

Bewertungshintergrund für Prüfverfahren zur Griffigkeitsprognose

FA 7.204

Forschungsstelle: Technische Universität München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung (Prof. Dr.-Ing. P. Schießl)

Bearbeiter: Wörner, T. / Wenzl, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: April 2008

1 Aufgabenstellung

Mit Einführung der ZTV Asphalt-StB 01, der ZTV Beton-StB 01 und der Veröffentlichung des ARS 24/2003 vom 07.07.2003 sind Anforderungen an die Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen zum Zeitpunkt der Abnahme und bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche vertraglich festgeschrieben worden. Die Griffigkeitsmessung von Fahrbahnoberflächen wird in der Praxis mit der Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM) durchgeführt. Das Messprinzip wird in Deutschland inzwischen Seitenkraftmessverfahren (SKM) genannt. Bestimmungen mit der kombinierten Messmethode SRT-Pendel/Ausflussmesser sind im Rahmen von Kontrollprüfungen zulässig.

Diese Regelungen stellen insbesondere zum Zeitpunkt des Ablaufs der Verjährungsfrist für die Gewährleistung für die Auftragnehmer (Lieferanten der Gesteinskörnungen, Asphalt- und Betonhersteller, Straßenbauindustrie) ein Erfüllungsrisiko dar, weil es der vorhandene Bewertungshintergrund nicht erlaubt, auch unter wirtschaftlichen Aspekten, Fahrbahnoberflächen zu

konzipieren, welche die gestellten Anforderungen auch über den vertraglichen Zeitraum hinaus sicher erfüllen werden. Um eine gesicherte Prognose der auf Fahrbahnoberflächen eintretenden Griffigkeitswerte zu erreichen, ist es notwendig, den in situ vorhandenen Beanspruchungszustand zum Prognosezeitpunkt im Labor so wirklichkeitsnah als möglich zu erzeugen.

In dem hier vorliegenden Forschungsvorhaben wurden Untersuchungen zur Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Praxisstrecken mit zwei Laborgeräten (Prüfverfahren Wehner/Schulze – PWS, Polier- und Griffigkeitsmessgerät – PGM) durchgeführt. Wie eine Vorstudie gezeigt hat, eignen sich die beiden Verfahren grundsätzlich zur Durchführung von Griffigkeitsprognosen.

2 Untersuchungen

2.1 Allgemeines

Zielsetzung der Untersuchungen war es, eine Vorgehensweise für Untersuchungen der Griffigkeitsentwicklung mit Prüfgeräten im Labor zum Zweck einer Griffigkeitsprognose zu entwerfen. Hierzu wurden Probekörper aus seit länger unter Verkehr liegenden Praxisstrecken entnommen und deren Oberflächenzustand charakterisiert. Zudem wurden Probekörper im Labor hergestellt und einer Beanspruchung durch die beiden Prüfgeräte ausgesetzt, die einen zu der Praxis vergleichbaren Oberflächenzustand ergeben und somit eine Prognose im Labor mit im Labor hergestellten Probekörpern zulässt.

Tabelle 1: Übersicht über die Entnahmestellen der Bohrkern für die Praxisanbindung

Bauweise	Mischgut/Textur		Verkehrsweg	Entnahmestellen
Asphalt	Splittmastixasphalt (SMA)	1	BAB A 8 Ost bei Unterhaching FR Salzburg	Standstreifen (SS) erster Fahrstreifen, rechte Rollspur (FS) zweiter Fahrstreifen, rechte Rollspur (ÜS)
		2	BAB A 8 West bei Dachau FR München	
	3	B 17 bei Königsbrunn FR Landsberg		
Beton	Jutetuchlängsstrich	4	BAB A 93 bei Brannenburg FR Kiefersfelden	
		5	BAB A 92 bei Lohhof FR Flughafen	
		6	BAB A 44 bei Werl FR Kassel	
	7	BAB A 5 bei Karlsruhe FR Basel	Standstreifen (SS)	
	Waschbeton 0/8			

2.2 Praxisstrecken

2.2.1 Auswahl der Praxisstrecken

In dem Forschungsvorhaben wurden je drei Asphalt- und Betonstrecken (Tabelle 1) mit einer möglichst großen Spreizung des Griffigkeitsniveaus untersucht. Dabei wurde bei den Betonstrecken auf eine Auswahl von unterschiedlichen Oberflächenzuständen geachtet. Die ausgewählten Strecken lagen zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme schon längere Zeit unter Verkehr und zeigten ein weitgehend gleichmäßiges (frei von großen messtechnischen Schwankungen) Griffigkeitsprofil in dem Abschnitt der Bohrkernentnahme. Je Bauweise wurden aus drei Strecken Bohrkernentnommen, wobei auf dem ersten und dem zweiten Fahrstreifen sowie dem Standstreifen jeweils das gleiche Material eingebaut worden war (vgl. Tabelle 1). Bei der Auswahl der Strecken in Betonbauweise sollten vorwiegend Strecken mit den Oberflächenzuständen "sandpapierähnlich" (eingeebnete Textur) und "mörtellose Oberfläche" vorhanden sein, da davon auszugehen ist, dass im Zustand "ausgeprägte Textur" keine Griffigkeitsprobleme auftreten. Zusätzlich zum ursprünglich geplanten Untersuchungsumfang wurden an einer relativ neuen Betonstrecke mit Waschbetonoberfläche Bohrkernentnommen.

2.2.2 SKM-Messungen

Die Ergebnisse der SKM-Messungen (100-m-Werte) sind in Bild 1 wiedergegeben.

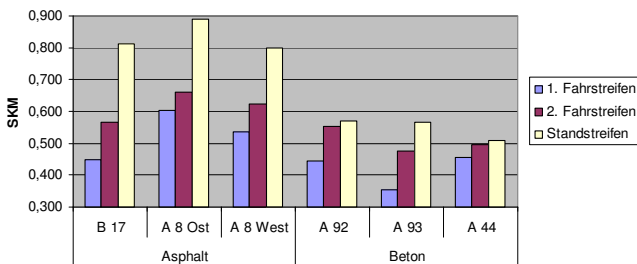


Bild 1: Ergebnisse der SKM-Messungen (100-m-Werte)

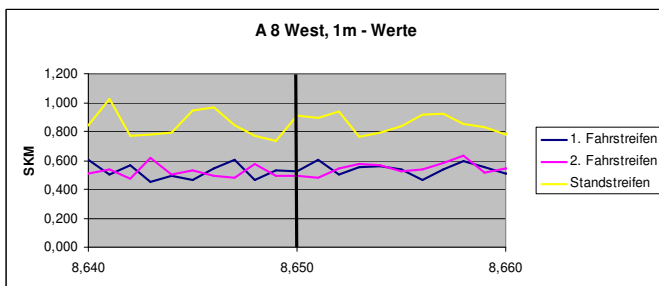


Bild 2: Ergebnis der SKM-Messungen (1-m-Werte) auf der BAB A 8 West (Splittmastixasphalt)

Unabhängig von der Strecke ist festzustellen, dass die 100-m- und die 20-m-Werte relativ homogen sind, die 1-m-Werte jedoch sehr starken Streuungen (Bild 2) unterworfen sind. Die Streuung der ermittelten 1-m-Werte liegt günstigstenfalls bei μ_{SKM} von 0,1, maximal bei 0,4. Diese Werte gelten für einen Streckenabschnitt von 20 m Länge. Unbewusst wurde im Vorfeld der Untersuchungen festgelegt, bei jeder Strecke und je Fahrstreifen eine große Anzahl an Bohrkernen zu entnehmen, um daran die Laboruntersuchungen durchführen zu können. Ausgehend von den mit SKM festgestellten Streuungen war

diese Festlegung zwingend erforderlich. Die Streuungen zeigen aber auch, dass punktuelle Messungen zur Ermittlung der Griffigkeit als kritisch anzusehen sind.

2.2.3 Ergebnisse der Untersuchungen der Praxisstrecken aus Asphalt

An sämtlichen entnommenen Bohrkernen mit einem Durchmesser von 225 mm wurde die zum Entnahmezeitpunkt vorhandene Griffigkeit mit PWS und PGM ermittelt. Für die Auswertung wurden die Messwerte auf den Bohrkernen in einem ersten Schritt den jeweiligen 1-m-Werten zugeordnet. Hierbei zeigte sich grundsätzlich kein korrelativer Zusammenhang. Nach aufsteigender Ordnung der Messwerte auf den Bohrkernen und der 1-m-Werte mit dem SKM konnte ein deutlich besserer Zusammenhang dargestellt werden (Bild 3). Aus den Abbildungen geht zudem hervor, dass eine getrennte Betrachtung der Fahrstreifen zu einem besseren Ergebnis führt, was bedeutet, dass gegebenenfalls das Griffigkeitsniveau auch einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Laborergebnis und Messwert in situ hat.

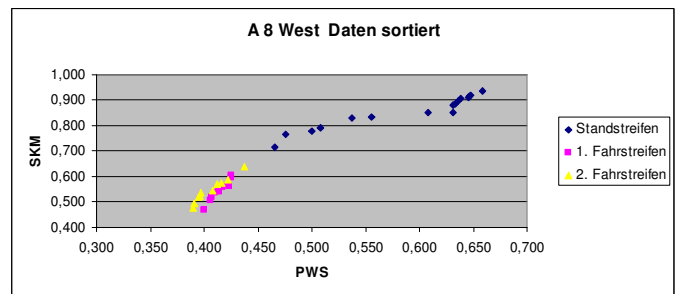


Bild 3: Vergleich der PWS-Messwerte am Bohrkern mit den SKM-Werten (BAB A 8 West, Splittmastixasphalt)

Bei den einzelnen Strecken wurden auch Bohrkernentnommen nach Feststellung der vorhandenen Griffigkeit weiterpoliert, um hierdurch die weitere Griffigkeitsentwicklung und vor allem die Endgriffigkeit erfassen zu können. Die Ergebnisse für die BAB A 8 West (Asphaltfahrbahn, Splittmastixasphalt) sind als Mittelwerte aus den einzelnen Bohrkernen aus den zwei Fahrstreifen bzw. dem Standstreifen in Bild 4 wiedergegeben. Hierbei sind die tatsächlich ermittelten Messwerte durch eine Logarithmusfunktion dargestellt, die Bestimmtheitsmaße lagen bei 0,76 für den ersten Fahrstreifen und über 0,99 für den 2. Fahrstreifen und den Standstreifen.

Aus dem Anfangsbereich der Kurven ist der zuvor bereits dargestellte Griffigkeitsunterschied (SKM) zwischen dem Standstreifen und den zwei Fahrstreifen direkt wiederzuerkennen. Die weitere Griffigkeitsentwicklung zeigt auf, dass sich an den Fahrstreifen keine gravierenden Änderungen mehr ergeben werden, und die Griffigkeit nach 270 000 Überrollungen als Endgriffigkeit anzusehen ist. Dies wird auch bestätigt durch den gleichen Wert, der auf dem Standstreifen festzustellen ist.

Die Splittmastixasphalte aus den zwei Autobahnabschnitten (BAB A 8 Ost und West) zeigen ein vergleichbares Verhalten, die Endpolierwerte liegen für alle drei Streifen auf vergleichbarem Niveau. Demgegenüber verhalten sich der Standstreifen und der zweite Fahrstreifen der Asphaltbetonstrecke (B 17) anders als der 1. Fahrstreifen, bei dem insgesamt ein niedrigeres Griffigkeitsniveau anzutreffen ist.

Die Ergebnisse mit PGM sind hinsichtlich der Griffigkeitsentwicklung und des Griffigkeitsniveaus nicht vergleichbar mit den Ergebnissen des PWS. Da mit den zwei Laborverfahren an den gleichen Bohrkernen gemessen werden konnte, ist auch ein

direkter Vergleich der Ergebnisse der Verfahren möglich. Die Vergleichswerte sind in Bild 5 dargestellt. Die Vergleichswerte streuen relativ stark, das Bestimmtheitsmaß der Regressionsgerade liegt mit 0,56 (bei den Betonstrecken 0,34) auf einem niedrigen Niveau.

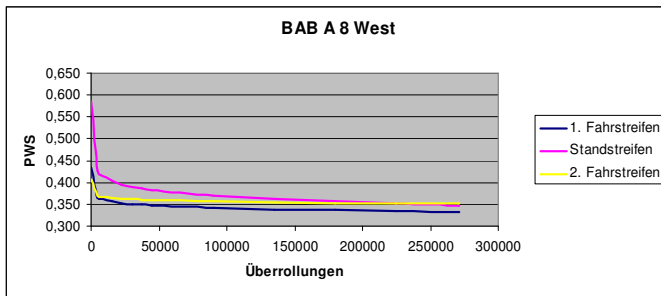


Bild 4: Griffigkeitsentwicklung bei den Bohrkernen aus der BAB A 8 West (Splittmastixasphalt)

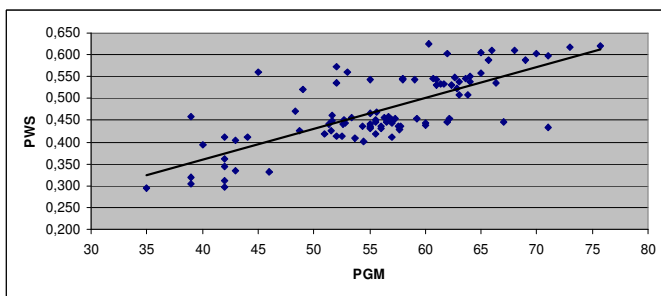


Bild 5: Vergleich der PWS- und der PGM-Werte an den Asphaltstrecken

2.3 Laborprobekörper aus Asphalt

Für zwei der drei Asphaltstrecken konnten aufgrund der Verfügbarkeit der Gesteinskörnungen Laborplatten mit dem Walzsektorverdichter hergestellt werden. Sowohl für PWS als auch für PGM wurden die Platten zentral hergestellt und vorbereitet. Für die Plattenvorbereitung kam nur das Sandstrahlen in einer gesteuerten Sandstrahlkabine, allerdings mit unterschiedlichen Sandstrahlzeiten, zur Anwendung. Die ursprünglich angedachte Behandlung, z. B. mit Lösemittel kam aufgrund negativer Erfahrungen in anderen Vorhaben nicht zur Anwendung.

Die an den Laborplatten der BAB A 8 West (Splittmastixasphalt) ermittelten Ergebnisse sind in Bild 6 dargestellt.

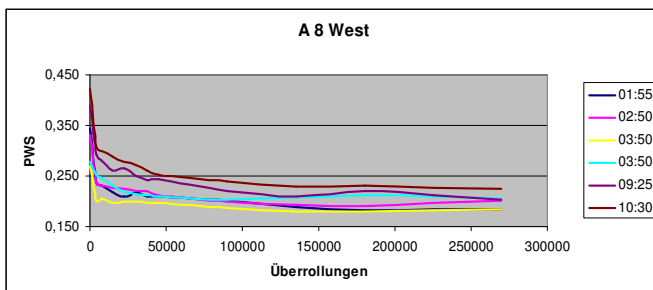


Bild 6: Griffigkeitsentwicklung auf den unterschiedlich lang gesandstrahlten (1:55 bis 10:30 min) Laborplatten der BAB A 8 West (Splittmastixasphalt)

Der Vergleich mit den an den Bohrkernen ermittelten Ergebnissen legt nahe, die Sandstrahldauer auf ca. 3 bis maximal 4 Minuten festzulegen. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs müssen mit dieser Festlegung jedoch Erfahrungen gesammelt werden.

Aus den mit PGM ermittelten Kurven lässt sich keine Festlegung für die anzustrebende Sandstrahldauer ableiten.

Beim Vergleich der Griffigkeitsentwicklung an den Laborproben mit der an den Bohrkernen ermittelten Griffigkeitsentwicklung fällt für beide Verfahren auf, dass die Endgriffigkeit der Laborproben unter der der Bohrkern liegt. Bei beiden Laborverfahren ist vor allem zu Beginn der Polierbeanspruchung ein starker Griffigkeitsabfall festzustellen, die Anfangsgriffigkeiten der Laborproben sind geringer als die Anfangsgriffigkeiten an den Bohrkernen. Der Vergleich der Verläufe deutet dennoch darauf hin, dass die zuvor beschriebenen Sandstrahldauern im realistischen Bereich liegen. Grundsätzlich ist es jedoch nicht möglich, die hier getroffenen Aussagen auf der Basis von nur zwei Versuchsstrecken zu verallgemeinern.

2.4 Laborprobekörper aus Beton

Ziel der Laborversuche war es, Probekörper mit den Oberflächenzuständen "sandpapierähnlich" und "entmörtelt" herzustellen und anschließend mit der Prüfanlage Wehner/Schulze zu beanspruchen. Zudem umfassten die durchgeführten Untersuchungen einen normfesten (w/z -Wert = 0,43; $z = 350 \text{ kg/m}^3$) und einen höherfesten Straßenbeton (w/z -Wert = 0,36; $z = 386 \text{ kg/m}^3$). Hierbei wurde der Einfluss der unterschiedlichen Festigkeit des Oberflächenmörtels auf die Griffigkeitsentwicklung untersucht.

Im Bild 7 sind die Ergebnisse der Untersuchungen mit der PWS an im Labor hergestellten Texturprobekörpern der beiden Betone "Beton 0,43" und "Beton 0,36" dargestellt. Untersucht wurden dabei die Oberflächen mit einem im Labor simulierten Jutetuchlängsstrich (Oberflächenzustand: "texturiert") sowie einer untexturierten Oberfläche (Oberflächenzustand: "sandpapierähnlich"). Der im Labor simulierte Oberflächenzustand "entmörtelt" wurde wegen dem hohen Verschleiß der Prüfummis bei der Griffigkeitsmessung zunächst nicht weiter untersucht. In den beiden Diagrammen sind jeweils der Verlauf des Mittelwerts des μ_{PWS} -Werts über die Beanspruchungsdauer der vier hergestellten Probekörper sowie deren Variationsbereich abgebildet.

Die beiden Oberflächenzustände des "Betons 0,43" (Bild 7 links) zeigten über die Beanspruchungsdauer auf unterschiedlichem Niveau einen gleichen Messwertverlauf. Ein direkter Vergleich der beiden Messwertverläufe ist jedoch nicht sinnvoll, da durch die kreisförmige Bewegung beim Messvorgang die Messgummis der Prüfanlage nicht nur in Fahrtrichtung, sondern auch quer dazu über die gerichtete Struktur der texturierten Probekörper gleiten. Der Verlauf der Messwerte beider Probekörper wies insgesamt ein Aufrauen der Oberflächen zu Beginn und einen nahezu konstanten Verlauf bis zum Ende der Beanspruchungsdauer auf. Das Aufrauen wurde durch Freilegen griffigkeitsrelevanter Bestandteile, wie zum Beispiel einzelner Sand- oder Splittkörner, verursacht.

Bei der Betrachtung des Verlaufs der beiden untersuchten Oberflächenzustände des "Betons 0,36" (Bild 7 rechts) fällt auf, dass der Messwert des Oberflächenzustands "sandpapierähnlich" über die Beanspruchungszeit nur sehr langsam zunahm und deutlich unter dem Messwert der texturierten Oberfläche blieb. Ursächlich hierfür war vor allem der (verschleiß-)festere Zementstein des "Beton 0,36", der aus dem niedrigen w/z -Wert sowie dem höheren Zementgehalt resultierte. Dieser verhinderte vor allem bei der "sandpapierähnlichen" Oberfläche ein schnelles Freilegen der griffigkeitsrelevanten Bestandteile (Sandkörner, Splittkörner).

Ein Vergleich der Messwertverläufe beider Betone zeigt für die texturierten Oberflächen ein in etwa gleiches Verhalten über die gesamte Beanspruchungsdauer, wobei hier der Einfluss der

gerichteten Textur auf den Messwert selbst sehr dominant war. Aus diesem Grund ist der Vergleich der Messwerte anhand der "sandpapierähnlichen" Oberfläche aussagekräftiger, da sich die untersuchten Oberflächen nur in der Zusammensetzung des Oberflächenmörtels unterschieden haben. Hier erwies sich der

festere Oberflächenmörtel des "Beton 0,36" hinsichtlich der Entwicklung des Gleitbeiwerts als ungünstiger, da bei diesem die griffigkeitsrelevante Eigenrauheit der Sand- und Splittkörner wegen der höheren Festigkeit des Zementsteins erst später aktiviert wurde bzw. wird.

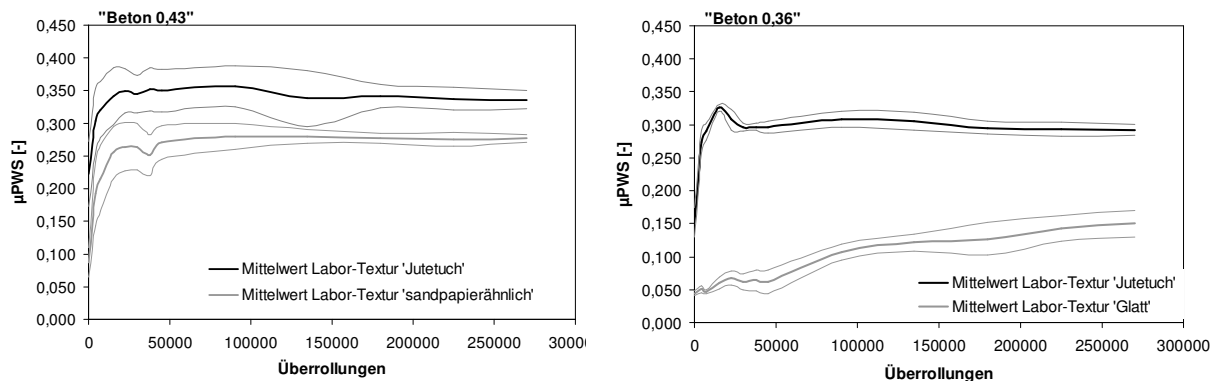


Bild 7: Gleitbeiwerte μ_{PWS} der Probekörper aus dem "Beton 0,43" (links) bzw. "Beton 0,36" (rechts) und mit einer Jutetuchlängsstrichtextur (Linie schwarz) und glatter Oberfläche (Linie grau)

2.5 Berührungslose Oberflächenmessungen

Im Labor wurden an den Bohrkernoberflächen, die aus den jeweiligen Fahrbahndecken aus Asphalt bzw. Beton entnommen worden waren, Messungen mit dem Doppeltriangulationssensor durchgeführt. Die aus den Messdaten abgeleiteten Kenngrößen zur Beschreibung der primären Oberflächeneigenschaften konnten den charakteristischen Oberflächeneigenschaften, z. B. dem jeweilig eingebauten Asphalt, gut zugeordnet werden. Daneben zeigte sich, dass mit den ermittelten Kennwerten auch die jeweilige Entnahmestelle auf der Fahrbahndecke selbst bestimmt werden kann. Insgesamt war aber der Umfang an berührungslosen Messungen der Oberflächen noch zu gering, um von den Kennwerten auf die Gebrauchseigenschaften schließen zu können.

Bei den Betondecken ergeben sich die unterschiedlichen, beschriebenen Zustände (texturiert, sandpapierähnlich, mörtellos), die mit den Laborverfahren bislang noch nicht nachgestellt werden können. Daher ist eine Bewertung hinsichtlich der Griffigkeitsprognose schwierig.

Bei den Versuchen an Asphaltproben zeigte sich – unabhängig ob Bohrkern oder Laborplatte – immer ein sehr starker Abfall der Griffigkeit während der ersten 10 000 bis 30 000 Überrollungen. Daraus ist zu folgern, dass mit dem Laborverfahren zielsicher nur eine Endgriffigkeit ermittelt werden kann, Zwischenwerte – wie z. B. für den Ablauf der Verjähungsfrist für Mängelansprüche – können nicht angegeben werden.

2.6 Einbeziehung der Verkehrsbelastungen in die Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose

Da die mit den Laborverfahren aufgebrachte Polierwirkung den Verkehr simulieren soll, muss zur Bewertung der im Labor ermittelten Verläufe die tatsächliche Verkehrsbelastung mit berücksichtigt werden. Für die weiteren Überlegungen wurde nun davon ausgegangen, dass der Standstreifen – unter Vernachlässigung der Umwelteinflüsse – die Verhältnisse bei Verkehrsübergabe widerspiegelt. Werden die ermittelten Griffigkeiten über den Überrollungen aufgetragen, so ergeben sich die in Bild 8 dargestellten Verhältnisse. Aus der Abbildung ist abzuleiten, dass vor allem die polierende Wirkung des Schwerverkehrs die Griffigkeit beeinflusst.

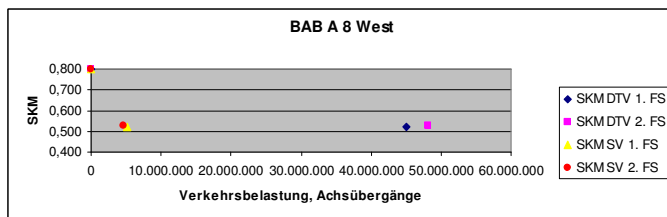


Bild 8: Griffigkeiten (SKM) der BAB A 8 West (Splittmastixasphalt) im Verhältnis zu den tatsächlich aufgetretenen Überrollungen