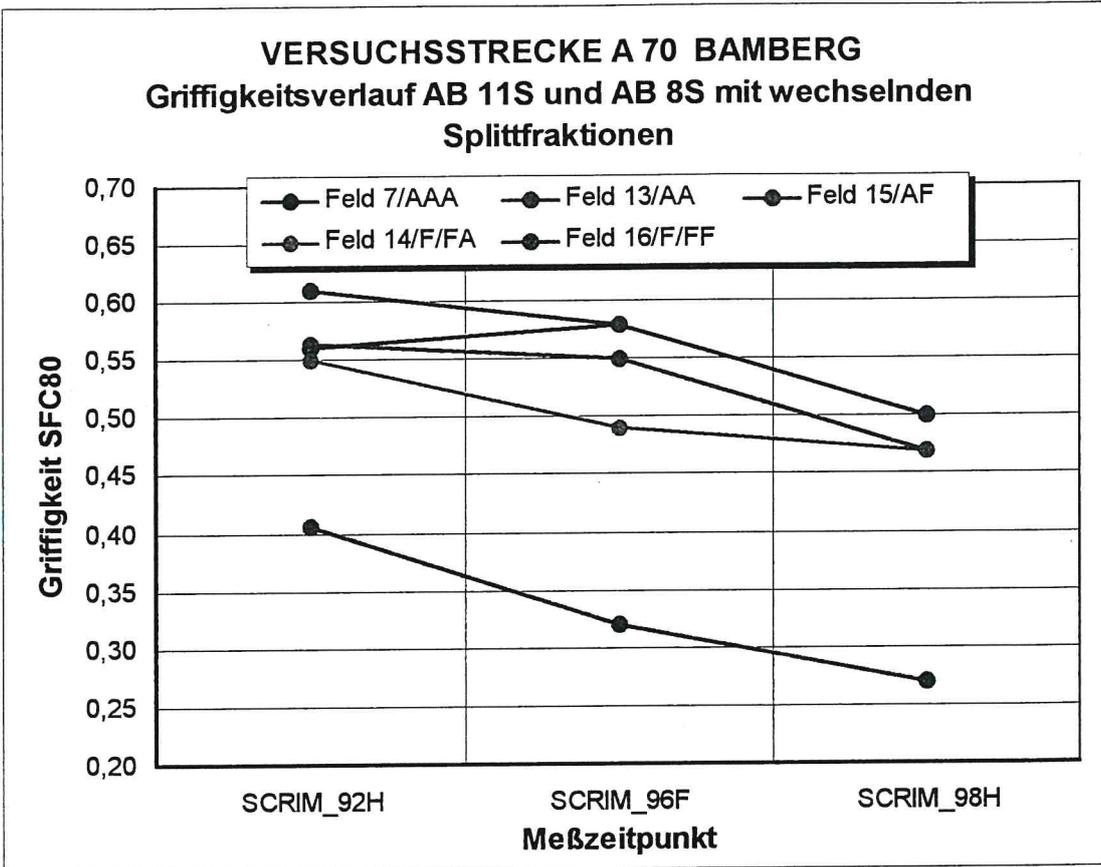


VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf SMA 11S

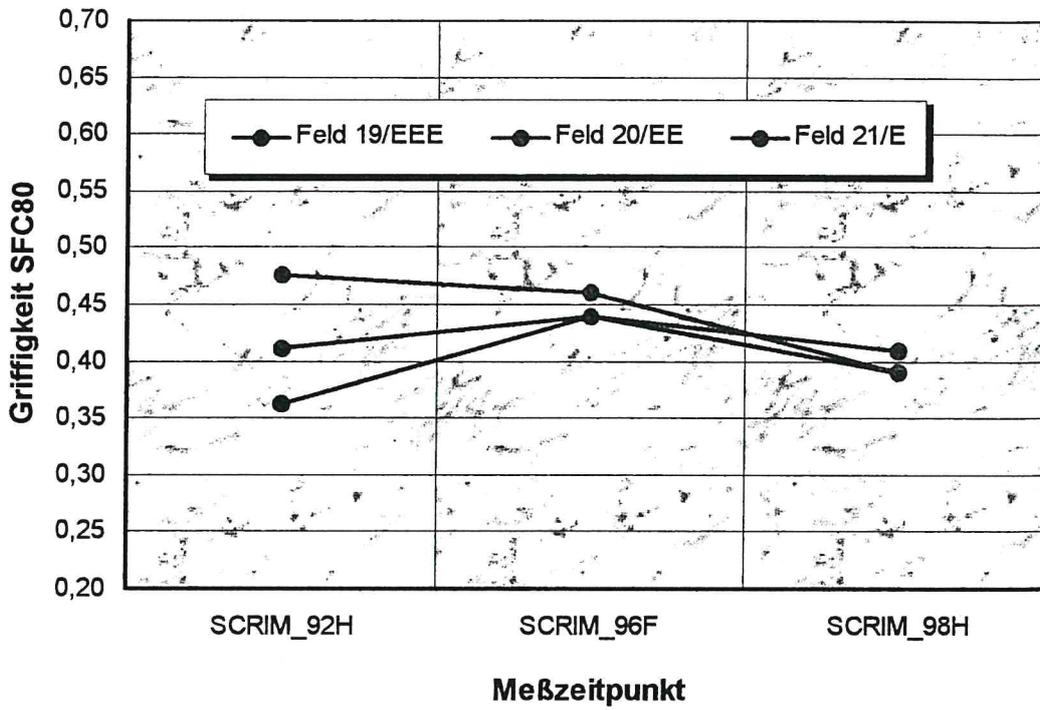


VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf AB 11S mit wechselnden Splittfraktionen





VERSUCHSSTRECKE A 70 BAMBERG
Griffigkeitsverlauf AB mit unterschiedlichem Größtkorn



Anlage 5

Mittlere Verlaufskurven

$$\text{PGM} = f(t)$$

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Richtung Schweinfurt	
Felder 1 – 2	2
Felder 3 - 4	3
Felder 5 - 6	4
Felder 7 - 8	5
Felder 9 - 10	6
2. Richtung Bamberg	
Felder 11 – 12	7
Felder 13 – 14	8
Felder 15 - 16	9
Felder 17 - 18	10
Felder 19 - 20	11
Feld 21	12

