ZAFT e.V. an der HTW Dresden
Name der Forschungsstelle(n)

14937BR / 1
IGF-Vorhaben-Nr. / GAG

01.09.2006 bis 30.04.2010
Bewilligungszeitraum

Schlussbericht für den Zeitraum : 01.09.2006-30.04.2010

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die

AiF

geförderten IGF-Forschungsvorhaben

[X] Normalverfahren
[ ] Fördervariante ZUTECH

Forschungsthema :

Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit

Für ein ZUTECH-Vorhaben sind folgende zusätzliche Angaben zu machen:

Der fortgeschriebene Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

[ ] ist beigefügt
[ ] liegt bereits vor
[ ] wird fristgerecht nachgereicht

Dresden, 30.06.2010
Ort, Datum

Unterschrift der/des Projektleiter(s)

Zentrum für angewandte Forschung und Technik e.V.
an der
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Abschlussbericht

zum AiF-Forschungsvorhaben 14937 BR/1

„Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“

gefördert durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

BMWi

über die
Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.

(AiF)

vertreten durch die Mitgliedsvereinigung

Deutsches Asphaltinstitut e.V. (DAI)

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. V. Rauschenbach
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. J. Borek

Dresden, 30.06.10

Zusammenfassung

Dieses Forschungsvorhaben wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) und das Deutsche Asphaltinstitut e.V. (DAI) unter der IGF-Vorhaben-Nr. 14937 BR gefördert.

In der Wechselwirkung zwischen Fahrzeugführer, Fahrzeug und Straße beeinflussen Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche wesentlich die Verkehrssicherheit. Dabei spielt die Oberflächengestaltung, insbesondere die Griffigkeit, neben der Linienführung sowie der Ausführung des Fahrbahnquerschnittes eine besondere Rolle.

Auf trockenen Fahrbahnen ist meist eine ausreichende Griffigkeit, d. h. ein guter Kraftschluss zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahnoberfläche vorhanden. Dagegen kommt bei vereisten Straßen die Griffigkeit kaum bzw. gar nicht zum Tragen. Beide Fahrbahnzustände sind vom Kraftfahrer relativ gut einschätzbar und das Fahrverhalten kann dementsprechend angepasst werden. Bei nasser Fahrbahn kann das aktuelle Griffigkeitsniveau visuell nicht erfasst werden. Besonders direkt nach Einsetzen des Regens bildet sich auf der Oberfläche der Fahrbahn ein gefährlicher Schmierfilm aus Regenwasser und Schmutz, der den Kraftschluss zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahn stark herabsetzen kann.

In Deutschland kommen zur Beschreibung des jeweiligen Griffigkeitszustandes verschiedene Messverfahren zum Einsatz. Im aktuellen Regelwerk (z.B. ZTV Asphalt-StB 07) sind Grenzwerte für die Griffigkeitsmessung mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) zum Zeitpunkt der Abnahme und für den Zeitraum bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche bauvertraglich festgelegt.

Gegenwärtig ist es jedoch nicht möglich, die Griffigkeitsentwicklung von Asphaltdeckschichten im Gewährleistungs- und Nutzungszeitraum durch Laborprüfverfahren vor Einbau der Mischgüter hinreichend genau zu prognostizieren. Dies stellt für Mischgut herstellende bzw. verarbeitende Firmen aber auch für die Straßenbaulastträger eine unbefriedigende Situation und somit ein Erfüllungsrisiko dar.

Aufgabe des Forschungsvorhaben ist es, zu untersuchen, inwieweit bzw. ob sich die Entwicklung der Griffigkeit von Asphaltgemischen mit Hilfe des Laborprüfgerätes Wehner/ Schulze (PWS) und dem Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM) bereits im Rahmen von Erstprüfungen prognostizieren lässt.

Dazu wird die zeitabhängige Griffigkeitsentwicklung von Asphaltdeckschichten aus Splittmastixasphalt und Asphaltbeton mit jeweils drei verschiedenen typischen sächsischen Gesteinsarten unter realistischer Verkehrsbelastung einer Bundesstraße mit einer Verkehrsbelastung der Bauklasse II im Rahmen halbjährlich stattfindender Messkampagnen durch die Feldprüfverfahren Seitenkraftmessverfahren (SKM) sowie SRT- Pendel (SRT), Ausflussmesser (AM) und Sandfleckmethode (SF) erfasst. Gleichzeitig wird an entnommenen Bohrkernen der jeweilige Griffigkeitszustand durch die Laborprüfverfahren PWS und PGM festgestellt.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Die Auswertung der Zusammenhänge zwischen den Labor- und Feldprüfverfahren erfolgt unter Berücksichtigung des Bestimmtheitsmaßes der korrelativen Zusammenhänge, wobei aufgrund bauvertraglicher Festlegungen der Zusammenhang zwischen den genannten Prognoseverfahren und dem SKM-Verfahren von besonderem Interesse ist.

Ergänzend wird untersucht, inwieweit die anderen Feldprüfverfahren SRT- und Ausflussmessung und die Sandfleckmethode in die Griffigkeitsprognose einbezogen werden können.

Die Ergebnisse der SKM- Messung zeigen, dass im Verlauf der fast 2,5- jährigen Nutzung der Bundesstraße das erforderliche Griffigkeitsniveau für beide Mischgutarten mit den verwendeten sächsischen Gesteinen bei der ermittelten Verkehrbelastung der Bauklasse II und den im Bereich der B186 vorhandenen Witterungsbedingungen erreicht und gehalten wird.

Mit den zur Verfügung stehenden Laborprüfverfahren PWS und PGM kann die durch das SKM- Verfahren festgestellte Griffigkeitsentwicklung der Fahrbahnoberfläche tendenziell widergespiegelt werden.

Es ist erkennbar, dass Asphaltbeton tendenziell eine höhere Griffigkeit aufweist als Splittmastixasphalt. Damit wird bestätigt, dass bei Verwendung von gleichen Gesteinsarten sandreiche und splittärmere Mischgutsorten wie Asphaltbeton eine höhere Griffigkeit besitzen als sandarme und splittreichere Mischgutsorten wie Splittmastixasphalt.

Ein Einfluss der untersuchten Gesteinsarten ist bezüglich des Griffigkeitsniveaus tendenziell nachweisbar.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde eine Anschlussforschung begonnen, um den zeitabhängigen Griffigkeitsverlauf über den Zeitraum des Ablaufes der Verjährungsfrist für Mängelansprüche, welcher durch das SKM- Verfahren vertragsrelevant beschrieben wird, durch die Laborprüfverfahren PWS und PGM zu prognostizieren.

Inhaltsverzeichnis

1 Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

2 Literaturrecherche

2.1 Definition Griffigkeit

2.2 Erfahrungen zur Griffigkeitsprognostizierung

2.3 Asphaltmischgut für Bundestrassen

2.3.1 Mischgutsorten

2.3.2 Ausgewählte sächsische Gesteinsarten für Asphaltdeckschichten

2.3.2.1 Grauwacke

2.3.2.2 Diabas

2.3.2.3 Rhyolith

2.4 Prüfverfahren

2.4.1 Laborprüfverfahren

2.4.1.1 Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS)

2.4.1.2 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

2.4.1.3 Polished Stone Value (PSV)

2.4.2 Feldprüfverfahren

2.4.2.1 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

2.4.2.2 Skid Resistance Tester (SRT)

2.4.2.3 Ausflussmesser nach Moore (AM)

2.4.2.4 Sandfleckmethode (SF)

2.5 Schlussfolgerungen für das Forschungsprojekt

3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungszieles

4 Versuchsstrecke

4.1 Randbedingungen

4.2 Auswahl der Gesteinsarten

4.3 Anlage der Prüffelder und Messstellen

5 Auswertung der Prüfergebnisse

5.1 Kontrollprüfungen der eingebauten Mischgüter

5.2 Prognoseverfahren am Ausgangsmischgut

5.2.1 Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS)

5.2.1.1 Prognoseverfahren PWS an Laborprobekörpern (Messkampagne X)

5.2.1.2 Prognoseverfahren PWS an Bohrkernen (Messkampagne X)

5.2.1.3 Korrelation zwischen der PWS- Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen

5.2.2 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

5.2.2.1 Prognoseverfahren PGM an Laborprobekörpern (Messkampagne X)

5.2.2.2 Prognoseverfahren PGM an Bohrkernen (Messkampagne X)

5.2.2.3 Korrelation zwischen der PGM- Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen

5.3 Verkehrsbelastung

5.4 Messkampagnen

5.4.1 Übersicht der Messergebnisse der Feldprüfverfahren

5.4.2 Grafische Darstellung der Messergebnisse der Feldprüfverfahren

5.4.2.1 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

5.4.2.2 SRT- Pendel (SRT)

5.4.2.3 Ausflussmesser nach Moore (AM)

5.4.2.4 Sandfleckmethode (SF)

5.5 Laborprüfverfahren an Bohrkernen aus den Messkampagnen

5.5.1 Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS)

5.5.2 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

5.6 Zuordnung der Werte aus den Messkampagnen zu den Werten der Prognoseverfahren

5.7 Prognostizierung der Griffigkeit des eingebauten Asphaltmischgutes an Laborprobekörpern

5.8 Beispiel zur Abschätzung von SKM- Werten aus dem Prognoseverfahren PWS

6 Zusammenfassung und Ausblick

7 Beabsichtigte Umsetzung der Forschungsergebnisse sowie erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Abkürzungsverzeichnis

PWS	Prüfverfahren Wehner/Schulze
PGM	Polier- und Griffigkeitsmessgerät
PSV	Polished Stone Value
SKM	Seitenkraftmessverfahren
SRT	Skid Resistance Tester
AM	Ausflussmesser nach Moore
SF	Sandfleckmethode
Bk	Bohrkern, entnommen aus fertiger Schicht
LPK	Laborprobekörper (Bohrkern entnommen aus WSV- Platte)
fGK	feine Gesteinskörnung
WSV	Walzsektor-Verdichtungsgerät

1. Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die Verkehrssicherheit wird In der Beziehung zwischen dem Fahrzeugführer, dem Fahrzeug und der Straße wesentlich durch die Fahrbahnoberfläche beeinflusst. Dabei spielt die Oberflächengestaltung, insbesondere die Griffigkeit, neben der Linienführung sowie der Ausführung des Fahrbahnquerschnittes eine besondere Rolle.

Auf trockenen Fahrbahnen ist meist eine ausreichende Griffigkeit, d. h. ein guter Kraftschluss zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahnoberfläche vorhanden. Dagegen kommt bei vereisten Straßen die Griffigkeit kaum bzw. gar nicht zum Tragen. Beide Fahrbahnzustände lassen sich vom Kraftfahrer relativ gut einschätzen und das Fahrverhalten kann dementsprechend angepasst werden.

Bei nasser Fahrbahn kann das aktuelle Griffigkeitsniveau visuell nicht erfasst werden. Besonders direkt nach Einsetzen des Regens bildet sich auf der Oberfläche der Fahrbahn ein gefährlicher Schmierfilm aus Regenwasser und Schmutz, der den Kraftschluss zwischen Fahrzeugreifen und Fahrbahn stark herabsetzen kann.

Hinsichtlich der Verkehrssicherheit bei Nässe stellt die Griffigkeit eine sehr wichtige Eigenschaft der Fahrbahnoberfläche dar. In Deutschland kommen zur Beschreibung des Griffigkeitszustandes im Rahmen von Bauverträgen verschiedene Messverfahren zum Einsatz. Im aktuellen Regelwerk (z.B. ZTV Asphalt-StB 07) sind Grenzwerte für die Griffigkeitsmessung mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) zum Zeitpunkt der Abnahme und für den Zeitraum bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche bauvertraglich festgelegt.

Gegenwärtig ist es jedoch nicht möglich, die Griffigkeitsentwicklung von Asphaltdeckschichten für den Gewährleistungs- und Nutzungszeitraum durch Laborverfahren vor dem Einbau der Mischgüter hinreichend genau zu prognostizieren. Dies stellt für Mischgut herstellende bzw. verarbeitende Firmen eine unbefriedigende Situation und somit ein Erfüllungsrisiko dar. Eine Optimierung der Mischgutzusammensetzung bzgl. der Griffigkeit auf der Basis von Prognoseergebnissen, ist derzeit im Rahmen von Eignungsprüfungen/Erstprüfungen nicht möglich. Ein entsprechender Bewertungshintergrund fehlt.

Die Prognostizierung des Griffigkeitsverlaufes im Labor ist momentan nur über eine zu bestimmende Korrelation zwischen der zu messenden Griffigkeit an Laborprobekörpern und der zu messenden Griffigkeit an aus der fertigen Befestigung entnommenen Bohrkernen denkbar. Es besteht Forschungsbedarf bzgl. der Erstellung praktisch verwertbarer korrelativer Beziehungen.

2. Literaturrecherche

2.1 Definition Griffigkeit

Eine Fahrbahnoberfläche aus Asphalt weist verschiedene Gebrauchseigenschaften wie Griffigkeit, Lärmemission, Wasserableitung, Helligkeit bzw. Lichtreflexion oder bestimmte Verformungseigenschaften auf. Diese (sekundären) Eigenschaften werden maßgeblich durch die Zusammensetzung des Asphaltmischgutes und die Rauheit/Textur der Fahrbahnoberfläche (primäre Eigenschaft) beeinflusst. Dabei ist die Griffigkeit die wichtigste aus der Textur abgeleitete Gebrauchseigenschaft einer Straße, insbesondere hinsichtlich der Verkehrssicherheit bei Nässe.

Die Griffigkeit wird im Forschungsbericht von B. Grätz [1] als „Einfluss der stofflichen Beschaffenheit und geometrischen Feingestalt der Fahrbahnoberfläche auf die Größe der maximal vom Reifen auf die Straße abstützbaren Antriebs-, Brems- und Seitenkräfte“ definiert. Sie ist für die Entwicklung von Reibungskräften zwischen Fahrbahn und Fahrzeugreifen, den so genannten Kraftschluss, verantwortlich. Dieser Quotient aus übertragbarer Horizontalkraft und vertikaler Radlast ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig [34]:

	Fahrbahn	Nutzung der Fahrbahn
Fixe Einflüsse	Griffigkeit ▪ Rauheit ▪ Stoffliche Beschaffenheit (nach ZTV Asphalt- StB 01, ZTV Beton- StB 01, ZTV BEA- StB 98/03, ZTV BEB- StB 02)	Fahrzeugmerkmale ▪ Fahrzeugeigenschaften nach STVZO (Gesamtmasse, Federung, Brems- und Stabilisierungssysteme) ▪ Reifeneigenschaften (Profil, Gummiart, Reifenbreite)
Temporäre Einflüsse	Griffigkeitsänderung ▪ vorhersehbar *aus geplanter Verkehrsmenge und –art und jahreszeitlichem Witterungsverlauf* ▪ nicht vorhersehbar aus zufälligen Witterungs-, Verkehrs- und Umwelteinflüssen	Fahrzeugzustand ▪ z. B. Reifen, Bremsen (temperatur- und alterungsabhängiges Haftvermögen, Profiltiefe) ▪ z. B. Fahrweise Geschwindigkeit, Wasserverdrängung, Schub-, Seiten-, Brems-, Beschleunigungskräfte

Tab. 1: Einflussfaktoren [34]

Dabei ist die Griffigkeit keine konstante oder sich stetig verändernde Größe, sondern unterliegt neben den genannten Einflüssen auch jahreszeitlichen Schwankungen (Abb. 1).

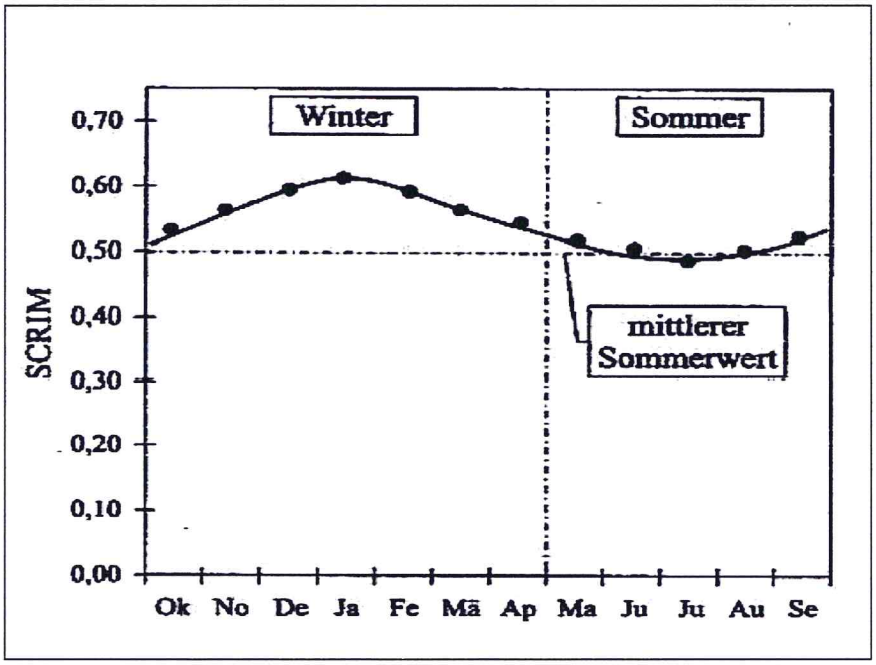


Abb. 1: jahreszeitliche Schwankung der Griffigkeit [39]

Die Gesteinsoberflächen werden durch Witterung und Verkehr poliert, aber auch immer wieder aufgeraut und damit die Griffigkeit zeitweise verbessert.

Die Textur/Rauheit, d. h. die geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche, wird in Abhängigkeit der jeweiligen Wellenlängen in verschiedene Texturbereiche eingeteilt (s. Abb. 2):

- Die Mikrotextur (Feinrauheit) kennzeichnet horizontale Ausdehnungen der Rauheitselemente bis 0,5 mm und damit die Schärfe der Kanten und Flächen der an der Deckschichtoberfläche befindlichen Gesteinskörnungen. Sie wird hauptsächlich vom Mineralbestand sowie den mineralogischen Eigenschaften der Gesteine beeinflusst. Durch sie kann der letzte dünne Wasserfilm durchbrochen werden – eine Voraussetzung, dass Reibungskräfte in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn auch bei Nässe aktiviert werden können.
- Als Makrotextur (Grobrauheit) wird die Rautiefe zwischen den einzelnen Gesteinskörnungen und somit das Drainagesystem der Fahrbahnoberfläche definiert. Sie wird vornehmlich von der Größe und Anordnung der Gesteinskörner an der Oberfläche bestimmt und ist durch Wellenlängen zwischen 0,5 und 50 mm gekennzeichnet. Ihre Aufgabe ist es, die Hauptmenge des unter der Reifenaufstandsfläche befindlichen Wassers aufzunehmen und abzuleiten, um ein Aufschwimmen des Reifens (Aquaplaning) und damit den Kontaktverlust mit der Fahrbahn zu verhindern.
- Die Megatextur hat nur einen indirekten Einfluss auf die Griffigkeit. Bei horizontalen Ausdehnungen der Rauheitselemente von 50 bis 500 mm ist sie für die Bildung von Wasseransammlungen, z. B. in Bodenwellen, und damit für die Entstehung der Aquaplaninggefahr verantwortlich. Sie hat ebenso wie die Unebenheit hauptsächlich Einfluss auf den Fahrkomfort (s. a. Huschek [3]).

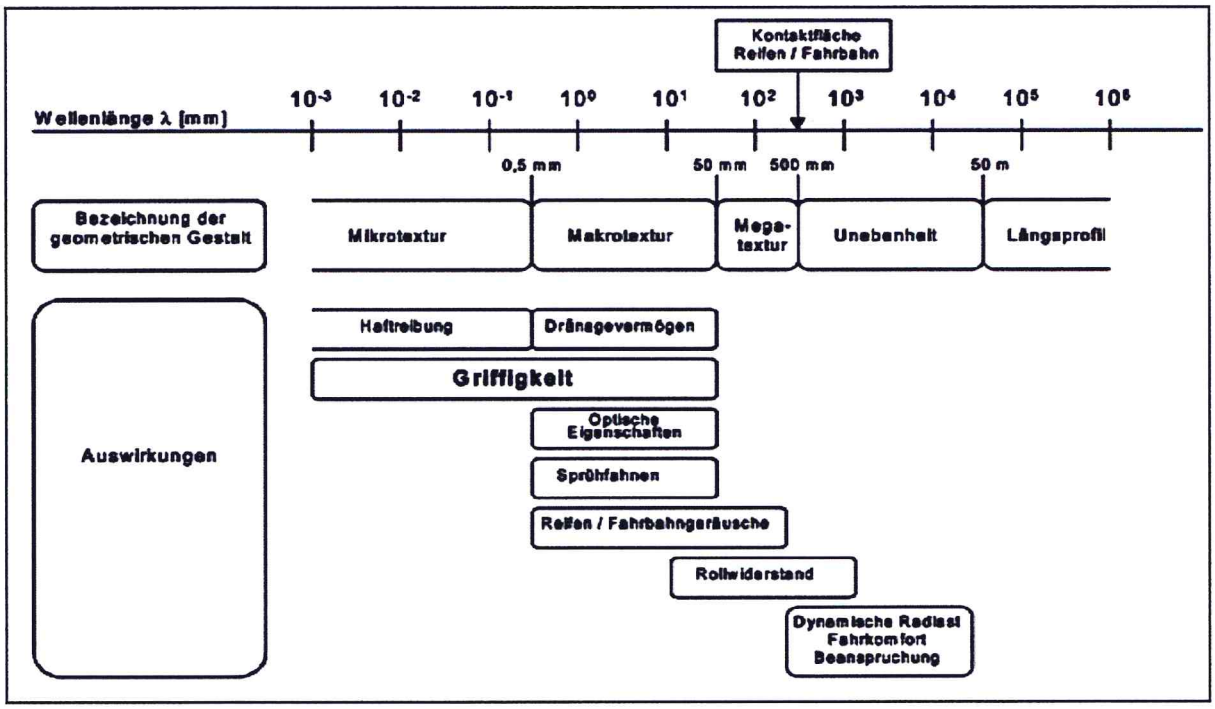


Abb. 2: Wellenlängenspektrum der Fahrbahnoberfläche und ihre Auswirkungen [3]

Da bei Asphaltdeckschichten die Fahrbahnoberfläche nach anfänglicher Abnutzung durch Verkehr und Witterung hauptsächlich aus bindemittelfreien Gesteinsoberflächen besteht, ist vor allem die Polierresistenz der eingesetzten Gesteinskörnungen für die Griffigkeit von besonderer Bedeutung. Sie ist von der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteinskörnungen abhängig. Durch die zunehmende Verkehrsbelastung in Verbindung mit einer verschmutzten Fahrbahn und Nässe kommt es zu erhöhten Polierwirkungen und damit zu Änderungen der Mikrotextur der Gesteinsoberflächen. Für die in Asphaltdeckschichten eingesetzten Gesteinskörnungen sind deshalb in den aktuellen Regelwerken (TL Asphalt-StB, TL Gestein- StB) Anforderungen an den Polierwiderstand PSV (Polished- Stone- Value) festgelegt.

Neben der Polierresistenz der Gesteinskörnungen wird die Rauheit und damit das Griffigkeitsverhalten einer Asphaltdeckschicht auch von der Korngröße und der Kornverteilung, insbesondere vom Anteil an Brechsand (fGK) im Korngemisch, beeinflusst. Gegenüber dem sandarmen Splittmastixasphalt zeigt eine Asphaltbetonschicht mit einem größeren Sandteil bzgl. der Griffigkeit ein günstigeres Verhalten.

Weiterhin zeigten Untersuchungen von Hoffmann [4], dass sich vor allem Änderungen der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteinskörnungen im Brechsand- und Feinsplittbereich besonders stark auf die Griffigkeitsentwicklung einer Fahrbahnoberfläche auswirken.

2.2 Erfahrungen zur Griffigkeitsprognostizierung

Das Forschungsthema FE 07.204/2003/EGB „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“ der Technischen Universität München (beauftragt durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) und vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)) aus dem Jahr 2008 [19] beschäftigt sich mit der Schaffung einer Vorgehensweise für Untersuchungen der Griffigkeitsentwicklung mit Prüfgeräten im Labor zum Zweck einer Prognose. Dazu wurden Bohrkerne aus länger unter Verkehr liegenden Strecken in Asphalt- und Betonbauweise entnommen und hinsichtlich der vorhandenen Griffigkeit untersucht. Gleichzeitig wurden Probekörper im Labor hergestellt und durch die Prüfverfahren PWS und PGM beansprucht. Dabei wurde festgestellt, dass durch diese Laborprüfverfahren lediglich eine „Endgriffigkeit“ an Probeplatten und Bohrkernen ermittelt werden kann. Zwischenwerte für den Verlauf und das Ende der Verjährungsfrist für Mängelansprüche können jedoch nicht angegeben werden.
Die Forschungsstelle stellte weiterhin fest, dass die 1m- SKM- Werte im Gegensatz zu den 20m- und 100m- SKM- Werten sehr großen Schwankungen unterliegen, so das eine punktuelle Ermittlung der Griffigkeit durch das SKM- Verfahren als kritisch anzusehen ist. Dabei ist die Art der Oberfläche (Asphalt oder Beton) nicht relevant.

Ziel im Forschungsvorhaben FE 10689 N 1 „Polier- und Griffigkeitsuntersuchungen an Asphalten im Laboratorium zur Prognostizierung der Griffigkeit“ (gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsgemeinschaften (AiF) über das Deutsche Asphaltinstitut (DAI)) im Jahr 1999 [20] war die Entwicklung und Überprüfung eines bei der Eignungsprüfung anwendbaren Prognoseverfahrens auf der Basis von PGM- Messungen zur Abschätzung des Griffigkeitsverhaltens von Asphaltdeckschichten unter Berücksichtigung der zu erwartenden Verkehrsbeanspruchung. Dazu wurden in einem 1. Schritt zu verschiedenen Zeitpunkten nach ausgewerteten SKM- Messungen Bohrkerne entnommen und im Labor daran die PGM- Werte bestimmt.

Unter Variation der Umdrehungszahl der Messkörper wurde eine Korrelation von SKM- Werte zu PGM- Werten ermittelt, die für eine Umdrehungszahl von 800 min^{-1} mit der Gleichung

$$PGM = 1{,}0955\ SFC^{10} - 0{,}052 \quad (1)$$ (SFC = Sideforce Coefficient)

beschrieben wird.

In einem zweiten Schritt wurden im Labor Probekörper mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellt und daran der Griffigkeitsverlauf mit dem PGM-Verfahren bestimmt. Dabei wurden Gesteinsarten und Mischgutsorte variiert. Die Untersuchungen zeigten, dass durch eine fraktionsweise Mischung unterschiedlich polierresistenter Gesteinsarten Griffigkeit eingebauter Asphaltdeckschichten beeinflusst werden kann.

In [15] zeigt Huschek auf, dass durch die Ermittlung von PWS- Werten an Deckschichten aus Splittmastixasphalt und Asphaltbeton eine relative Bewertung von Griffigkeitseigenschaften möglich ist. Er stellte fest, dass die Prognose der Griffigkeit zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche nach 4 bis 5 Jahren Schwerverkehr dem PWS [3]- Wert nach 180 000 Überrollungen entspricht. Es wird darauf verwiesen, dass diese Korrelation nur für die untersuchte Versuchsstrecke Bamberg gilt und keine allgemeingültige Aussage darstellt.

Mit der Vorlage des Forschungsberichtes „Entwicklung der Oberflächeneigenschaften auf der Versuchsstrecke Bamberg A 70 – Messtechnische Erfassung 1999 - 2001“ im August 2004 wurde eine zehnjährige Beobachtungsdauer an dieser Versuchsstrecke abgeschlossen.

Darin konnte belegt werden, dass die Griffigkeit von Splittmastixasphaltdecken mit abnehmendem Größtkorn zunimmt. Ein eindeutiger Nachweis des Einflusses der Polierresistenz der Gesteinskörnungen auf die Entwicklung der Griffigkeit war möglich. Außerdem wurden frühere Forschungsergebnisse bestätigt, die den negativen Einfluss einer geringen Polierresistenz von feiner Gesteinskörnung beschreiben.

In vielen Veröffentlichungen wird auf die Problematik der Prognostizierbarkeit der Griffigkeit eingegangen [z.B. 27, 31, 33]. T. Behle verweist in [31] auf den Einfluss von verschiedenen Gesteinsmischungen auf die Griffigkeitsentwicklung.

In [33] werden durch B. Nolle die Technikgrundsätze und vertragliche Aspekte für den Bau dauerhaft griffiger Asphaltstraßen erläutert.

2.3 Asphaltmischgut für Bundesstraßen

Die granulometrischen Eigenschaften der Gesteine sind insbesondere für die Herstellung von Asphalt mit gleichmäßiger Zusammensetzung und gleichbleibenden Eigenschaften ausschlaggebend. Das gilt für Splittmastixasphalt in ganz besonderem Maße. Zu verwenden sind nur Splitte aus zähen, schlagfesten und polierresistenten Gesteinen.

Die Oberflächen von Deckschichten bestehen nach einer vom Verkehr und der Witterung abhängigen Einfahrzeit zum größten Teil aus fast bindemittelfreien Gesteinsflächen. Bei diesen Gesteinsflächen überwiegt in der Regel der Splittanteil; der Einfluss des Splittes auf die Griffigkeit ist daher bedeutend, insbesondere bei Deckschichten, die wenig Sand enthalten wie z.B. beim Splittmastixasphalt.

Das unterschiedliche Griffigkeitsverhalten der Gesteinsarten beruht hauptsächlich auf deren Feinrauheit, Polierresistenz und Kantigkeit. Große Härte und geringe Spaltbarkeit sämtlicher Minerale eines Gesteins setzen der Einebnung der ursprünglichen Bruchfläche wirksamen Widerstand entgegen. Bei der räumlichen Anordnung der Kristalle ist richtungslos sperrige Textur der fluidal eingeregelten oder flächenhaft parallelen Textur überlegen. Für die Größe der Kristalle der Minerale gibt es zwischen sehr grob und äußerst fein (kryptokristallin) einen Bereich im Mineralkristallinen bzw. Mittelkörnigen, der für den Widerstand gegen Polieren optimal ist. Ungleichkörnigkeit bei Sedimenten und entsprechend porphyrische Struktur bei Erstarrungsgesteinen sind als günstig zu werten, da größere Teilchen in der Regel beim Poliervorgang herausmodelliert werden. Kontraste in diesen Eigenschaften führen durch Einwirkungen aus Verkehr und Witterung zur Herausbildung eines sekundären Reliefs und damit zur ständigen Regenerierung der Feinrauheit auf den Gesteinsoberflächen. Die Verwendung solcher Gesteinsarten wird allerdings durch die hohen Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit gegen Zertrümmerung im Schlagversuch an Splitt für die Herstellung von Deckschichten - insbesondere solchen nach dem Splittmastixasphalt-Prinzip - begrenzt. Gesteine mit ausschließlich feinkörnigem Aufbau im Mineralgefüge können hinsichtlich ihrer

Polierresistenz problematisch sein, wenn sie darüber hinaus einen überwiegend monomineralischen Aufbau aufweisen. Sie können jedoch ggf. in Kombination mit polierresistenteren Mineralstoffen verwendet werden. In den "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt - ZTV Asphalt-StB 01" ist festgeschrieben, dass für Deckschichten bei Straßen der Bauklassen SV, I - II sowie bei besonderen Beanspruchungen nur grobe Gesteinskörnungen verwendet werden dürfen, deren Widerstand gegen Polieren - PSV-Wert - > 50 beträgt. Für Deckschichten auf Fahrbahnen mit langfristig besonders starker Polierbeanspruchung - und das sind Splittmastixasphalt-Deckschichten - werden Mineralstoffe oder Mineralstoffgemische mit höherem PSV-Wert (z.B. > 53) verwendet. Mineralstoffe, die die o.g. Werte unterschreiten können trotzdem für die angeführten Beanspruchungsfälle verwendet werden, wenn ihre Brauchbarkeit durch positive Erfahrungen oder durch ein Gutachten nachgewiesen wird. Die gutachterliche Beurteilung kann aufgrund der Laborgriffigkeitsmessung nach Wehner/ Schulze oder nach einem anderen geeigneten, anerkannten Verfahren erfolgen.

Die Polierresistenz von Gesteinen, die zur Herstellung der obersten Schicht von Fahrbahndecken oder als Abstreusplitte verwendet werden, wird durch den an Splitt 8/10 mm (hergestellt aus der kornformbereinigten Lieferkörnung 8/11 mm) ermittelten PSV-Wert beurteilt und gilt repräsentativ für alle groben Gesteinskörnungen. Weitergehende Untersuchungen haben gezeigt, dass in der Regel Gesteinskörnungen mit Korngrößen > 11 mm weniger und < 8 mm mehr Widerstand gegen Polieren aufweisen. Nach Ermittlungen durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, veröffentlicht von Toussaint in "Straße und Autobahn" Heft 1/1995, weisen nur 35 % der nach TL Min - StB, Tabelle 4 untersuchten Mineralstoffe in Deutschland einen PSV-Wert > 54 auf.

2.3.1 Mischgutsorten

Die Auswahl der Mischgutarten Asphaltbeton und Splittmastixasphalt erfolgte auf Grundlage der ZTV Asphalt- StB 01. Abweichend dazu wurde im Asphaltbeton ebenfalls ein PmB 45 A eingesetzt.

2.3.2 Ausgewählte sächsische Gesteinsarten für Asphaltdeckschichten

Im Folgenden werden typische sächsische Gesteinarten beschrieben, die in dem jeweiligen Mischgut der Asphaltdeckschichten verwendet wurden.

2.3.2.1 Grauwacke

Die Grauwacke (Sedimentgestein) bezeichnet einen meist dunkelgrau bis braungrau gefärbten, polymikten Sandstein, dessen Komponenten aus Quarz, Feldspat und unaufgearbeiteten Gesteinsbruchstücken (mindestens 50 %), wie z. B. Lydit und Quarzit, bestehen. Das Gefüge ist fein- bis grobkörnig, mitunter feinkonglomeratisch.
Es handelt sich um ein Gestein mit besonders hohem Polierwiderstand. Typisch für Grauwacke ist die schlechte Sortierung des Korns [28]. Splittriger Quarz im Mineralgerüst sorgt für eine hohe Anfangs- und Gebrauchsgriffigkeit. Aufgrund der unterschiedlichen Merkmale des Gefüges der Grauwacke werden bei Abrieb stets neue Quarzsplitter freigelegt. Diese Eigenschaft wird als „Selbstschärfungseffekt“ bezeichnet.

2.3.2.2 Diabas

Der Diabas ist ein vulkanisches Ergussgestein, meist grün gefärbt, das zur Familie der Basaltgesteine gehört. Die klein- bis mittelkörnige, wechselkörnige Struktur ist in ihrer körnigen Textur meist richtungslos [30]. Das Gestein weist eine hohe Polierresistenz, Frost- und Verwitterungsbeständigkeit sowie eine hohe Kantenfestigkeit auf.
Aufgrund dieser Eigenschaften wird Diabas bevorzugt im Straßenbau als Zuschlagstoff für die Asphaltdeckschichten beim Bau griffiger Straßen verwendet.

2.3.2.3 Rhyolith

Rhyolith oder Quarzporphyr ist ein Ergussgestein mit typisch porphyrischer Struktur und Einsprenglingen aus Alkalifeldspat, Plagioklas und Quarz. Die Ausbildung ist massig oder plattig [28].

Bei Polierbeanspruchung tritt der gleiche Effekt auf, wie bei der Grauwacke. Gröbere Körner werden beim Poliervorgang in der Regel herausmodelliert, so dass neu freigelegte Körner auf Dauer für gute Griffigkeitseigenschaften der Straßenoberfläche sorgen.

2.4 Prüfverfahren

2.4.1 Laborprüfverfahren

Es werden Laborprüfverfahren vorgestellt, die möglicherweise zur Prognostizierung der Griffigkeit von Asphaltdeckschichten geeignet sind.

2.4.1.1 Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS)

Mit dem Prüfverfahren nach Wehner/ Schulze (PWS) können im Labor Griffigkeitsmessungen an Bohrkernen oder Laborprobekörpern durchgeführt werden. Dieses Prüfverfahren wurde vorrangig in den 1960er Jahren an der TU Berlin zur Bestimmung der Polierresistenz von Gesteinskörnungen entwickelt und wurde außerdem zur Prognose der zu erwartenden Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche eingesetzt.

Dazu werden Probekörper von einzelnen Gesteinsfraktionen bzw. aus Asphalt oder Beton hergestellt, an denen nach Simulation einer Verkehrsbelastung der Polierwert nach Wehner und Schulze (PWS- Wert) gemessen wird. Dieser ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit der Gesteine gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen bzw. für die Griffigkeit einer Straßenoberfläche.

Aufbau der Prüfanlage

Die Prüfanlage besteht aus 2 Geräten: dem Poliergerät und dem Griffigkeitsmessgerät (s. Abb. 3).

Abb. 3: Prüfanlage Wehner/Schulze PWS

Das Poliergerät besteht aus einem maschinenbetriebenen Polierkopf mit drei absenkbaren Polierrollen, die unter einem konstanten Anpressdruck auf die Probenoberfläche aufgesetzt werden. Über einen Mischbehälter mit Rührwerk und Pumpe wird das für den Poliervorgang erforderliche Wasser-Quarzmehl-Gemisch zugeführt.

Das Griffigkeitsmessgerät setzt sich aus einem rotierenden, elektronisch auskuppelbaren Messkopf mit drei Messgummis, einer Wasserdosierungseinrichtung sowie einem Drehmomentaufnehmer und der Messelektronik zusammen.

Zwischen den beiden Geräten befindet sich eine für die Reinigung der Probekörper erforderliche Waschtraverse mit drehbarem Sprüharm.

Probekörper

Für die Prognose der Griffigkeit an Asphaltmischgut werden Probeplatten verwendet, die mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV) nach den TP Asphalt-StB 07, Teil 33 [12] hergestellt worden sind. Eine weitere Probenkörperart sind Bohrkerne mit einem Durchmesser von 225 mm aus vorhandenen Fahrbahndeckschichten oder aus Probeplatten.

Versuchsdurchführung

Über die Reihenfolge und die Parameter der einzelnen Schritte dieses Prüfverfahrens gibt es zahlreiche Veröffentlichungen (z. B. [13] oder [14]).
Durch langjährige Untersuchungen an der TU Berlin haben sich die folgenden Beanspruchungszustände für die Ermittlung der Griffigkeitsentwicklung bewährt (s. Huschek [15]):

Zustand [0]: Griffigkeitsmessung im Ausgangszustand der Probe (unbehandelte/ nicht vorbereitete Probe, Bohrkern aus einer Straßenbefestigung)
Zustand [1]: Griffigkeitsmessung nach 90.000 Überrollungen durch die Poliereinheit
Zustand [2]: Griffigkeitsmessung nach einem definierten Sandstrahlvorgang der Probe aus Zustand [1]
Zustand [3]: Griffigkeitsmessung nach weiteren 90.000 Überrollungen durch die Poliereinheit
Zustand [4]: Griffigkeitsmessungen ohne weitere Polierbeanspruchung, bis ein konstantes Niveau erreicht ist

Im Zustand [0] wird zunächst eine von der Ausprägung des an der Probenoberfläche befindlichen Bindemittelfilms abhängige Anfangsgriffigkeit gemessen. Nach der Polierbeanspruchung der Probe durch Stufe [1] ist allgemein ein Abfall der Griffigkeit zu verzeichnen. Eine Erhöhung erhält man dann wieder durch das Aufrauen der Probe mittels Sandstrahlen, was das Abwittern des Bindemittelfilms und damit das vollständige Freilegen der Gesteinskörnungen an der Fahrbahnoberfläche simulieren soll (Zustand [2]). Des Weiteren haben die Untersuchungen gezeigt, dass der PWS-Wert der Stufe [3] den Oberflächenzustand der Fahrbahn nach 4 bis 5 Jahren Schwerverkehr verdeutlicht und somit die Griffigkeit zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche prognostiziert. Voraussetzung für diese Aussage ist eine hinreichende Kenntnis der zu erwartenden Verkehrsbelastung. Durch die weitere Verkehrsbeanspruchung nimmt die Griffigkeit im Laufe der Jahre, u. a. in Abhängigkeit vom Polierwiderstand der verwendeten Gesteinskörnungen, unterschiedlich schnell ab und nähert sich einem sogenannten „Endpolierwert“ an (Zustand [4]). Nach dessen Erreichen treten kaum noch Veränderungen im Griffigkeitsverlauf auf.

Durch die betrachteten Zustände wird also kein kontinuierlicher Griffigkeitsverlauf über die gesamte Beanspruchungsdauer einer Fahrbahnoberfläche sondern das jeweilige Griffigkeitsniveau zu bestimmten Zeitpunkten der Beanspruchung widergespiegelt.

Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrenschritte inhaltlich, aber ohne Bezug auf die Reihenfolge ihrer Anwendung beschrieben:

Probe vorbereiten und Sandstrahlen

Die Wirkung der Verkehrsbeanspruchung auf die Fahrbahnoberfläche in den ersten Monaten nach Verkehrsfreigabe soll durch Sandstrahlen simuliert werden. Dazu wird die Probenoberfläche in einer Sandstrahlkabine gleichmäßig mit Korund bestrahlt, so dass Mörtelanreicherungen entfernt und die Gesteinsoberflächen freigelegt werden. Diese Bearbeitung sollte bis zu einem bestimmten Materialverlust an der Probenoberfläche andauern, wobei es für die Dauer und Intensität des Sandstrahlvorganges keine genauen Definitionen gibt. Damit ist ein vergleichbarer Oberflächenzustand, z. B. bei verschiedenen Mischgutzusammensetzungen, schwer zu erreichen und die Bestimmung der Griffigkeit im Zustand [2] schwer vergleichbar.
Bevor die Probeplatte für die Griffigkeitsuntersuchungen verwendet werden kann, müssen größere Verunreinigungen oder lose Bestandteile der Oberfläche entfernt werden. Generell ist darauf zu achten, dass die Probenoberfläche nicht zu scharfkantig ist, da hierdurch die Messgummis zerstört werden können.

Probe polieren

Durch den Poliervorgang wird eine Verkehrsbelastung auf der Probenoberfläche simuliert. Anschließend wird dieser in die Polierposition gefahren. Durch Variation der Anzahl von Polierüberrollungen kann die Höhe der simulierten Verkehrsstärke gewählt werden.
Das in der Polieranlage verwendete Poliermittel ist ein Gemisch aus 60 g Quarzmehl < 0,063 mm je 1 Liter Wasser. Es dient zur Simulierung der erhöhten Polierwirkung durch den Straßenstaub sowie zur Kühlung der Polierrollen. Unter ständiger Zugabe des Poliermittels wird der Polierkopf auf eine Drehzahl von 500 U/min (d. h. 90.000 Überrollungen je Stunde) gleichmäßig beschleunigt.

Dabei verhalten sich die drei umlaufenden, konischen Polierrollen (Abb. 4) wie nicht angetriebene Räder, denen ein leichter Bremsschlupf aufgeprägt ist. Nach dem Polieren wird die Probenoberfläche gereinigt.

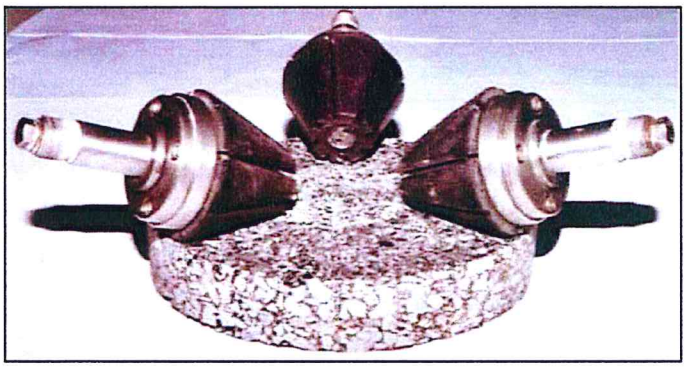


Abb. 4: PWS – Polierkopf mit Polierrollen [16]

Griffigkeitsmessung

Die Prüfanlage nach Wehner/ Schulze simuliert den Verzögerungsablauf eines Kraftfahrzeuges, das auf nasser Fahrbahn nach schlagartigem Blockieren der Räder bis zum Stillstand abgebremst wird. Dabei wird über die gemessene Reibungskraft der Reibwert, auch Gleitwert oder PWS- Wert genannt, auf nasser Prüfoberfläche bei 60 km/h ermittelt. Dieser ist als Mittelwert aus mindestens zwei Einzelbestimmungen anzugeben.

Die Probe wird durch die Prüfwasserpumpe noch einmal vorgenässt. Nach dem Einkuppeln der Prüfspindel (Abb. 5) bei langsamem Lauf des Antriebsmotors beginnt diese sich zu drehen und wird langsam auf eine Umlaufgeschwindigkeit von 100 km/h beschleunigt. Die Messgummis werden unter ständiger Wasserzufuhr auf die Probenoberfläche aufgesetzt und durch die Oberflächenrauheit bis zum Stillstand abgebremst. Es wird die Reibungskraft während des Abbremsens der Messgummis aufgezeichnet und daraus der Reibwert bei 60 km/h ermittelt. Beträgt die Differenz zweier Einzelergebnisse mehr als 0,03 PWS- Einheiten, so ist die Prüfung zu wiederholen.

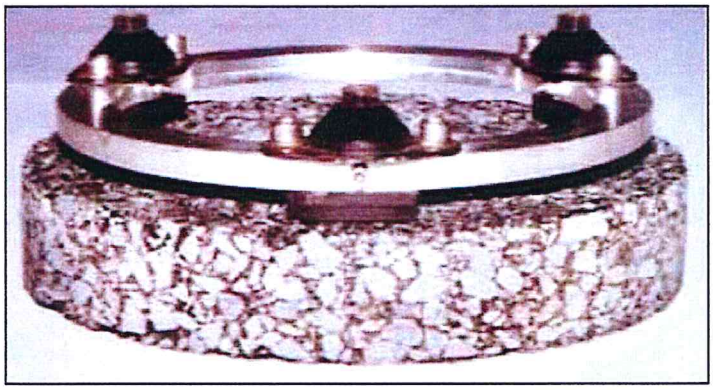


Abb. 5: PWS – Prüfspindel mit Messgummis [16]

Gerätekalibrierung

Die Bestimmung des Reibwertes wird durch mehrere äußere Faktoren (z. B. Prüfwasser, Messgummis, Auflast, Temperatur) beeinflusst. Um eine zuverlässige Einhaltung der Randbedingungen zu dokumentieren, ist deshalb zu Beginn jeder Messreihe eine Kalibrierung des Messgerätes durchzuführen. Dazu wird an einer Kalibrierplatte mit profilierter Glasoberfläche die Messung des Reibwertes durchgeführt. Die Abweichung zwischen zwei Messwerten auf der Kalibrierplatte darf nicht mehr als 0,02 PWS- Einheiten betragen.

2.4.1.2 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

Das Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM) wurde am IFB Institut Dr.-Ing. Gauer Ingenieurgesellschaft mbH in Regenstauf ursprünglich für die Bestimmung des Polierwiderstandes von Gesteinkörnungen entwickelt. Verschiedene Weiterentwicklungen ermöglichen, die Griffigkeitsentwicklung von Asphalt- und Betonoberflächen zu bestimmen. Dabei können, wie beim Verfahren nach Wehner/ Schulze, sowohl Proben einzelner Gesteinskornklassen, als auch Gemische verschiedener Körnungen und/oder Gesteinsarten sowie Asphalt- und Betongemische einer Polierbeanspruchung unterzogen werden. Nach der Polierbeanspruchung wird auch hier die Polierresistenz bzw. die Griffigkeit der Probenoberflächen gemessen. Derzeit wird in Deutschland nur ein Gerät am IFB betrieben.

Aufbau der Prüfanlage [18] (Abb. 6)

In einem je nach Probendicke in vertikaler Richtung verstellbaren Halteblock zur Fixierung der Probekörper ist eine Kraftmesseinrichtung integriert, über die die Auflagerkraft und das Drehmoment während des Messvorganges gemessen werden können. Die jeweils 3 Polier- bzw. Messgummis sind mit Stahlstößeln an getrennt voneinander horizontal drehbaren und vertikal absenkbaren Stahlscheiben angebracht. Während des Poliervorganges wird zusätzlich zur Drehbewegung des Polierkopfes durch die horizontale Pendelfahrt eines planparallel zur Probenoberfläche beweglichen Schlittens ein Schlupf der Poliergummis erzeugt. In den Poliergummis selbst ist ein Quarzsand eingemischt, der durch die Reibung auf der Probenoberfläche freigelegt wird und damit als Schleifmittel dient. Beim Messvorgang erfolgt die Rotation der Messgummis über der Probenoberfläche durch einen eigenen Antrieb, so dass zwischen Polier- und Messvorgang auf Umrüstarbeiten verzichtet werden kann.

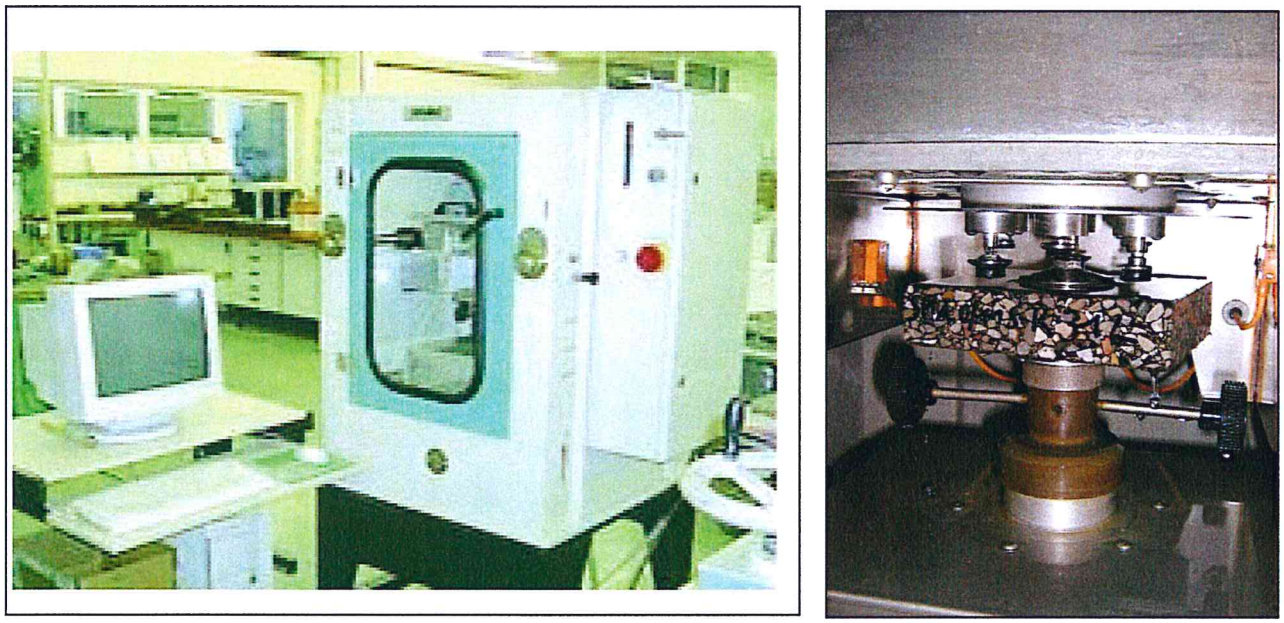


Abb. 6: Polier- und Griffigkeitsmessgerät PGM [17]

Probekörper

Als Proben dienen mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellte Probekörper oder aus bestehenden Fahrbahnen entnommene Ausbaustücke oder Bohrkerne mit einem Mindestdurchmesser von 120 mm. Bei der Bestimmung des IST- Zustandes auf Bohrkernoberflächen ist darauf zu achten, dass die Probenoberfläche eben und nicht zu scharfkantig ist, da hierdurch die Messgummis zerstört werden können.

Versuchsdurchführung

Bei der Prognose mit dem PGM wird ein kontinuierlicher Griffigkeitsverlauf ermittelt. Dazu behandelt man, nach einer möglichen Griffigkeitsmessung im unbehandelten Ausgangszustand der Probe, die Probenoberfläche durch Sandstrahlen vor. Anschließend wird die Griffigkeitsveränderung auf der Probenoberfläche jeweils nach 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 und 180 min Polierdauer erfasst. Der sich nach 180 min Polierdauer einstellende Griffigkeitswert wird definitionsgemäß als „Endpolierwert“ betrachtet, da sich hier keine signifikanten Veränderungen im weiteren Griffigkeitsverlauf mehr ergeben.

Das Versuchsprinzip des Polier- und Griffigkeitsmessgerätes ist in Abb. 7 dargestellt und die einzelnen Verfahrensschritte sind im Weiteren beschrieben.

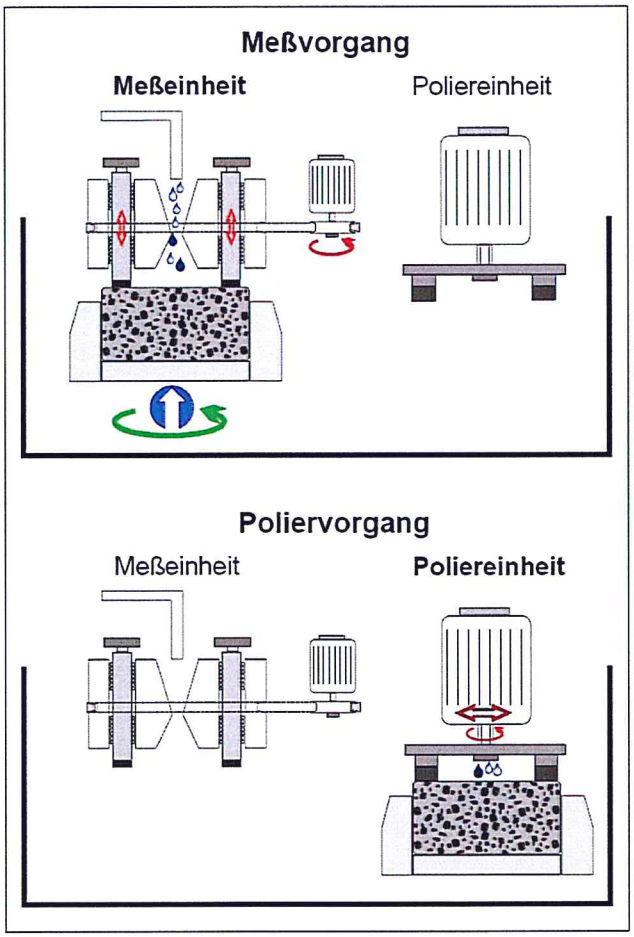


Abb. 7: PGM – Versuchsprinzip [20]

Probe vorbereiten und Sandstrahlen

Die Probenoberfläche wird durch definiertes Sandstrahlen aufgeraut, so dass scharfe Kanten gebrochen werden und eine mörtelfreie Oberfläche entsteht (Abb. 8 und 9). Dieser Zustand soll dem einer Fahrbahnoberfläche nach ein bis zwei Jahren Liegezeit entsprechen. Dabei sind jedoch die Dauer und die Intensität des Sandstrahlvorganges nicht genau definiert und von der Struktur der Probenoberfläche sowie der Härte der Gesteinskörnungen und des Bindemittels abhängig. Eine vergleichbare Oberflächenstruktur ist bei unterschiedlichen Mischgutzusammensetzungen deshalb schwer zu erreichen.

Abb. 8: Probe nach Schleifen

Abb. 9: Probe nach Sandstrahlen

Probe polieren

Die Simulation der Verkehrsbeanspruchung erfolgt über drei an einem rotierenden Polierteller befestigte Gummielemente, die an die zu polierende Oberfläche angepresst werden. Damit die Poliergummis die Lauffläche des anschließenden Messsystems vollständig überstreichen, wird der Polierteller in einer horizontalen Pendelbewegung über die Probenoberfläche geführt. Die Drehzahl der Poliereinheit beträgt 800 U/min.

Im Gegensatz zur Prüfanlage nach Wehner/ Schulze wird hier für den Poliervorgang kein externes Schmirgelmedium verwendet, sondern lediglich die Zugabe von Wasser zum Annässen der Probenoberfläche und zum Kühlen der Gummielemente benötigt. Die Polierwirkung wird durch Quarzsand unterstützt, der den Gummielementen bei der Vulkanisierung beigemischt wurde. Infolge des Verschleißes während des Poliervorganges werden diese Quarzkörner freigesetzt und als Polierhilfe wirksam.

Griffigkeitsmessung

Der Messvorgang simuliert einen blockierten und rutschenden Fahrzeugreifen. Mit einer Drehzahl von 800 U/min rotierende Gumminoppen werden unter Wasserzufuhr auf die Probenoberfläche aufgesetzt und die dabei übertragene Kraft im mittleren, konstanten Intervallabschnitt eines 5 Sekunden andauernden Messvorganges gemessen. Aus der Kraft wird in ein Drehmoment errechnet und der Reibungsbeiwert μ ermittelt. Die Griffigkeitsprognose hat immer als Doppelbestimmung an zwei Prüfkörpern zu erfolgen.

Gerätekalibrierung

Die Kalibrierung des PGM erfolgt durch regelmäßige Messungen auf Kalibrierplatten. Die Wasserdosierung, die Temperatur, die Geschwindigkeitsparameter und die Anpresskraft der Polier- und Messgummis sind während des Prüfvorganges regelmäßig zu kontrollieren.

2.4.1.3 PSV Polished Stone Value (PSV)

Der Polierwert PSV (Polished Stone Value) von Gesteinskörnungen ist ein Maß für dessen Widerstandsfähigkeit gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen unter ähnlichen Bedingungen, wie sie auf einer Straßenoberfläche herrschen. Dort, wo die Straßenoberfläche weitgehend aus Gesteinskörnern besteht, gehören die Poliereigenschaften zu den wesentlichen Faktoren, die die Griffigkeit bestimmen. Die tatsächliche Beziehung zwischen dem Polierwert und der Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche hängt von verschiedenen Faktoren wie Verkehrsbeanspruchung, die Art des Deckschichtmischgutes und der Mischgutzusammensetzung ab.

Die Prüfung erfolgt nach TP Gestein- StB 07, Teil 5.4.1:

- 1.Teil:
  Proben von Gesteinskörnungen werden in einem Poliergerät (Abb. 10 und 11) einem Poliervorgang unterworfen. Zur Herstellung der Probekörper wird das Verfahren beschrieben.

- 2. Teil:

  Polierzustand der einzelnen Proben wird mit dem Griffigkeitsmessgerät bestimmt und als Reibungswert PSV des polierten Gesteins ausgedrückt.

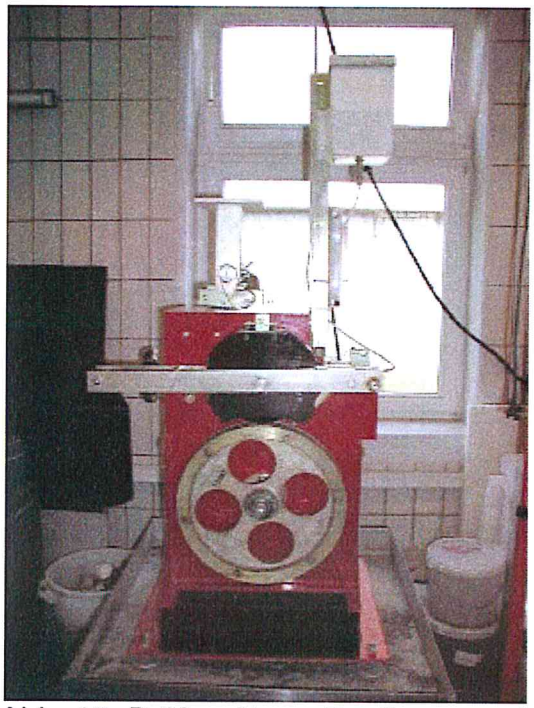


Abb. 10: Prüfgerät zur Bestimmung des PSV- Wertes von Gesteinskörnungen

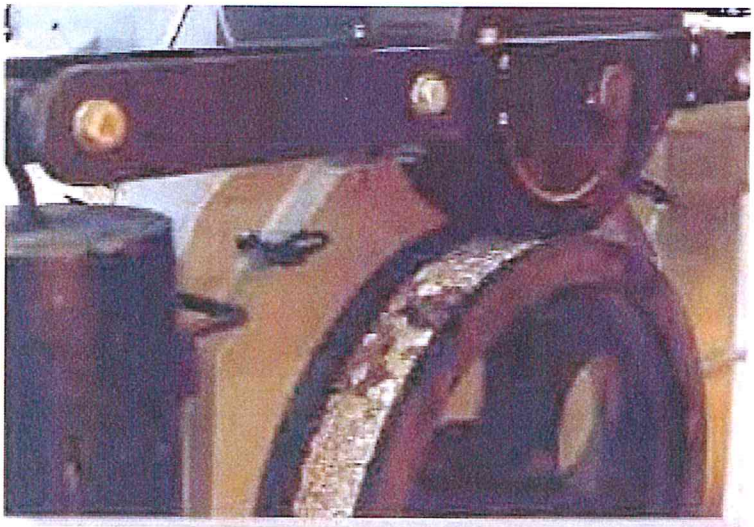


Abb. 11: Prüfrad mit aufgebrachter Probe

2.4.2 Feldprüfverfahren

Mit folgenden Feldprüfverfahren wurde der Griffigkeitszustand beschrieben.

2.4.2.1 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

Das Seitenkraftmessverfahren (SKM) nach TP Griff (SKM)- StB dient bauvertragsrechtlich der Beurteilung des Griffigkeitszustandes bei der Abnahme und bis zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche. Entsprechende Anforderungswerte (siehe Tabelle 2) sind für die jeweilige Messgeschwindigkeit in den ZTV Asphalt-StB 07 [5] festgelegt. Dabei darf die Griffigkeit der fertigen Oberfläche der Asphaltdeckschicht bei allen Bauklassen den angegebenen Grenzwerten für den Einzelwert eines 100-m-Abschnittes um nicht mehr als 0,03 unterschreiten.

Messgeschwindigkeit	Zum Zeitpunkt der Abnahme μ_{SKM}	zum Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche μ_{SKM}
80 km/h	0,46	0,40
60 km/h	0,51	0,45
40 km/h	0,56	0,49

Tab. 2: Anforderungswerte für das Messverfahren SKM

Das SKM basiert auf dem Messprinzip des schräg gestellten, unter Seitenschlupf abrollenden Messrades. Mit einem profillosen Messreifen, der in der Radspur zwischen Vorder- und Hinterachse eines Lkw unter einem Schräglaufwinkel von 20° angeordnet ist, wird unter definiertem Annässen der Fahrbahnoberfläche der Seitenkraftbeiwert μ_{SKM} ermittelt (Abb. 12). Er stellt den Verhältniswert zwischen der durch Reibung aktivierten Seitenkraft zur Normalkraft des Messrades dar (s. Abb. 13) und für die jeweils ausgeschriebene Messgeschwindigkeit als 100 m-Mittelwert aus 100 1m- Einzelwerten zu bestimmen.

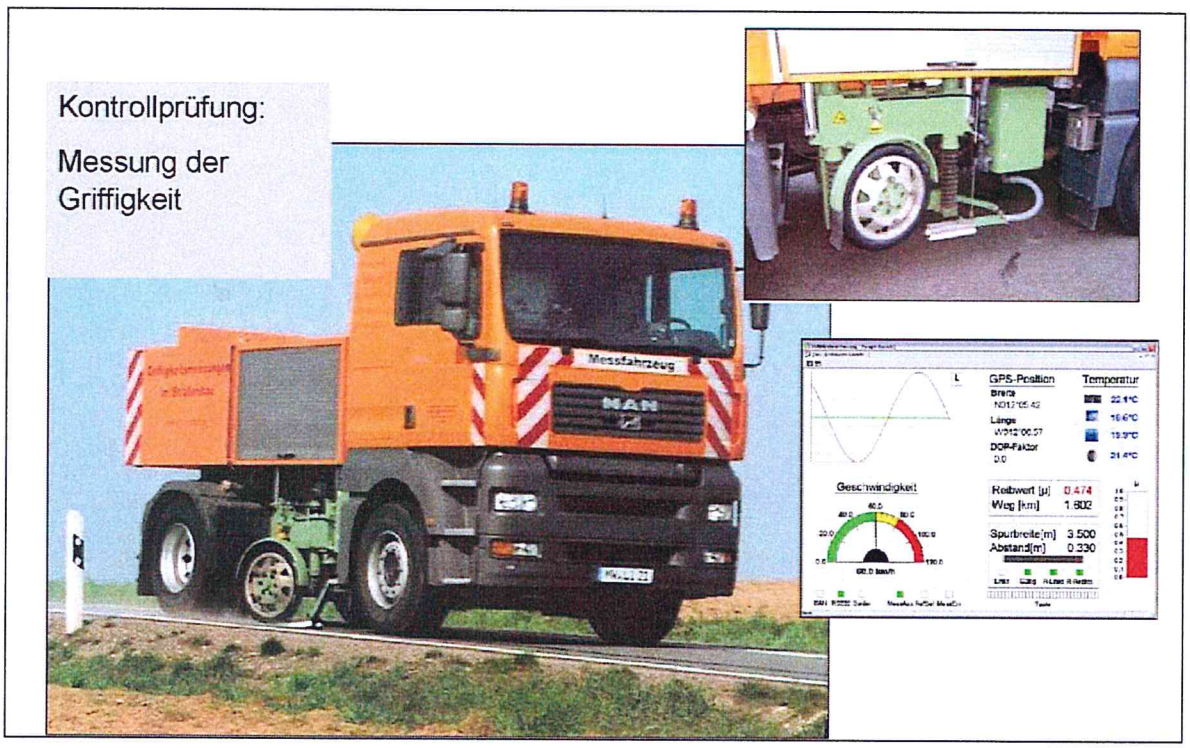


Abb. 12: Seitenkraftmessverfahren SKM mit schräg laufendem Rad [7], [8]

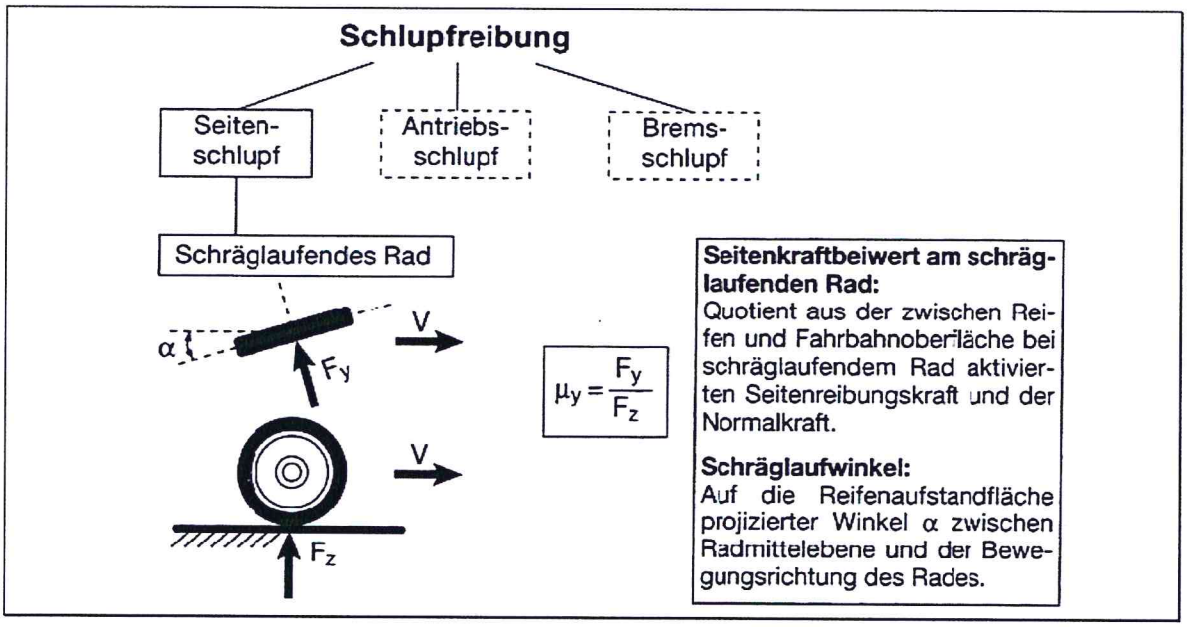


Abb. 13: Seitenkraftmessverfahren SKM mit schräg laufendem Rad (Schema) [7], [8]

2.4.2.2 SRT- Pendel (SRT)

Bei diesem stationären Messverfahren wird die Griffigkeit indirekt über die Messung der Rauheit der Fahrbahnoberfläche bestimmt.
Gemäß ZTV Asphalt-StB [5] kann auf die Messung mit dem SKM zur Abnahme verzichtet werden, wenn bei der Prüfung der Griffigkeit nach TP Griff- StB (SRT) [9] folgende Richtwerte eingehalten werden:

- SRT- Wert ≥ 60 und
- Ausflusszeit ≤ 30 s.

Beim Skid Resistance Tester (SRT) gleitet die Kante eines Gummikörpers, der an einem Pendelarm befestigt ist, mit einer Geschwindigkeit von ca. 10 km/h über die angenässte Prüffläche. Das Pendel erreicht nach Auslösen aus der horizontalen Ausgangslage und nach dem Gleiten über die Prüffläche eine bestimmte Steighöhe, die mit einem Schleppzeiger gemessen wird. Diese ist umso größer, je kleiner der Energieverlust beim Gleitvorgang war. Der Energieverlust ist identisch mit der Reibungsarbeit und somit ein Maß für die Griffigkeit der Prüffläche. Der SRT- Wert (die Steighöhe) wird am Skalenschild abgelesen und kennzeichnet den Einfluss der Mikrorauheit auf die Griffigkeit einer Fahrbahn bei Nässe. Der abgelesene Wert wird mit einem, sich durch die Gleitkörpertemperatur ergebenen Wert korrigiert.
Bei der Messung sind mindestens 5 Pendeldurchgänge durchzuführen, die nicht mehr als 3 Einheiten voneinander abweichen dürfen.

Der Aufbau des Pendelgerätes ist in Abbildung 14 dargestellt.

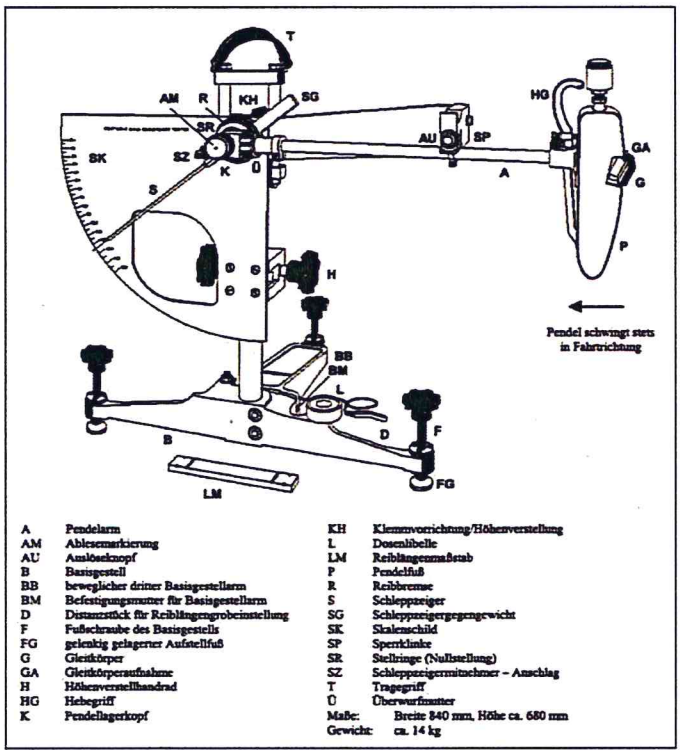


Abb. 14: Aufbau SRT- Pendel [9]

2.4.2.3 Ausflussmesser nach Moore (AM)

Beim Ausflussmesser nach Moore handelt es sich um einen Acrylzylinder mit Gewichtsring, an dessen Unterseite ein Gummiring angesetzt ist (Abbildung 15). Der Zylinder wird auf die Prüffläche gestellt, mit Wasser gefüllt und anschließend die Zeitdauer gemessen, in der ein bestimmtes Wasservolumen zwischen Gummiring und Fahrbahn ausfließt. Über das relative Drainagevermögen wird unter definierten Randbedingungen so die Ausprägung der Makrorauheit der Fahrbahnoberfläche erfasst. Je ausgeprägter diese ist, desto kürzer ist die Ausflusszeit.

Auf feinstrukturierten ebenen Flächen weisen wiederholte Prüfungen eine Standardabweichung von 4,0 s bei einer Ausflusszeit zwischen etwa 30 s und 250 s auf [11].

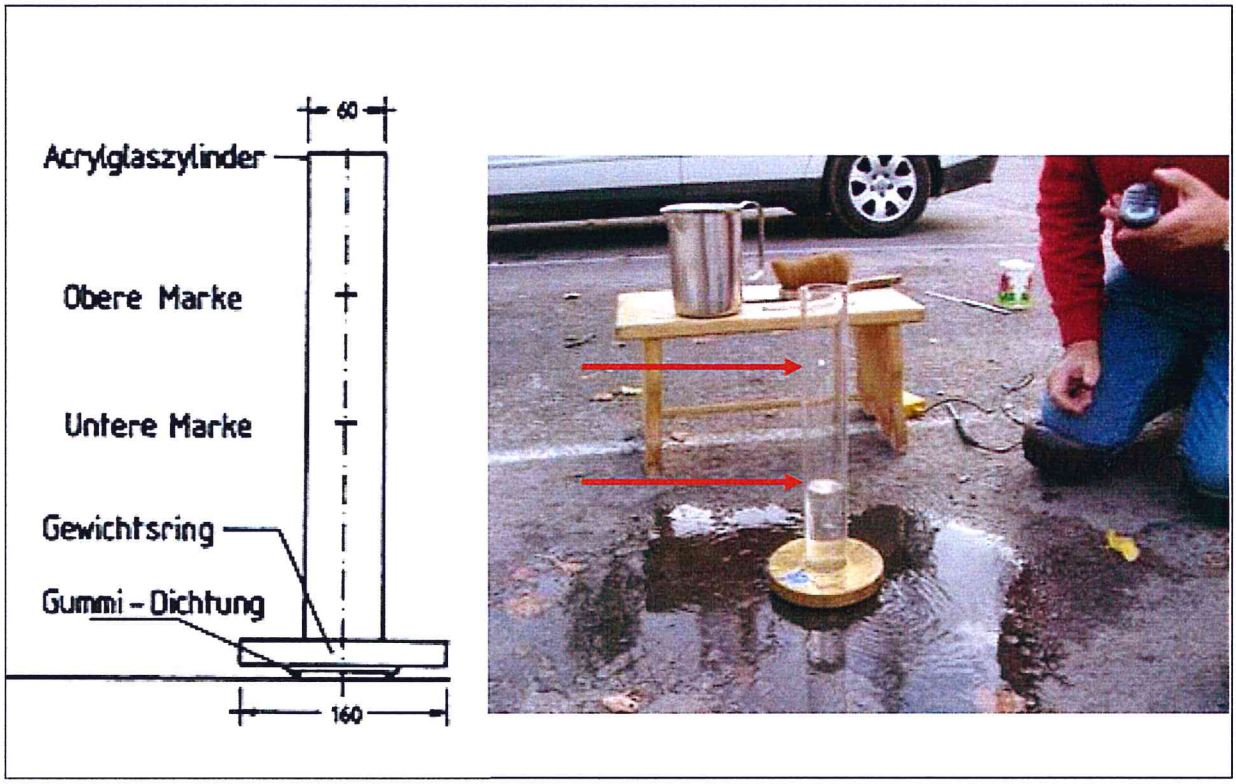


Abb. 15: Aufbau und Messprinzip des Ausflussmessers nach Moore

2.4.2.4 Sandfleckmethode (SF)

Mit Hilfe dieses volumetrischen Verfahrens wird nach DIN EN 13036-1 [10] durch Verteilung einer definierten Glassandmenge auf der Prüffläche die Makrotexturtiefe eines Fahrbahnbelages bestimmt. Auf die trockene und saubere Messfläche werden 25 cm³ genormter Glassand kegelförmig aufgeschüttet und mit einer flachen Scheibe unter sich spiralförmig erweiternden Kreisbewegungen in den Hohlräumen der Fahrbahnoberfläche verteilt (Abb. 16). Anschließend wird der Durchmesser des meist nicht exakt kreisförmigen Sandflecks an mindestens vier Stellen gemessen und gemittelt.

Die mittlere Oberflächentexturtiefe MTD, als Kriterium für die Makrorauheit der Oberfläche, ergibt sich aus dem Quotienten des Sandvolumens V und des Durchmessers D der erfassten Sandfläche zu:

$$MTD = 4V / \pi D^2 \ [mm]. \qquad (2)$$

Anforderungen an die ermittelten Messwerte bestehen nicht. Man erhält lediglich eine Aussage über die Ausgeprägtheit der Makrorauheit der Fahrbahnoberfläche.

Die Genauigkeit des Verfahrens wird in DIN EN 13036 – 1 [10] beschrieben: „Die Standardabweichung bei wiederholten Messungen durch denselben Messtechniker auf derselben Fahrbahnoberfläche kann bis zu 1 % der mittleren Texturtiefe betragen.
Die Standardabweichung bei wiederholten Messungen verschiedener Messtechniker auf derselben Fahrbahnoberfläche kann bis zu 2 % der mittleren Texturtiefe betragen.“

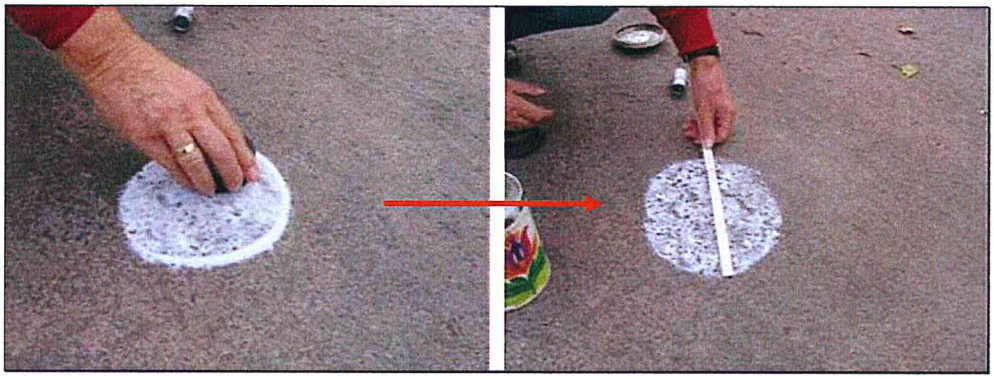


Abb. 16: Messprinzip Sandfleckmethode

2.5 Schlussfolgerungen für das Forschungsprojekt

Die zu erwartenden Ergebnisse sind projektspezifisch und beziehen sich ausschließlich auf die im Forschungsprojekt untersuchten Mischgutarten sowie die an der Versuchsstrecke vorherrschenden Verkehrs- und Witterungsverhältnisse.

Um im Forschungsvorhaben Einflüsse aus jahreszeitlichen Schwankungen (siehe Punkt 2.2) gering zu halten, wurden der Zeitpunkt der Messkampagnen jeweils auf April und Oktober festgelegt. Im Frühjahr und im Herbst liegt ein vergleichbares Griffigkeitsniveau vor.

Eine Griffigkeitsprognose im Rahmen der Erstprüfung ist nur an im Labor hergestellten Probeplatten möglich, da zu diesem Zeitpunkt keine Bohrkerne aus der eingebauten Fahrbahnoberfläche zur Prüfung zur Verfügung stehen. Es kommen die Labor- Verfahren PWS und PGM zur Anwendung.

Im Forschungsprojekt wird das Prüfverfahren PWS modifiziert, um den Griffigkeitsverlauf präziser zu charakterisieren. Die in [15] beschriebenen 4 Beanspruchungszustände werden auf 8 erweitert:

Zustand [0]: unbeanspruchter Ausgangszustand
Zustand [1]: Griffigkeitsmessung nach 30.000 Überrollungen
Zustand [2]: Griffigkeitsmessung nach 60.000 Überrollungen
Zustand [3]: Griffigkeitsmessung nach 90.000 Überrollungen
Zustand [4]: Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen
Zustand [5]: Griffigkeitsmessung 120.000 Überrollungen
Zustand [6]: Griffigkeitsmessung 150.000 Überrollungen
Zustand [7]: Griffigkeitsmessung 180.000 Überrollungen
Zustand [8]: Griffigkeitsmessungen bis zum Erreichen einer Endgriffigkeit

Die im Forschungsvorhaben eingesetzten in- situ- Prüfverfahren zur Bestimmung der Griffigkeit sprechen verschiedene Bereiche der Oberflächentextur der Fahrbahn unterschiedlich an (siehe Punkt 2.1). Sie sind somit untereinander nicht vergleichbar. Daher wird bei den durchzuführenden Untersuchungen auf die Ermittlung etwaiger Korrelationen zwischen den Feldprüfverfahren verzichtet.

Die Griffigkeitsentwicklung zu Beginn unmittelbar nach dem Einbau ist praktisch von geringem Interesse und die Griffigkeit des Asphaltgemisches bei den Laborprüfverfahren kann infolge des Einflusses der Abstreuung nur ungenau beschrieben werden. Daher wird die Griffigkeitsentwicklung infolge der Polierbeanspruchung erst dann ausgewertet, wenn sich die Kurve einer Asymptote annähert. Das besondere Interesse von kleinen und mittleren Unternehmen (kmU) liegt in der Einschätzung der Griffigkeit zum Ende der Verjährungsfrist für Mängelansprüche.

Für die Auswertung der Griffigkeitsmessungen mit dem SKM werden die 20m- Werte herangezogen, da bei den 1m- Werten die Streuungen zu groß und die sonst üblichen 100m- Werte durch die Mittelwertbildung zu ungenau sind. Die 20m- Werte können dem Bereich der Bohrkernentnahme in jedem Prüffeld eindeutig zugeordnet werden.

3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungszieles

Es werden zwei verschiedene Asphaltdeckschichtmischgutarten (SMA 0/11 S und AB 0/11 S) mit jeweils 3 unterschiedlichen sächsischen Gesteinsarten hinsichtlich ihrer Griffigkeitsentwicklung untersucht. Um den Einfluss unterschiedlicher Bindemittelarten auf die Griffigkeit auszuschließen, wurde für beide Mischgüter polymermodifiziertes Bitumen 25/55-55 A entsprechend der ZTV Asphalt-StB [5] verwendet.

Aufgabe des Forschungsvorhaben ist es, zu untersuchen, inwieweit bzw. ob die Entwicklung der Griffigkeit für die untersuchten Asphaltgemische sich mit Hilfe des Laborprüfgerätes Wehner/ Schulze (PWS) und dem Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM) im Rahmen von Erstprüfungen prognostizieren lässt. Die Prüfbedingungen sind in den jeweils entsprechenden Arbeitsanleitungen (siehe Literaturstudie) festgelegt.
Zum Zeitpunkt der Erstellung der Erstprüfungen stehen keine Bohrkerne aus der eingebauten Schicht zur Prüfung zur Verfügung. Deshalb lässt sich die Griffigkeitsentwicklung lediglich an Bohrkernen von im Labor mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät hergestellten WSV- Platten (im Folgenden Laborprobekörper) prüfen.
Um den Einfluss der unterschiedlichen Art der Herstellung der Probekörper (Bohrkern und Laborprobekörper) darzustellen, wird zunächst die Griffigkeitsentwicklung durch die beiden Laborprüfverfahren am Bohrkern aus der Fahrbahnoberfläche (BK) und am Laborprobekörper vergleichend untersucht.

Im Rahmen halbjährlich stattfindender Messkampagnen wird die zeitabhängige Griffigkeitsentwicklung der verschiedenen Deckschichten durch die Feldprüfverfahren Seitenkraftmessverfahren (SKM) sowie SRT- Pendel, Ausflussmesser (AM) und Sandfleckmethode (SF) unter realistischer Verkehrsbelastung einer Bundesstraße erfasst. An gleichzeitig entnommenen Bohrkernen wird der jeweilige Griffigkeitszustand durch die Laborprüfverfahren PWS und PGM festgestellt.
Die Auswertung der Zusammenhänge zwischen den Labor- und Feldprüfverfahren erfolgt über die Beurteilung des Bestimmtheitsmaßes der korrelativen Zusammenhänge, wobei aufgrund bauvertraglicher Festlegungen der

Zusammenhang zwischen den Prognoseverfahren und dem SKM- Verfahren von besonderem Interesse ist.
Gleichzeitig wird untersucht, inwieweit die anderen Feldprüfverfahren SRT- und Ausflussmessung und die Sandfleckmethode in die Griffigkeitsprognose einbezogen werden können.

4 Versuchsstrecke

4.1 Randbedingungen

Folgende Randbedingungen waren bei der Auswahl der Versuchsstrecke für die geplanten Griffigkeitsmessungen zu beachten:

- Die Länge der Versuchsstrecke sollte mindestens 1.800 m betragen, da eine Aufteilung in 6 Messabschnitte von je 300 m Länge vorgesehen war.
- Die Abschnitte sollten zusammenhängend sein, um gleiche Witterungs- und Verkehrsverhältnisse zu gewährleisten.
- Die Verkehrsbeanspruchung der Fahrbahn sollte mindestens der Bauklasse I oder II nach RStO 01 [23] entsprechen und für alle 6 Messabschnitte annähernd gleich sein.
- Der Streckenverlauf sollte weitgehend horizontal und geradlinig verlaufen, um außergewöhnliche Brems- und Beschleunigungsbeanspruchungen zu minimieren.
- Um eine gleichmäßige Verkehrsbelastung ohne seitliche Verkehrzu- und Abströme zu gewährleisten, sollte der Streckenverlauf frei von Kreuzungen und Einmündungen sein.
- Um einen Vergleich des Griffigkeitsverhaltens zwischen den auf Fahrbahnen der Bauklasse I und II üblichen Asphaltdeckschichtmischgutarten zu erhalten, wurde der Einbau eines Splittmastixasphalt 0/11 S in der einen und eines Asphaltbeton 0/11 S in der anderen Fahrtrichtung gewählt. Beide Mischgüter wurden jeweils mit drei unterschiedlichen sächsischen Gesteinen und mit PmB 45 A (neu: 25/55-55 A) als Bindemittel rezeptiert.

Für das Forschungsprojekt wurde eine Versuchsstrecke auf der Bundesstraße B 186 südlich von Leipzig angelegt. Die grundhafte Erneuerung der zweistreifigen Fahrbahn eines ca. 1600 m langen Streckenabschnittes zwischen den Kotenpunkten Zitzschen und Kleindalzig begann III. Quartal 2007. Die Baumaßnahme wurde durch das Straßenbauamt Leipzig als Versuchsstrecke mit den von der Forschungsstelle vorgegebenen Rahmenbedingungen ausgeschrieben. In Abb. 17 ist der Bauabschnitt im Lageplan dargestellt.

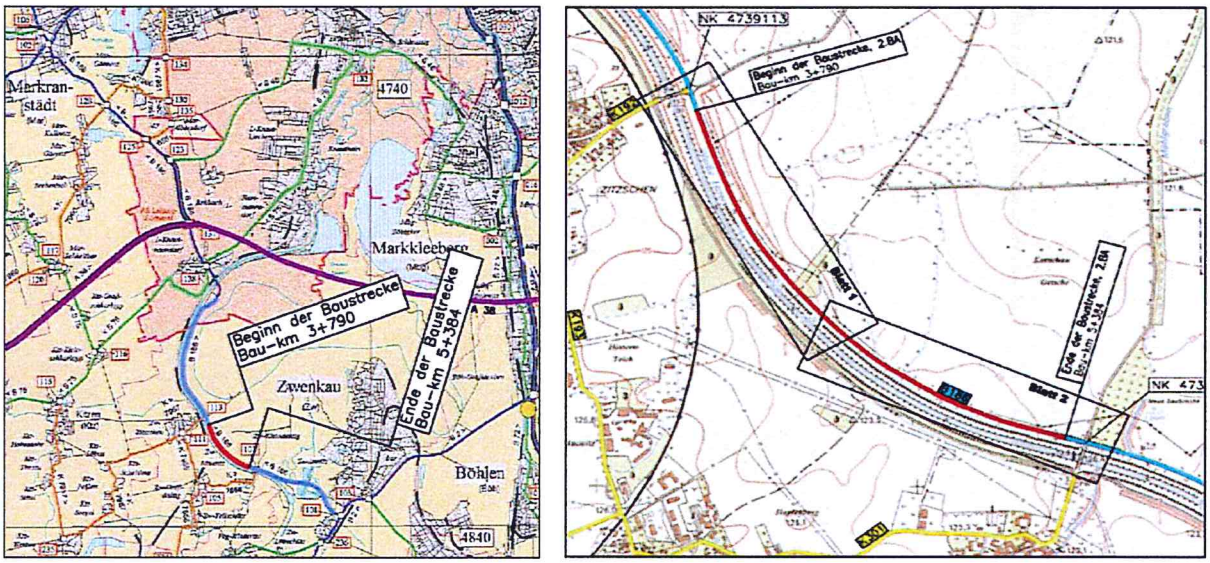


Abb. 17: Lagepläne der Versuchsstrecke B 186 [24]

4.2 Auswahl der Gesteinsarten

Entsprechend dem Regelwerk für Asphaltbeton- und Splittmastixmischgut wurden Gesteinsarten ausgewählt, die die Anforderungen gemäß TL Asphalt- StB 07 für die Bauklasse II mit einem PSV- Wert ≥ 48 für Asphaltbeton sowie PSV- Wert ≥ 51 für Splittmastixasphalt erfüllen.

In Sachsen sind verschiedene Gesteinsarten aus unterschiedlichen Steinbrüchen für den Einsatz in Asphaltdeckschichten zugelassen [25].

Abbildung 18 zeigt eine Übersicht der Bandbreite der PSV-Werte dieser Gesteine.

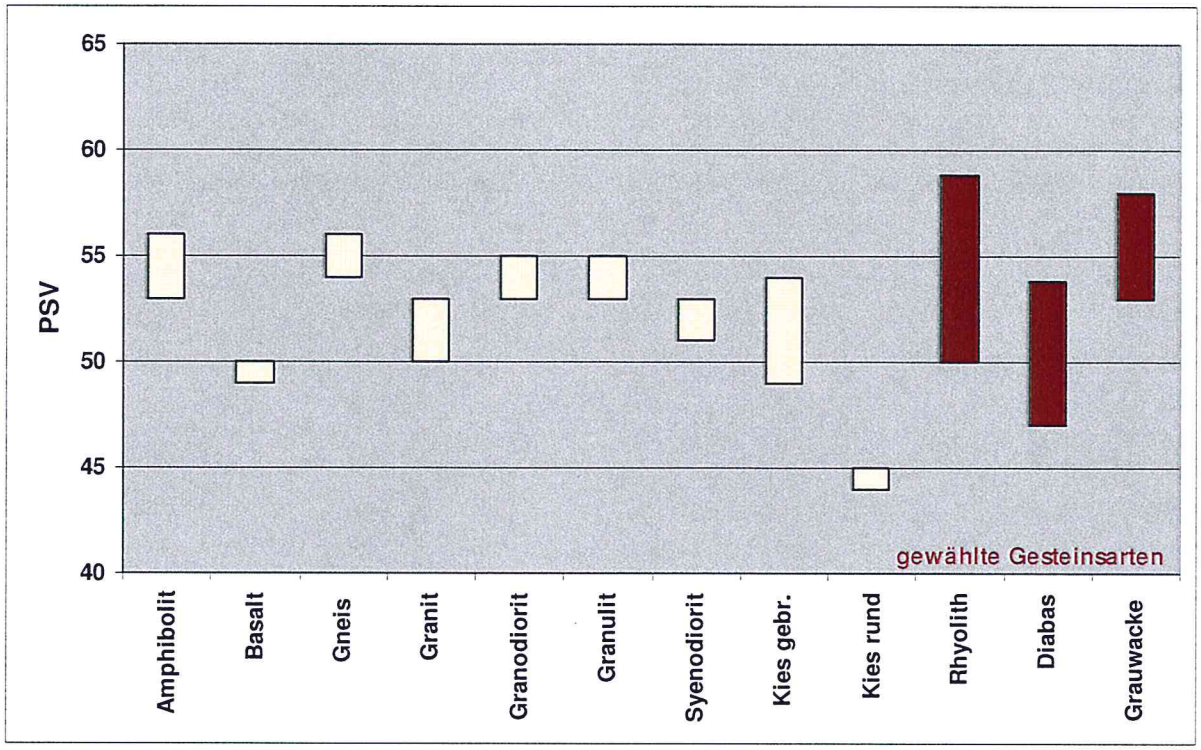


Abb. 18: PSV-Werte sächsischer Gesteine

Aufgrund der regionalen Vorkommen wurden aus der Vielzahl der verwendbaren Gesteine der Rhyolith aus Großsteinberg, der Diabas aus Seifersdorf sowie die Grauwacke aus Breitenau für den Einsatz auf der Versuchsstrecke ausgewählt. Diese kamen sowohl im Asphaltmischgut als auch als Abstreumaterial im jeweiligen Prüfabschnitt zum Einsatz. Alle drei Gesteine weisen hohe PSV-Werte im Bereich zwischen 53 und 58 auf (vgl. Abb. 18).

4.3 Anlage der Prüffelder und Messstellen

In Abb. 19 ist der gesamte ca. 1600 m lange Bauabschnitt der B 186, in dem die Versuchsstrecke angelegt wurde, schematisch dargestellt. Der Abschnitt wird auf beiden Seiten jeweils durch einen Knotenpunkt begrenzt. Die Strecke wurde je Fahrtrichtung in 3 Prüfabschnitte von je 450 m Länge eingeteilt.

Die angrenzenden Streckenbereiche zum Bauanfang bzw. zum Bauende hin (gelb dargestellt) wurden bei den durchgeführten Griffigkeitsuntersuchungen nicht berücksichtigt.

In Fahrtrichtung Zwenkau wurde der Splittmastixasphalt 0/11 S (Prüffelder 1, 2 und 3), in Fahrtrichtung Markranstädt der Asphaltbeton 0/11 S (Prüffelder 4, 5, und 6) mit jeweils den 3 verschiedenen Gesteinsarten eingebaut.

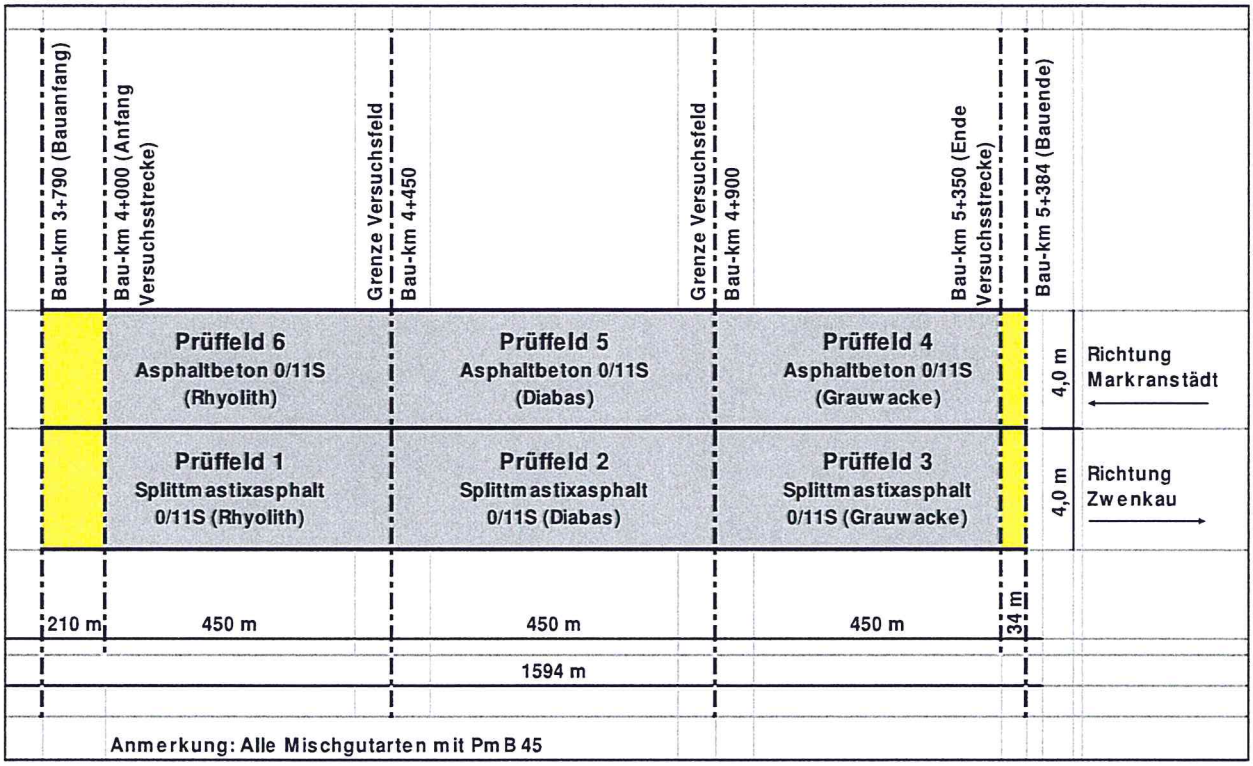


Abb. 19: Einteilung der Prüffelder

Innerhalb des jeweiligen Prüffeldes wurden die einzelnen Messstellen angeordnet (Abb. 20). Die Griffigkeitsmessungen mit dem SKM bei einer Prüfgeschwindigkeit von 60 km/h, dem SRT- Pendel, der Ausflussmessung und der Sandfleckmethode erfolgten immer in der rechten Rollspur. Die Bohrkerne für die Laboruntersuchungen mit PWS bzw. PGM wurden immer aus der linken Rollspur entnommen.

Dabei ist der ermittelte 20m- SKM- Wert in jedem Prüffeld genau den in den Messkampagnen entnommenen Bohrkernen sowie den weiteren Griffigkeitsmessungen in situ zuzuordnen (Abb. 20). Für die Weiterführung des Forschungsvorhabens wird diese Vorgehensweise beibehalten.

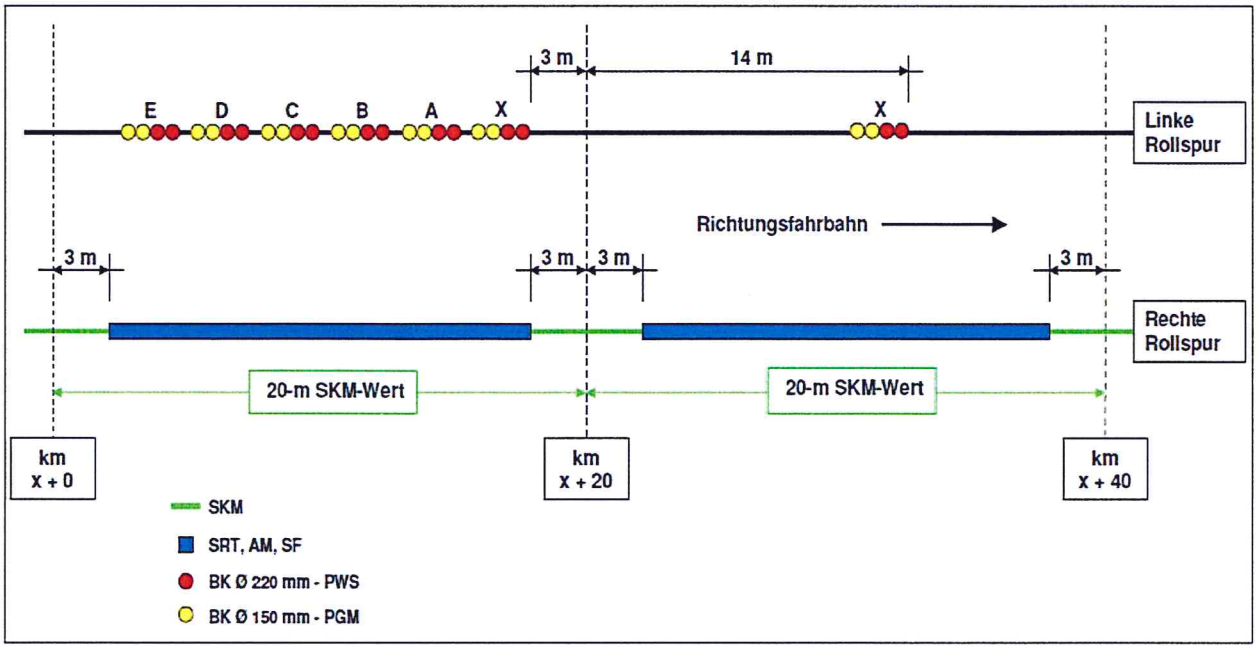


Abb. 20: Anordnung der Messstellen und Bohrkernentnahmen je Prüffeld

5. Auswertung der Prüfergebnisse

5.1 Kontrollprüfungen der eingebauten Mischgüter

Die Eignungsprüfungen der verwendeten Deckschichtmischgutarten SMA 0/11 S und AB 0/11 S wurden der Forschungsstelle vom Mischguthersteller übergeben und sind in Anlage 1 enthalten. Bei der Rezeptur der Mischgüter kamen die jeweils vorgegebene Gesteinsart (Rhyolith, Diabas und Grauwacke) in allen Korngruppen – außer Füller – sowie ein PmB 45 A als Bindemittel zum Einsatz.

Im Rahmen der Eigenüberwachung beim Einbau der Deckschichtmischgüter wurden die Einbautemperaturen, die Einbaudicke sowie die Beschaffenheit des Mischgutes, des Abstreumaterials und der fertigen Oberfläche nach Augenschein geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass die Einbautemperaturen mit 170 – 180 °C sehr hoch waren. Die Abstreuung der Fahrbahnoberfläche mit der im jeweiligen Mischgut verwendeten Gesteinsart zur Erzielung einer ausreichenden Anfangsgriffigkeit wurde ebenso dokumentiert (Anlage 2).

Die Durchführung der Kontrollprüfungen am Deckschichtmischgut und an der eingebauten Schicht (Bohrkern) erfolgte nach altem (ZTV Asphalt-StB 01 [21]) und neuem (ZTV Asphalt-StB 07 [5]) Regelwerk, wobei insgesamt die Einhaltung der gestellten Anforderungen nachgewiesen werden konnte (Tabelle 3 und 4, Anlage 3).

Allerdings waren die Hohlraumgehalte der eingebauten Schicht sehr niedrig (z. B. SMA 1,0 Vol- % und AB 2,3 Vol- %), was u. a. auf die hohen Mischguttemperaturen beim Einbau zurück zu führen sein könnte.

	Einheit	Soll lt. EP bzw. Bauvertrag						IST nach ZTV Asphalt- StB 01					
		Prüf. 1	**Prüf. 2**	**Prüf. 3**	**Prüf. 4**	**Prüf. 5**	**Prüf. 6**	**Prüf.1**	**Prüf. 2**	**Prüf. 3**	**Prüf. 4**	**Prüf. 5**	**Prüf. 6**
		Mischgut											
Kornanteil > 2 mm	M.-%	74,6	74,4	74,6	53,6	53,6	54,0	75,1	74,1	74,2	48,9	48,8	48,2
Kornanteil 0,063 – 2 mm	M.-%	14,5	14,6	14,4	37,6	37,7	37,1	13,9	13,8	14,4	39,8	39,7	41,6
Kornanteil Füller	M.-%	10,9	11,0	11,0	8,8	8,7	8,9	11,0	12,1	11,4	11,3	11,5	10,2
Größtkorn	M.-%	46,7	47,0	48,3	23,2	23,2	23,1	51,6	48,1	47,0	24,1	23,1	23,3
Bindemittelgehalt	M.-%	6,6	6,4	6,5	5,9	5,9	6,0	6,7	6,5	6,7	6,1	6,1	6,2
Erweichungspunkt RuK	°C	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	66,0	65,2	68,2	65,6	67,6	67,2
Nadelpenetration	1/10 mm	25-55	25-55	25-55	25-55	25-55	25-55	33	33	32	27	29	29
Elast. Rückstellung	%	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	74	72	73	71	75	75
Mischgutrohdichte	g/cm³	2,385	2,570	2,496	2,524	2,608	2,401	2,376	2,521	2,489	2,509	2,561	2,406
Raumdichte am Marshall-Probekörper	g/cm³	2,304	2,482	2,407	2,430	2,506	2,310	2,305	2,462	2,427	2,450	2,506	2,310
Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper	Vol.-%	3,4	3,4	3,6	3,9	3,9	3,8	3,0	2,3	2,5	2,4	2,1	4,0
Marshall-Stabilität	kN	9,7	10,2	10,4	11,0	10,7	10,9	9,8	9,4	11,0	15,5	18,5	18,5
Marshall-Fließwert	mm	3,9	3,8	3,6	3,7	3,7	3,6	4,3	3,7	4,2	4,2	5,8	3,6
		eingebaute Schicht											
Raumdichte am Bohrkern	g/cm³	-	-	-	-	-	-	2,332	2,495	2,444	2,443	2,503	2,301
Hohlraumgehalt am Bohrkern	Vol.-%	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	1,9	**1,0**	1,8	2,6	2,3	4,4
Verdichtungsgrad	%	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	101,2	101,3	100,7	99,7	99,9	99,6
Schichtdicke	mm	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6

Tab. 3: Ergebnisse der Kontrollprüfungen nach ZTV Asphalt- StB 01

	Einheit	Soll lt. EP bzw. Bauvertrag						IST nach ZTV Asphalt- StB 07					
		Prüf. 1	**Prüf. 2**	**Prüf. 3**	**Prüf. 4**	**Prüf. 5**	**Prüf. 6**	**Prüf.1**	**Prüf. 2**	**Prüf. 3**	**Prüf. 4**	**Prüf. 5**	**Prüf. 6**
		Mischgut											
Kornanteil > 2 mm	M.-%	74,6	74,4	74,6	53,6	53,6	54,0	75,1	74,1	74,2	48,9	48,8	48,2
Kornanteil 0,063 – 2 mm	M.-%	14,5	14,6	14,4	37,6	37,7	37,1	14,5	13,9	15,0	39,8	40,7	41,6
Kornanteil Füller	M.-%	10,9	11,0	11,0	8,8	8,7	8,9	10,4	12,0	10,8	11,3	10,5	10,2
Größtkorn	M.-%	46,7	47,0	48,3	23,2	23,2	23,1	51,6	48,1	47,0	24,1	23,1	23,3
Bindemittelgehalt	M.-%	6,6	6,4	6,5	5,9	5,9	6,0	6,7	6,5	6,7	6,1	6,1	6,2
Erweichungspunkt RuK	°C	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	59,0	66,0	65,2	68,2	65,6	67,6	67,2
Nadelpenetration	1/10 mm	25-55	25-55	25-55	25-55	25-55	25-55	33	33	32	27	29	29
Elast. Rückstellung	%	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 50	74	72	73	71	75	75
Mischgutrohdichte	g/cm³	2,385	2,570	2,496	2,524	2,608	2,401	2,376	2,521	2,489	2,509	2,561	2,406
Raumdichte am Marshall-Probekörper	g/cm³	2,304	2,482	2,407	2,430	2,506	2,310	2,318	2,473	2,437	2,455	2,510	2,326
Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper	Vol.-%	3,4	3,4	3,6	3,9	3,9	3,8	2,4	1,9	2,1	2,2	2,0	3,3
Marshall-Stabilität	kN	9,7	10,2	10,4	11,0	10,7	10,9	-	-	-	-	-	-
Marshall-Fließwert	mm	3,9	3,8	3,6	3,7	3,7	3,6	-	-	-	-	-	-
		eingebaute Schicht											
Raumdichte am Bohrkern	g/cm³	-	-	-	-	-	-	2,348	2,511	2,458	2,458	2,519	2,316
Hohlraumgehalt am Bohrkern	Vol.-%	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	≤ 6,0	1,2	**0,4**	1,2	2,0	1,6	3,7
Verdichtungsgrad	%	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97	101,3	101,5	100,9	100,1	100,4	99,6
Schichtdicke	mm	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6

Tab. 4: Ergebnisse der Kontrollprüfungen nach ZTV Asphalt- StB 07

5.2 Prognoseverfahren am Ausgangsmischgut

Während des Mischguteinbaus wurden in jedem Prüffeld Mischgutproben für die Prognoseverfahren entnommen. Aus diesen Mischgütern wurden für jedes Prüffeld Probeplatten mit dem Walzsektor- Verdichtungsgerät hergestellt und nach dem jeweiligen Arbeitsverfahren durch die Laborprüfverfahren PWS und PGM geprüft. Nach dem Einbau und vor der Verkehrsfreigabe (Zeitpunkt X) wurden in jedem Prüffeld Bohrkerne entnommen, deren Griffigkeitsverlauf ebenfalls durch die Laborprüfverfahren PWS und PGM bestimmt wurde. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst. Es wurden jeweils 4 Laborprobekörper bzw. Bohrkerne geprüft, um eine höhere statistische Sicherheit zu erhalten.

5.2.1 Prüfverfahren Wehner/ Schulze (PWS)

5.2.1.1 Prognoseverfahren PWS an Laborprobekörpern (Messkampagne X)

Prüffeld	Probe-Nr.	Einzelwerte [Beanspruchungsstufe]								
		[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	X.1.1	0,263	0,301	0,310	0,315	0,526	0,345	0,312	0,294	0,260
	X.1.2	0,259	0,305	0,309	0,304	0,540	0,311	0,290	0,275	0,238
	X.1.3	0,292	0,304	0,288	0,281	0,531	0,296	0,269	0,259	0,225
	X.1.4	0,238	0,243	0,239	0,246	0,494	0,297	0,273	0,257	0,203
	Mittelwert	**0,263**	**0,288**	**0,287**	**0,287**	**0,523**	**0,312**	**0,286**	**0,271**	**0,232**
2	X.2.1	0,207	0,204	0,212	0,225	0,386	0,273	0,265	0,262	0,240
	X.2.2	0,204	0,224	0,241	0,255	0,404	0,269	0,257	0,249	0,227
	X.2.3	0,188	0,169	0,169	0,174	0,345	0,222	0,206	0,198	0,183
	X.2.4	0,179	0,176	0,174	0,180	0,370	0,233	0,216	0,208	0,176
	Mittelwert	**0,195**	**0,193**	**0,199**	**0,209**	**0,376**	**0,249**	**0,236**	**0,229**	**0,207**
3	X.3.1	0,234	0,308	0,338	0,352	0,435	0,337	0,351	0,355	0,332
	X.3.2	0,239	0,334	0,342	0,357	0,429	0,346	0,355	0,357	0,341
	X.3.3	0,201	0,256	0,286	0,312	0,380	0,312	0,314	0,314	0,300
	X.3.4	0,243	0,267	0,289	0,308	0,430	0,333	0,335	0,339	0,327
	Mittelwert	**0,229**	**0,291**	**0,314**	**0,332**	**0,419**	**0,332**	**0,339**	**0,341**	**0,325**
4	X.4.1	0,330	0,469	0,471	0,465	0,613	0,449	0,442	0,440	0,390
	X.4.2	0,331	0,468	0,471	0,469	0,630	0,460	0,454	0,448	0,400
	X.4.3	0,332	0,439	0,443	0,445	0,628	0,445	0,440	0,434	0,390
	X.4.4	0,341	0,437	0,443	0,442	0,631	0,438	0,425	0,424	0,390
	Mittelwert	**0,334**	**0,453**	**0,457**	**0,455**	**0,626**	**0,448**	**0,440**	**0,437**	**0,393**
5	X.5.1	0,264	0,291	0,290	0,283	0,568	0,325	0,300	0,290	0,267
	X.5.2	0,254	0,298	0,297	0,296	0,584	0,335	0,308	0,291	0,266
	X.5.3	0,248	0,256	0,239	0,235	0,571	0,311	0,284	0,275	0,244
	X.5.4	0,248	0,287	0,289	0,290	0,617	0,331	0,300	0,285	0,255
	Mittelwert	**0,254**	**0,283**	**0,279**	**0,276**	**0,585**	**0,326**	**0,298**	**0,285**	**0,258**
6	X.6.1	0,401	0,387	0,361	0,348	0,742	0,395	0,361	0,338	0,287
	X.6.2	0,387	0,386	0,360	0,345	0,723	0,383	0,351	0,331	0,295
	X.6.3	0,405	0,384	0,359	0,339	0,742	0,391	0,356	0,337	0,297
	X.6.4	0,396	0,389	0,365	0,347	0,738	0,394	0,359	0,338	0,303
	Mittelwert	**0,397**	**0,387**	**0,361**	**0,345**	**0,736**	**0,391**	**0,357**	**0,336**	**0,296**

Tab. 5: Ergebnisse der PWS- Prognose an WSV- Platten (Messkampagne X)

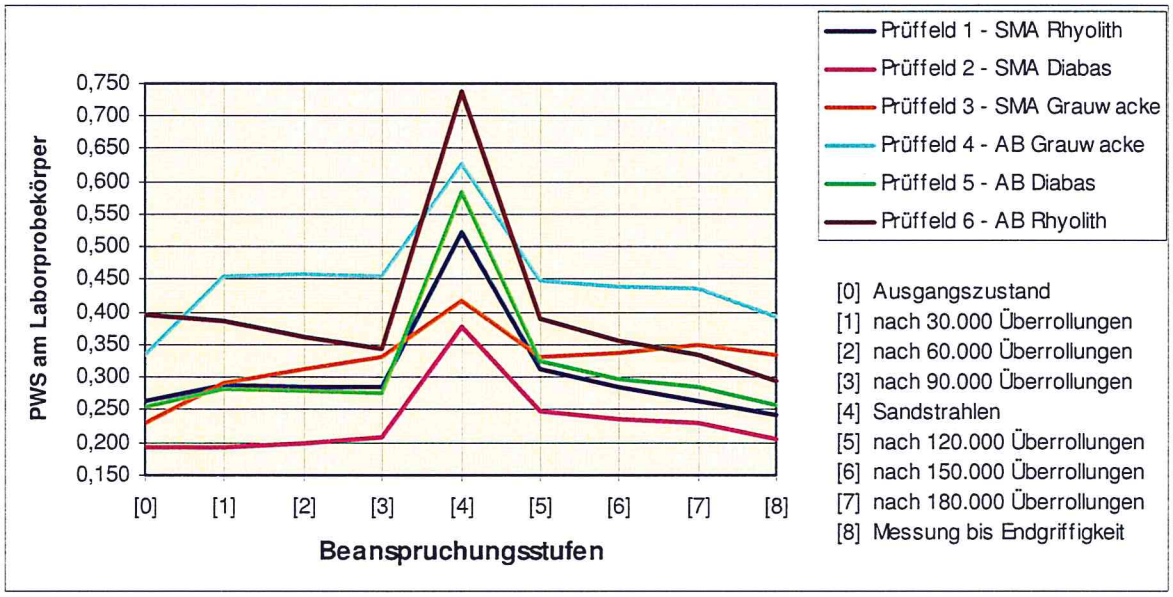


Abb. 21: Prognose mit dem Prüfverfahren PWS an Laborprobekörpern

Nach der Durchführung der Prognose mit dem Laborprüfverfahren PWS an Laborprobekörpern zeigt sich, dass der Asphaltbeton erwartungsgemäß tendenziell höhere Griffigkeiten (nach Beanspruchungsstufe [8] $\bar{x}$ = 0,316) aufweist als der Splittmastixasphalt (nach Beanspruchungsstufe [8] $\bar{x}$ = 0,255).

Im Vergleich der Gesteinsarten (Mittelwert aus den beiden Mischgutarten) stellt sich folgende Reihung dar:

1. Grauwacke mit $\bar{x}$ = 0,359
2. Rhyolith mit $\bar{x}$ = 0,264
3. Diabas mit $\bar{x}$ = 0,233.

5.2.1.2 Prognoseverfahren PWS an Bohrkernen (Messkampagne X)

Prüffeld	Probe-Nr.	Einzelwerte [Beanspruchungsstufe]								
		[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
1	X.1.5	0,591	0,452	0,425	0,406	0,616	0,368	0,340	0,325	0,276
	X.1.6	0,600	0,448	0,414	0,402	0,616	0,365	0,333	0,319	0,278
	X.1.7	0,567	0,421	0,363	0,336	0,697	0,323	0,290	0,269	0,232
	X.1.8	0,556	0,422	0,392	0,379	0,626	0,372	0,346	0,327	0,274
	Mittelwert	**0,579**	**0,436**	**0,399**	**0,381**	**0,639**	**0,357**	**0,327**	**0,310**	**0,265**
2	X.2.5	0,411	0,367	0,354	0,339	0,574	0,333	0,308	0,295	0,265
	X.2.6	0,445	0,399	0,388	0,381	0,577	0,351	0,335	0,317	0,281
	X.2.7	0,536	0,420	0,397	0,372	0,595	0,356	0,326	0,312	0,270
	X.2.8	0,524	0,434	0,406	0,384	0,620	0,351	0,328	0,314	0,268
	Mittelwert	**0,479**	**0,405**	**0,386**	**0,369**	**0,592**	**0,348**	**0,324**	**0,310**	**0,271**
3	X.3.5	0,347	0,389	0,399	0,403	0,543	0,386	0,386	0,383	0,347
	X.3.6	0,320	0,381	0,380	0,384	0,515	0,360	0,354	0,348	0,301
	X.3.7	0,368	0,411	0,404	0,397	0,521	0,400	0,387	0,389	0,338
	X.3.8	0,313	0,337	0,363	0,368	0,500	0,365	0,361	0,363	0,313
	Mittelwert	**0,337**	**0,380**	**0,387**	**0,388**	**0,520**	**0,378**	**0,372**	**0,371**	**0,325**
4	X.4.5	0,528	0,517	0,496	0,482	0,607	0,446	0,423	0,408	0,341
	X.4.6	0,539	0,515	0,496	0,482	0,706	0,496	0,459	0,446	0,361
	X.4.7	0,470	0,469	0,457	0,444	0,653	0,445	0,427	0,416	0,357
	X.4.8	0,472	0,483	0,402	0,433	0,693	0,481	0,462	0,451	0,383
	Mittelwert	**0,502**	**0,496**	**0,463**	**0,460**	**0,665**	**0,467**	**0,443**	**0,430**	**0,361**
5	X.5.5	0,501	0,411	0,392	0,371	0,611	0,367	0,337	0,319	0,274
	X.5.6	0,494	0,417	0,395	0,370	0,638	0,392	0,357	0,339	0,286
	X.5.7	0,447	0,405	0,375	0,356	0,626	0,375	0,337	0,320	0,282
	X.5.8	0,467	0,425	0,400	0,374	0,599	0,367	0,340	0,329	0,277
	Mittelwert	**0,477**	**0,415**	**0,391**	**0,368**	**0,619**	**0,375**	**0,343**	**0,327**	**0,280**
6	X.6.5	0,563	0,422	0,368	0,345	0,738	0,423	0,382	0,360	0,292
	X.6.6	0,600	0,448	0,414	0,393	0,653	0,382	0,343	0,326	0,276
	X.6.7	0,585	0,481	0,444	0,424	0,705	0,413	0,382	0,360	0,303
	X.6.8	0,603	0,452	0,409	0,395	0,685	0,418	0,378	0,359	0,298
	Mittelwert	**0,588**	**0,451**	**0,409**	**0,389**	**0,695**	**0,409**	**0,371**	**0,351**	**0,292**

Tab. 6: Ergebnisse der PWS- Prognose an Bohrkernen (Messkampagne X)

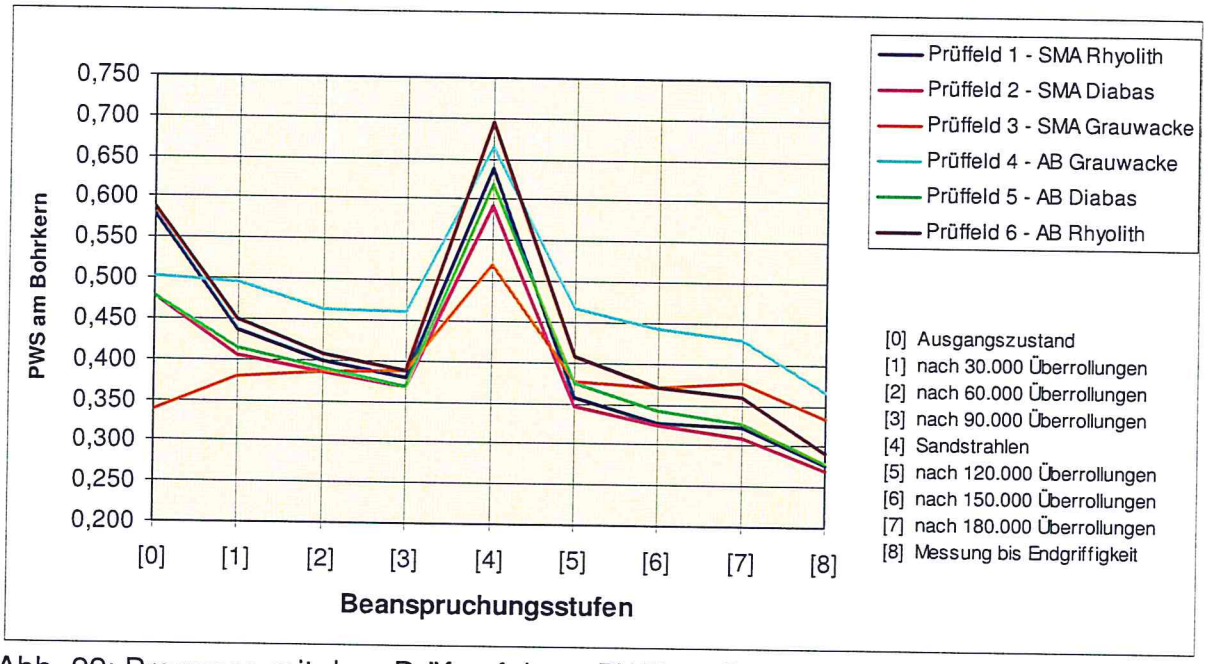


Abb. 22: Prognose mit dem Prüfverfahren PWS an Bohrkernen

Nach der Durchführung der Prognose mit dem Laborprüfverfahren PWS an den Bohrkernen zeigt sich ein ähnlicher Verlauf der Griffigkeiten wie an den Laborprobekörpern. Der Asphaltbeton weist auch hier erwartungsgemäß tendenziell höhere Griffigkeiten (nach Beanspruchungsstufe [8] $\bar{x}$ = 0,311) auf als der Splittmastixasphalt (nach Beanspruchungsstufe [8] $\bar{x}$ = 0,287).

Die Reihung der Gesteine (Mittelwert aus beiden Mischgutarten) wird ebenfalls bestätigt:

1. Grauwacke mit $\bar{x}$ = 0,343
2. Rhyolith mit $\bar{x}$ = 0,279
3. Diabas mit $\bar{x}$ = 0,276.

Allgemein liegen die ermittelten Endgriffigkeiten (nach Beanspruchungsstufe [8]) an den Splittmastixasphalt- Bohrkernen ($\bar{x}$ = 0,287) über den an den Splittmastixasphalt- Laborprobekörper gemessenen Endgriffigkeiten ($\bar{x}$ = 0,255).
Der Unterschied zwischen den Probekörperarten des Asphaltbetons ist mit 0,005 ($\bar{x}_{LPK}$ = 0,316 und $\bar{x}_{BK}$ = 0,311) zu vernachlässigen.

5.2.1.3 Korrelation zwischen der PWS- Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen

Nach der Durchführung der Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren PWS wurde die Korrelation zwischen den Laborprobekörpern und den Bohrkernen ermittelt (Abb. 23).

Da die in den Beanspruchungszuständen [1] bis [4] gemessene Anfangsgriffigkeit für die bauausführenden kleinen und mittlere Unternehmen (kmU) nur bedingt von praktischem Interesse sind, erfolgt die Auswertung ab Beanspruchungszustand [5].

Grundlage für die statistische Betrachtung ist das Statistikprogramm Prediction Intervals der Johnson Graduate School of Management, Cornell University [51].

Zunächst wurde die Signifikanz der Korrelation zwischen den PWS- Messwerten am Laborprobekörper und am BK überprüft.

Dabei ergaben sich für diese Beziehung folgende Resultate:

- R^2 = 0,8172 (Bestimmtheitsmaß)
- p- Wert = 1,406 E-7 % (bei a = 0 in y = ax + b) für eine vorhandene Signifikanz ist p < 5 % (gewähltes Niveau des Signifikanztestes)
- Schätzer y- Achse = 0,1318 (für b in y = ax + b als Wert, an dem die Gerade die y- Achse schneidet)
- 0,6877 = Schätzer für a in y = ax + b als Anstieg der Regressionsgeraden
- Konfidenzintervall = 5 %

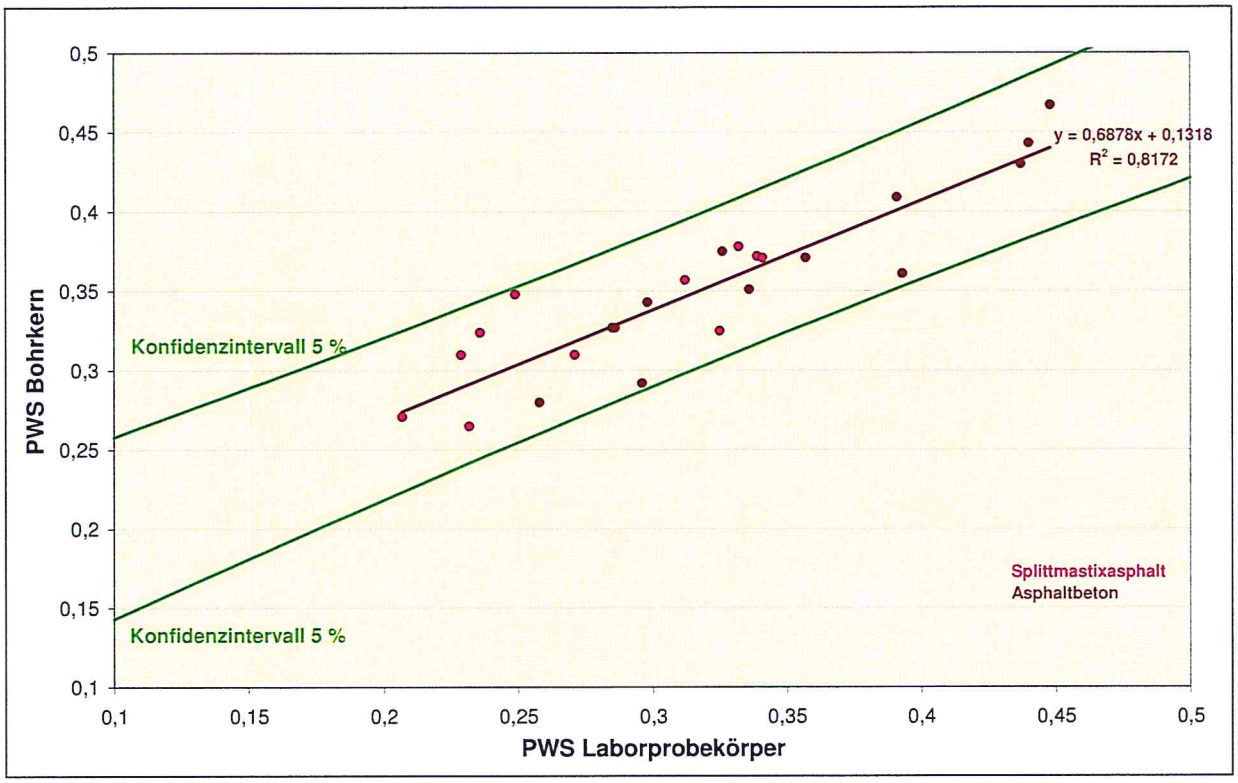


Abb. 23: Korrelation zwischen der Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen

5.2.2 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

5.2.2.1 Prognoseverfahren PGM an Laborprobekörpern (Messkampagne X)

Prüf-feld	Proben-Nr.	Einzelwerte [SFC 80]									
	Polierzeit [mm]	1	5	10	15	30	60	90	120	150	180
1	X 1.9 L	0,59	0,56	0,56	0,55	0,55	0,53	0,53	0,51	0,51	0,49
	X 1.9 R	0,57	0,58	0,57	0,56	0,57	0,54	0,54	0,53	0,50	0,53
	X 1.10 L	0,57	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,51	0,52	0,51	0,51
	X 1.10 R	0,57	0,55	0,55	0,55	0,54	0,53	0,51	0,52	0,51	0,51
	Mittel-wert	**0,58**	**0,56**	**0,56**	**0,55**	**0,55**	**0,53**	**0,52**	**0,52**	**0,51**	**0,51**
2	X 2.9 L	0,53	0,50	0,47	0,46	0,44	0,41	0,39	0,40	0,38	0,38
	X 2.9 R	0,56	0,52	0,49	0,47	0,46	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39
	X 2.10 L	0,51	0,46	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37	0,35	0,36	0,35
	X 2.10 R	0,57	0,50	0,47	0,44	0,44	0,41	0,40	0,38	0,38	0,38
	Mittel-wert	**0,54**	**0,50**	**0,47**	**0,45**	**0,44**	**0,41**	**0,40**	**0,39**	**0,38**	**0,38**
3	X 3.9 L	0,54	0,53	0,48	0,48	0,46	0,46	0,46	0,43	0,43	0,45
	X 3.9 R	0,54	0,53	0,50	0,48	0,48	0,46	0,43	0,44	0,41	0,39
	X 3.10 L	0,59	0,54	0,50	0,52	0,51	0,49	0,48	0,48	0,47	0,47
	X 3.10 R	0,56	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,43	0,45	0,44
	Mittel-wert	**0,56**	**0,53**	**0,50**	**0,50**	**0,49**	**0,47**	**0,46**	**0,45**	**0,44**	**0,44**
4	X 4.9 L	0,56	0,53	0,52	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44
	X 4.9 R	0,59	0,57	0,54	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,48	0,48
	X 4.10 L	0,57	0,53	0,50	0,50	0,48	0,46	0,45	0,45	0,44	0,43
	X 4.10 R	0,55	0,52	0,50	0,50	0,47	0,45	0,43	0,43	0,43	0,43
	Mittel-wert	**0,57**	**0,54**	**0,52**	**0,50**	**0,49**	**0,47**	**0,46**	**0,46**	**0,45**	**0,45**
5	X 5.9 L	0,51	0,45	0,43	0,41	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,35
	X 5.9 R	0,50	0,44	0,42	0,42	0,40	0,36	0,37	0,34	0,33	0,33
	X 5.10 L	0,57	0,44	0,45	0,43	0,42	0,40	0,37	0,35	0,36	0,35
	X 5.10 R	0,54	0,48	0,45	0,42	0,42	0,38	0,37	0,37	0,35	0,34
	Mittel-wert	**0,53**	**0,45**	**0,44**	**0,42**	**0,41**	**0,38**	**0,37**	**0,36**	**0,35**	**0,34**
6	X 6.9 L	0,56	0,52	0,52	0,48	0,47	0,47	0,44	0,39	0,38	0,37
	X 6.9 R	0,55	0,51	0,47	0,45	0,44	0,40	0,37	0,35	0,34	0,34
	X 6.10 L	0,56	0,53	0,51	0,50	0,49	0,45	0,41	0,40	0,37	0,36
	X 6.10 R	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,41	0,41	0,39	0,39
	Mittel-wert	**0,56**	**0,52**	**0,50**	**0,48**	**0,47**	**0,44**	**0,41**	**0,39**	**0,37**	**0,37**

Tab. 7: Ergebnisse der PGM- Prognose an Laborprobekörpern (Messkampagne X)

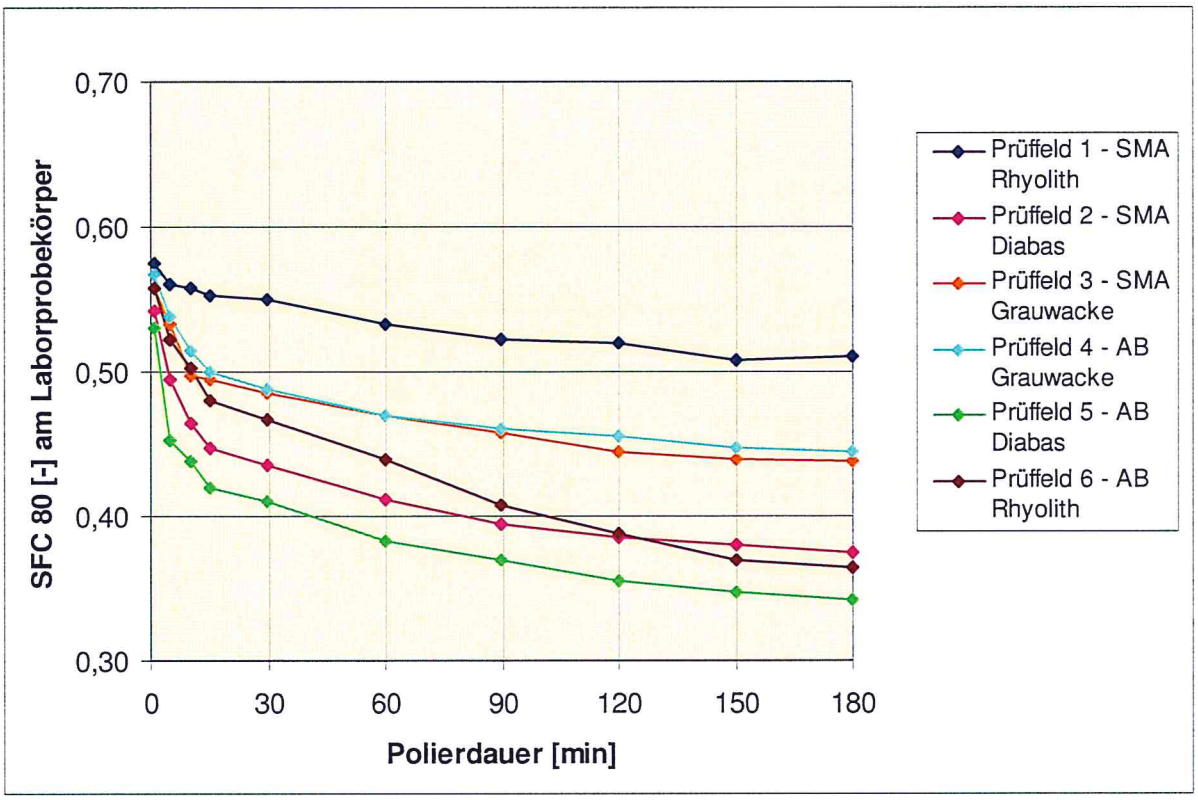


Abb. 24: Prognose mit dem Prüfverfahren PGM an Laborprobekörpern

Die Ergebnisse der Prognose mit dem Laborprüfverfahren PGM an Laborprobekörpern bestätigen die erwarteten tendenziell höheren Griffigkeiten bei Asphaltbetondeckschichten (nach einer Polierdauer von 180 min $\bar{x}$ = 0,44) gegenüber der Griffigkeiten von Splittmastixasphaltdeckschichten (nach einer Polierdauer von 180 min $\bar{x}$ = 0,39).

Bezüglich der Gesteinsarten stellt sich folgende Reihung der Griffigkeiten (Mittelwert aus beiden Mischgutarten) dar:

1. Grauwacke mit $\bar{x}$ = 0,45
2. Rhyolith mit $\bar{x}$ = 0,44
3. Diabas mit $\bar{x}$ = 0,36.

5.2.2.2 Prognoseverfahren PGM an Bohrkernen (Messkampagne X)

Prüf-feld	Proben-Nr.	Einzelwerte [SFC 80]									
	Polierzeit [mm]	1	5	10	15	30	60	90	120	150	180
1	X 1.13	0,65	0,59	0,59	0,57	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,47
	X 1.14	0,63	0,59	0,60	0,58	0,55	0,51	0,49	0,49	0,48	0,49
	X 1.15	0,66	0,64	0,61	0,61	0,57	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50
	X 1.16	0,62	0,59	0,58	0,57	0,55	0,53	0,54	0,51	0,51	0,51
	Mittel-wert	**0,64**	**0,60**	**0,60**	**0,58**	**0,55**	**0,52**	**0,52**	**0,51**	**0,50**	**0,49**
2	X 2.13	0,63	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,44	0,43
	X 2.14	0,58	0,56	0,54	0,52	0,52	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46
	X 2.15	0,54	0,53	0,51	0,50	0,47	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45
	X 2.16	0,58	0,53	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42
	Mittel-wert	**0,58**	**0,54**	**0,52**	**0,50**	**0,48**	**0,47**	**0,46**	**0,45**	**0,45**	**0,44**
3	X 3.13	0,55	0,51	0,50	0,48	0,48	0,45	0,45	0,43	0,45	0,43
	X 3.14	0,57	0,54	0,54	0,52	0,52	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49
	X 3.15	0,53	0,50	0,48	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,44
	X 3.16	0,53	0,52	0,49	0,49	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44
	Mittel-wert	**0,55**	**0,52**	**0,50**	**0,49**	**0,49**	**0,47**	**0,46**	**0,45**	**0,46**	**0,45**
4	X 4.13	0,61	0,55	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,49	0,48
	X 4.14	0,58	0,55	0,52	0,52	0,52	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49
	X 4.15	0,58	0,55	0,52	0,52	0,50	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46
	X 4.16	0,60	0,57	0,54	0,53	0,52	0,50	0,49	0,49	0,48	0,47
	Mittel-wert	**0,59**	**0,56**	**0,53**	**0,52**	**0,51**	**0,50**	**0,49**	**0,48**	**0,48**	**0,48**
5	X 5.13	0,56	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,39	0,40	0,41	0,39
	X 5.14	0,58	0,53	0,51	0,50	0,48	0,47	0,46	0,44	0,41	0,41
	X 5.15	0,59	0,54	0,49	0,48	0,47	0,43	0,40	0,39	0,39	0,39
	X 5.16	0,60	0,55	0,50	0,48	0,47	0,47	0,43	0,43	0,42	0,41
	Mittel-wert	**0,58**	**0,53**	**0,49**	**0,48**	**0,47**	**0,45**	**0,42**	**0,42**	**0,41**	**0,40**
6	X 6.13	0,57	0,52	0,52	0,50	0,51	0,51	0,48	0,46	0,46	0,44
	X 6.14	0,60	0,60	0,60	0,59	0,58	0,58	0,56	0,53	0,51	0,49
	X 6.15	0,60	0,54	0,52	0,51	0,48	0,47	0,44	0,43	0,43	0,43
	X 6.16	0,63	0,62	0,62	0,59	0,55	0,50	0,49	0,46	0,48	0,47
	Mittel-wert	**0,60**	**0,57**	**0,57**	**0,55**	**0,53**	**0,52**	**0,49**	**0,47**	**0,47**	**0,46**

Tab. 8: Ergebnisse der PGM- Prognose an Bohrkernen (Messkampagne X)

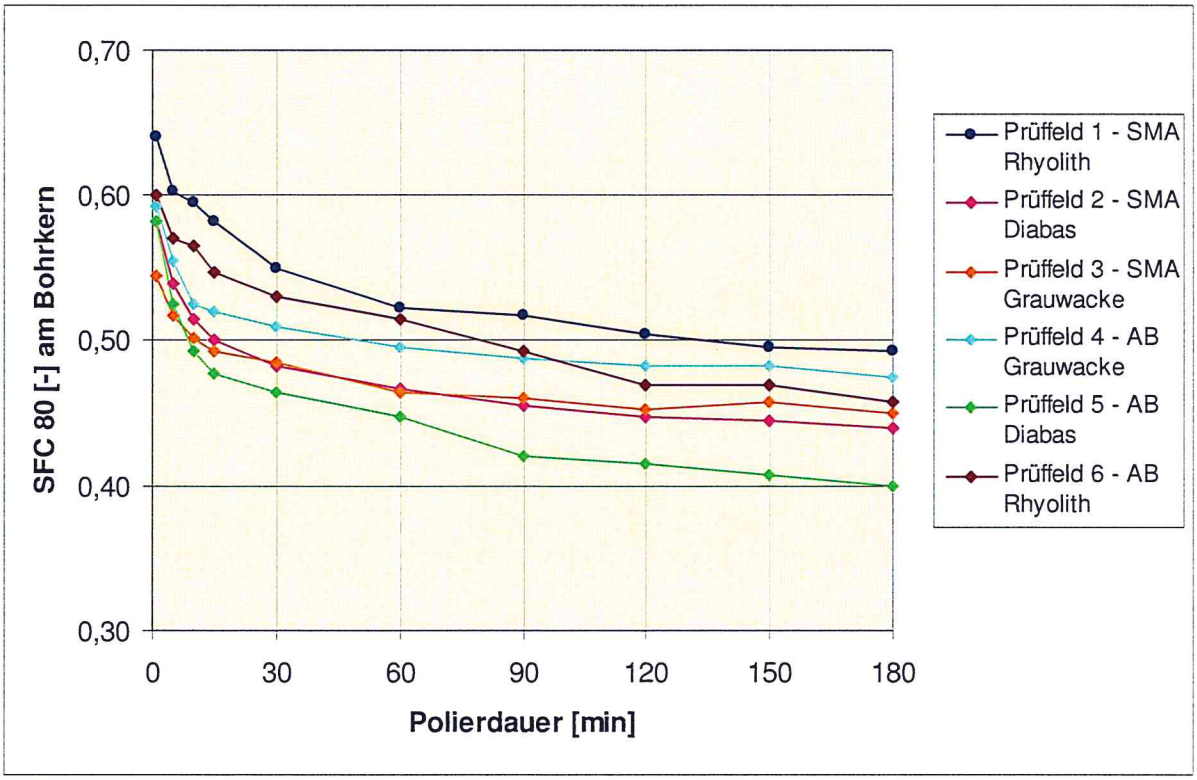


Abb. 25: Prognose mit dem Prüfverfahren PGM an Bohrkernen

In Auswertung der PGM- Prognose an den Bohrkernen kann keine eindeutige Reihung nach den Mischgutarten wie an den Laborprobekörpern festgestellt werden. Der Asphaltbeton liegt mit einem Mittelwert nach einer Polierdauer von 180 min $\bar{x}$ = 0,45 sogar etwas unterhalb des Mittelwertes von $\bar{x}$ = 0,46 des Splittmastixasphaltes nach einer Polierdauer von 180 min.

Wenn auch nicht so deutlich, wird die festgestellte Reihung der Gesteine (Mittelwert von beiden Mischgutarten) bestätigt:

1. Grauwacke mit $\bar{x}$ = 0,47
2. Rhyolith mit $\bar{x}$ = 0,47
3. Diabas mit $\bar{x}$ = 0,42.

Allgemein liegen die ermittelten Endgriffigkeiten (nach einer Polierdauer von 180 min) an den Bohrkernen ($\bar{x}$ = 0,455) über denen der Laborprobekörper ($\bar{x}$ = 0,415).

5.2.2.3 Korrelation zwischen der PGM- Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen

Nach der Durchführung der Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren PGM wurde die Korrelation zwischen den Laborprobekörpern und den Bohrkernen ermittelt. Das Bestimmtheitsmaß wurde durch eine lineare Regression bestimmt (Abb. 26).

Die Auswertung erfolgte ab der 15 Minute, um zufallsabhängige Messunregelmäßigkeiten im Anfangsbereich auszuschließen und die Anfangsgriffigkeiten nur bedingt von praktischem Interesse sind.

Zunächst wurde die Signifikanz der Korrelation zwischen den PWS- Messwerten am Laborprobekörper und am BK überprüft.

Die Grundlage für die statistische Betrachtung bildet wieder das Statistikprogramm Prediction Intervals der Johnson Graduate School of Management, Cornell University [51].

Dabei ergaben sich für diese Beziehung folgende Resultate:

- R^2 = 0,6979 (Bestimmtheitsmaß)
- p- Wert = 5,9647 E-10 % (bei a = 0 in y = ax + b) für eine vorhandene Signifikanz ist p < 5 % (gewähltes Niveau des Signifikanztestes)
- Schätzer y- Achse = 0,2334 (für b in y = ax + b als Wert, an dem die Gerade die y- Achse schneidet)
- 0,5576 = Schätzer für a in y = ax + b als Anstieg der Regressionsgeraden
- Konfidenzintervall = 5 %

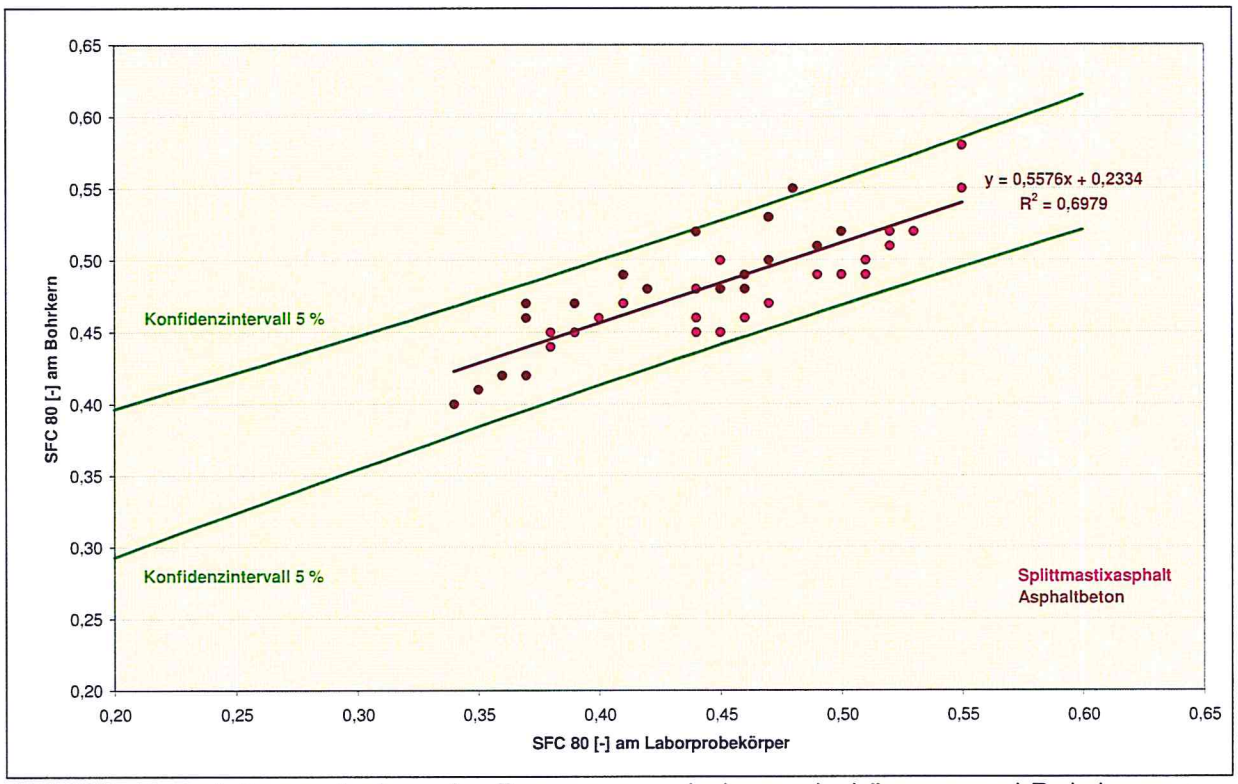


Abb. 26: Korrelation zwischen der Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen

5.3 Verkehrsbelastung

Die Verkehrsbelastung der Versuchsstrecke ist nach Untersuchungen des Straßenbauamtes Leipzig der Bauklasse II zuzuordnen.

5.4 Messkampagnen

Die Fertigstellung des Asphaltoberbaus auf der Versuchsstrecke erfolgte im Oktober 2007. Während des Einbaus der Deckschichtmischgüter wurden Mischgutproben für die Durchführung der Kontrollprüfungen sowie für die Herstellung der Laborprobekörper zur Griffigkeitsprognose mit PWS und PGM entnommen. Anschließend erfolgte die Bohrkernentnahme zur vergleichenden Untersuchung mit den vorgenannten Laborprüfverfahren (Messzeitpunkt X).

Die erste Messkampagne (A) mit den Feldprüfverfahren erfolgte ca. 6 Wochen nach Verkehrsfreigabe im Dezember 2007. Auch hier wurden Bohrkerne für die Griffigkeitsmessung mit PWS und PGM entnommen. Es folgten dann halbjährlich 4 weitere Messkampagnen (B, C, D und E) jeweils im April und Oktober, so dass in etwa vergleichbare Witterungsbedingungen vorherrschten.

Abweichend zum Prüfrhythmus erfolgte die Messkampagne C bereits im August 2008, da im eigentlichen Zeitfenster Oktober 2008 Baumaßnahmen im Anschlussbereich zur Versuchsstrecke durchgeführt wurden und dadurch Sperrungen auch im Bereich der Versuchsstrecke notwendig wurden.

Die einzelnen Messkampagnen sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Messkampagne		Verkehrs-belastung	PWS	PGM	SKM	SRT, AM, SF
Einbau X	10/2007 (Prognose)	I	4 WSV-Platten und 4 Bohrkerne je Prüffeld	4 WSV-Platten und 4 Bohrkerne je Prüffeld	-	-
A	12/2007	I	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Messfahrten je Prüffeld	2 Messlinien je Prüffeld
B	04/2008	II	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Messfahrten je Prüffeld	2 Messlinien je Prüffeld
C	08/2008*)	II	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Messfahrten je Prüffeld	2 Messlinien je Prüffeld
D	04/2009	II	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Messfahrten je Prüffeld	2 Messlinien je Prüffeld
E	10/2009	II	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Bohrkerne je Prüffeld	2 Messfahrten je Prüffeld	2 Messlinien je Prüffeld

*) Vorgezogene Messkampagne aufgrund von Baumaßnahmen und daraus resultierender Sperrungen im Anschlussbereich zur Untersuchungsstrecke

Tabelle 9: Prüfplan der Griffigkeitsmessungen

5.4.1 Übersicht der Messergebnisse der Feldprüfverfahren

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Feldprüfverfahren SKM bei einer Prüfgeschwindigkeit von 60 km/h, SRT, AM, SF sowie die Ergebnisse der jeweiligen PWS und PGM- Messungen an Bohrkernen aus den Messkampagnen A bis E dargestellt.

	Prüfmethode		SKM (20m)	SRT	AM	SF	PWS	PGM (SFC 80)
	Einheit		-	-	s	mm	-	-
Prüffeld 1 SMA 0/11S mit Rhyolith	Mess-kampagne	Aug 07	-	-	-	-	0,579	0,74
		Okt 07	0,902	65	2	1,64	0,458	0,74
		Apr 08	0,825	59	2	1,45	0,436	0,63
		Aug 08	0,686	59	3	1,13	0,440	0,65
		Apr 09	0,644	56	3	1,05	0,468	0,63
		Okt 09	0,646	58	4	1,08	0,451	0,61
Prüffeld 2 SMA 0/11S mit Diabas	Mess-kampagne	Aug 07	-	-	-	-	0,479	0,72
		Okt 07	0,876	64	2	1,52	0,419	0,62
		Apr 08	0,789	57	2	1,44	0,400	0,62
		Aug 08	0,649	58	3	1,09	0,410	0,60
		Apr 09	0,600	52	4	1,00	0,439	0,66
		Okt 09	0,582	59	4	1,14	0,406	0,59
Prüffeld 3 SMA 0/11S mit Grauwacke	Mess-kampagne	Aug 07	-	-	-	-	0,337	0,64
		Okt 07	0,746	56	4	1,14	0,391	0,59
		Apr 08	0,748	57	4	1,06	0,411	0,63
		Aug 08	0,660	59	6	0,89	0,451	0,66
		Apr 09	0,625	55	5	0,91	0,503	0,70
		Okt 09	0,608	62	5	0,98	0,468	0,68

Tab. 10: Messergebnisse der Feldprüfverfahren

	Prüfmethode		SKM (20m)	SRT	AM	SF	PWS	PGM (SFC 80)
	Einheit		-	-	s	mm	-	-
Prüffeld 4 AB 0/11S mit Grauwacke	Mess-kampagne	Aug 07	-	-	-	-	0,502	0,69
		Okt 07	0,940	72	2	1,12	0,568	0,71
		Apr 08	0,826	61	3	1,14	0,560	0,72
		Aug 08	0,737	62	5	1,08	0,596	0,72
		Apr 09	0,689	62	4	1,00	0,623	0,75
		Okt 09	0,683	65	5	1,03	0,612	0,71
Prüffeld 5 AB 0/11S mit Diabas	Mess-kampagne	Aug 07	-	-	-	-	0,477	0,72
		Okt 07	0,913	71	2	1,26	0,478	0,68
		Apr 08	0,777	58	3	1,18	0,477	0,67
		Aug 08	0,619	61	5	1,09	0,496	0,69
		Apr 09	0,581	56	6	1,02	0,532	0,70
		Okt 09	0,590	61	6	1,04	0,512	0,69
Prüffeld 6 AB 0/11S mit Rhyolith	Mess-kampagne	Aug 07	-	-	-	-	0,588	0,75
		Okt 07	0,966	73	2	1,46	0,580	0,72
		Apr 08	0,890	61	2	1,29	0,560	0,69
		Aug 08	0,670	62	4	1,12	0,544	0,70
		Apr 09	0,648	58	4	1,07	0,562	0,72
		Okt 09	0,649	63	3	1,12	0,552	0,68

Tab. 10: Messergebnisse der Feldprüfverfahren

5.4.2 Darstellung der Messergebnisse der Feldprüfverfahren

In den folgenden Abschnitten sind die Ergebnisse der Feldprüfverfahren SKM, SRT, AM, SF sowie die Ergebnisse von PWS und PGM an Bohrkernen aus den Messkampagnen A bis E dargestellt. Auch bei den Feldprüfverfahren werden nur die praxisverwertbaren Griffigkeitsmesswerte berücksichtigt, d. h. die Messergebnisse der Messkampagnen A und B werden nicht weiter zur Auswertung herangezogen. Diese sind in den grafischen Darstellungen (Abb. 27 bis 31) farblich hinterlegt.

5.4.2.1 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

Abbildung 27 zeigt die Entwicklung des Seitenkraftbeiwertes µ (bei 60 km/h) in Abhängigkeit von der Zeit. Eine Unterscheidung nach Mischgutart ist nicht möglich. Die Reihung der Gesteinsarten zeigt ein etwa gleiches Griffigkeitsniveau der Gesteinsarten Rhyolith und Grauwacke. Der eingesetzte Diabas weist die geringsten Griffigkeitswerte auf.

Eine abschließende Wertung ist gegenwärtig nicht sinnvoll, da sich die Kurvenverläufe noch nicht im asymptotischen Bereich befinden.

Die Beendigung des starken Abfalls der Griffigkeit ab Messkampagne C weist darauf hin, dass nunmehr das Abstreumaterial abgefahren wurde.

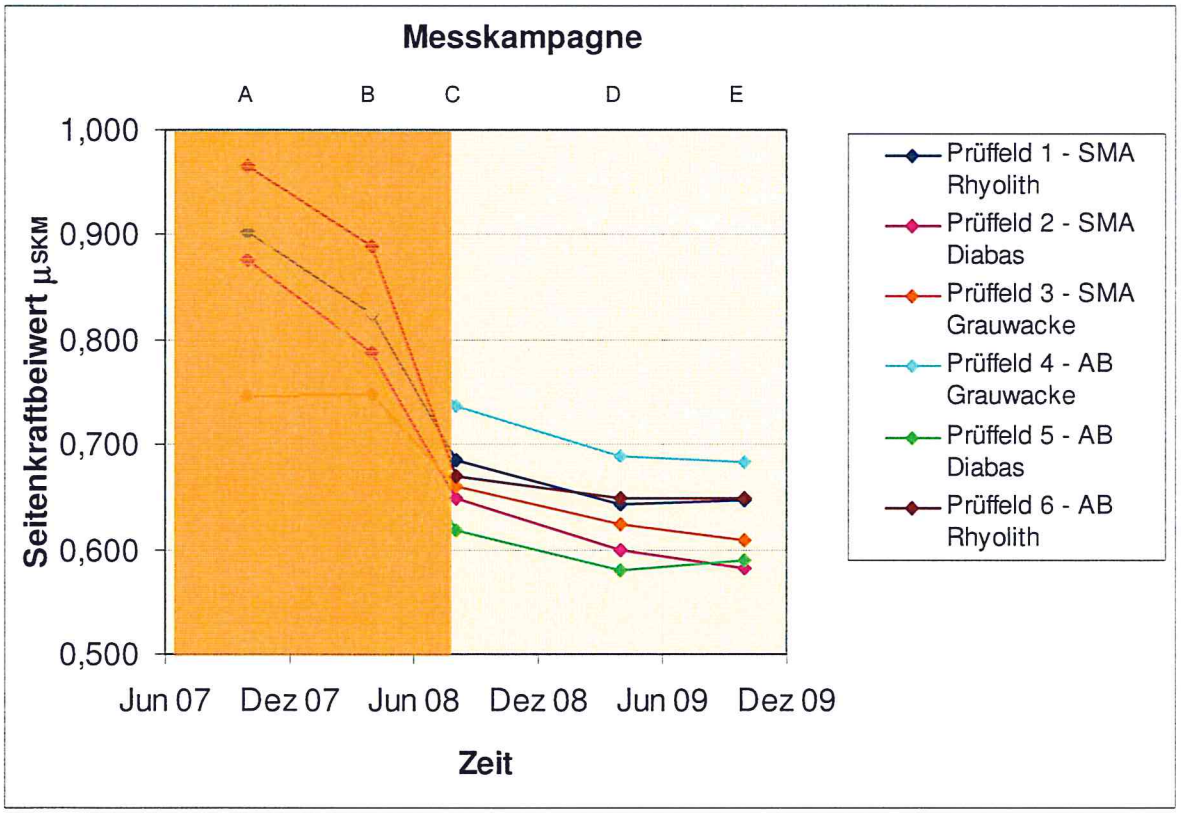


Abb. 27: Seitenkraftbeiwert μ_{SKM} in Abhängigkeit von der Zeit

5.4.2.2 SRT- Pendel (SRT)

Durch die Prüfung der Griffigkeit mit dem SRT- Pendel wird die Mikrorauheit der Oberfläche angesprochen. Abbildung 28 zeigt, dass der Asphaltbeton tendenziell eine höhere Griffigkeit als der Splittmastixasphalt aufweist. Eine Reihung der eingesetzten Gesteinsarten ist ebenfalls nur tendenziell möglich. Mit der verwendeten Grauwacke wird eine höhere Griffigkeit erreicht als mit Rhyolith und Diabas.

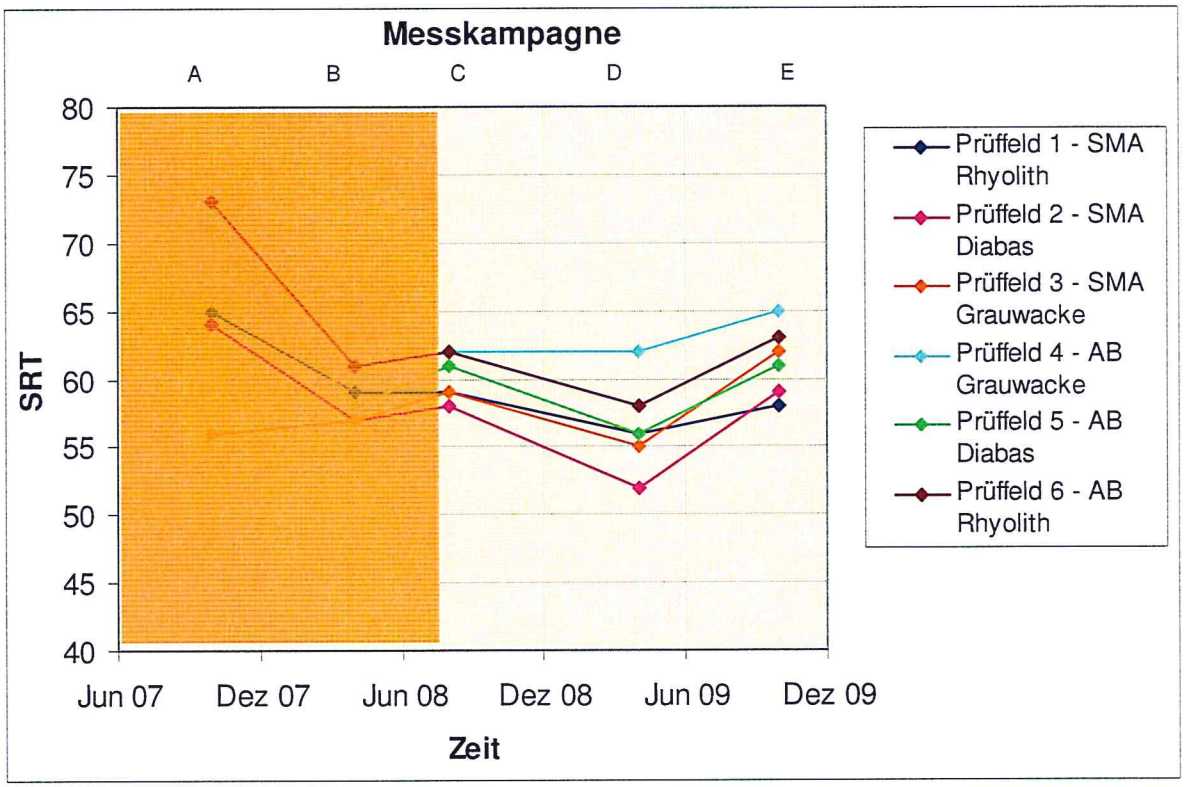


Abb. 28: SRT- Wert in Abhängigkeit von der Zeit

5.4.2.3 Ausflussmesser nach Moore (AM)

Abbildung 29 zeigt die Abhängigkeit der Ausflussdauer von der Zeit. Die Kurvenverläufe machen deutlich, dass dieses Messverfahren zur genauen Einschätzung der Oberflächeneigenschaften nicht geeignet ist. Der Ausflussmesser dient lediglich der Unterscheidung von Oberflächen ohne Grobheit von solchen mit geringer Grobheit.

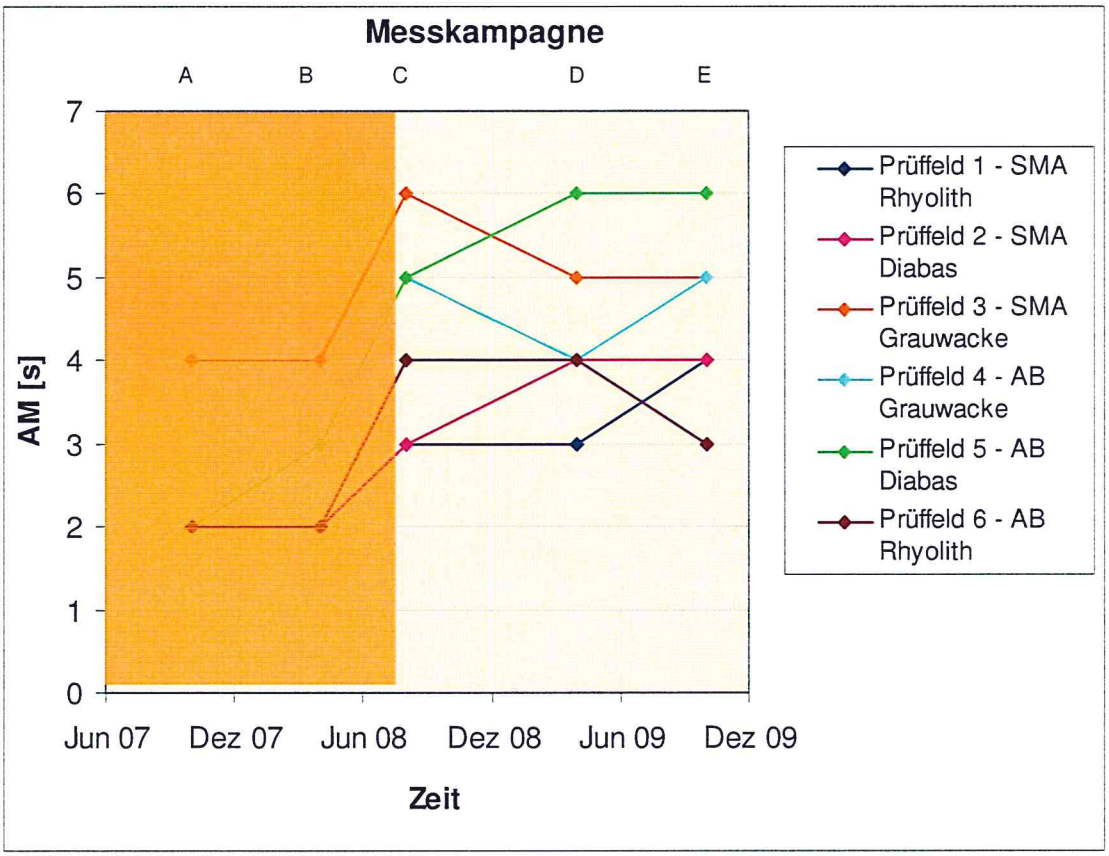


Abb. 29: Ausflussdauer in Abhängigkeit von der Zeit

5.4.2.4 Sandfleckmethode (SF)

Bei der Prüfung der Griffigkeit durch die Sandfleckmethode wird die Makrorauheit der Oberfläche angesprochen. Abbildung 30 zeigt, dass hier der Asphaltbeton tendenziell geringere Texturtiefen als der Splittmastixasphalt aufweist. Dabei haben die eingesetzten Gesteinsarten für die Makrorauheit eine untergeordnete Bedeutung. Eine Reihung der Gesteine ist deshalb nicht zu erwarten.

Der starke Abfall der Makrorauheit im ersten Jahr ist auf das Abfahren des Abstreumaterials zurückzuführen.

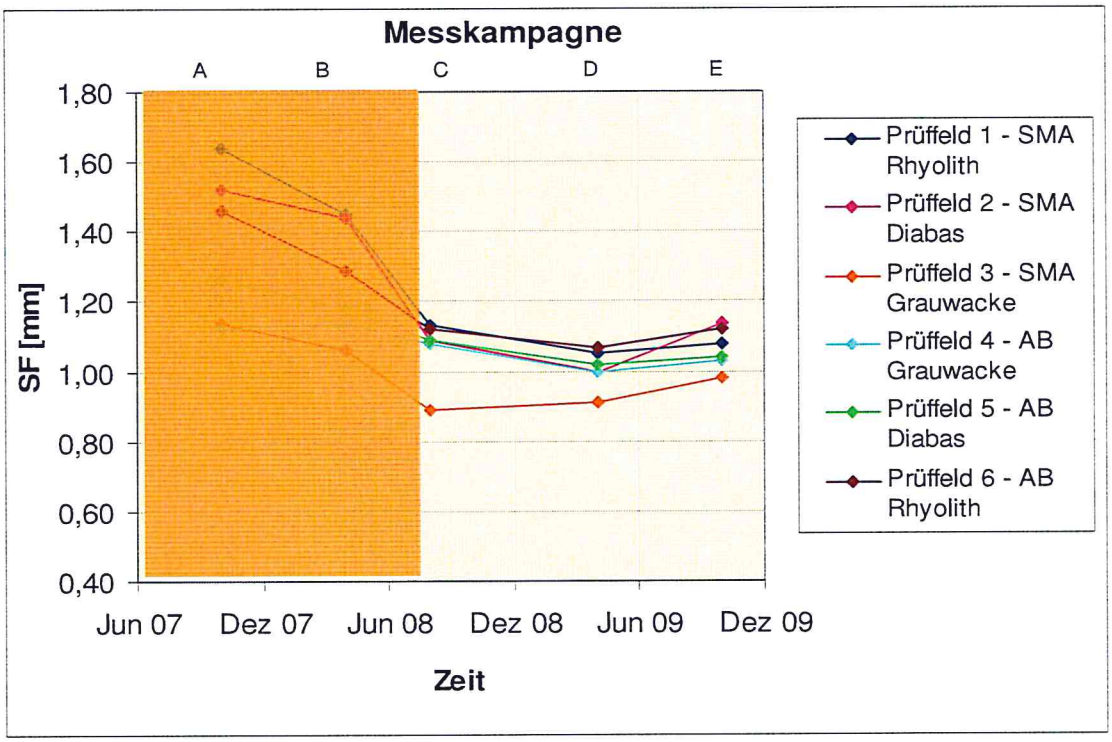


Abb. 30: mittlere Oberflächentexturtiefe (MTD) in Abhängigkeit von der Zeit

5.5 Laborprüfverfahren an Bohrkernen aus den Messkampagnen

5.5.1 Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS)

Nach der Durchführung des Laborprüfverfahren PWS an den Bohrkernen aus den Messkampagnen bestätigt sich die Reihung der Mischgutarten, die sich bereits nach den Prognoseverfahren gezeigt hat. Der Asphaltbeton weist erwartungsgemäß tendenziell höhere Griffigkeiten (nach der 5. Messkampagne $\bar{x}$ = 0,559) aufweist als der Splittmastixasphalt (nach der 5. Messkampagne $\bar{x}$ = 0,442).

Im Vergleich der Gesteinsarten (Mittelwert der beiden Mischgutarten) stellt sich folgende Reihung dar:

1. Grauwacke mit $\bar{x}$ = 0,502
2. Rhyolith mit $\bar{x}$ = 0,502
3. Diabas mit $\bar{x}$ = 0,459.

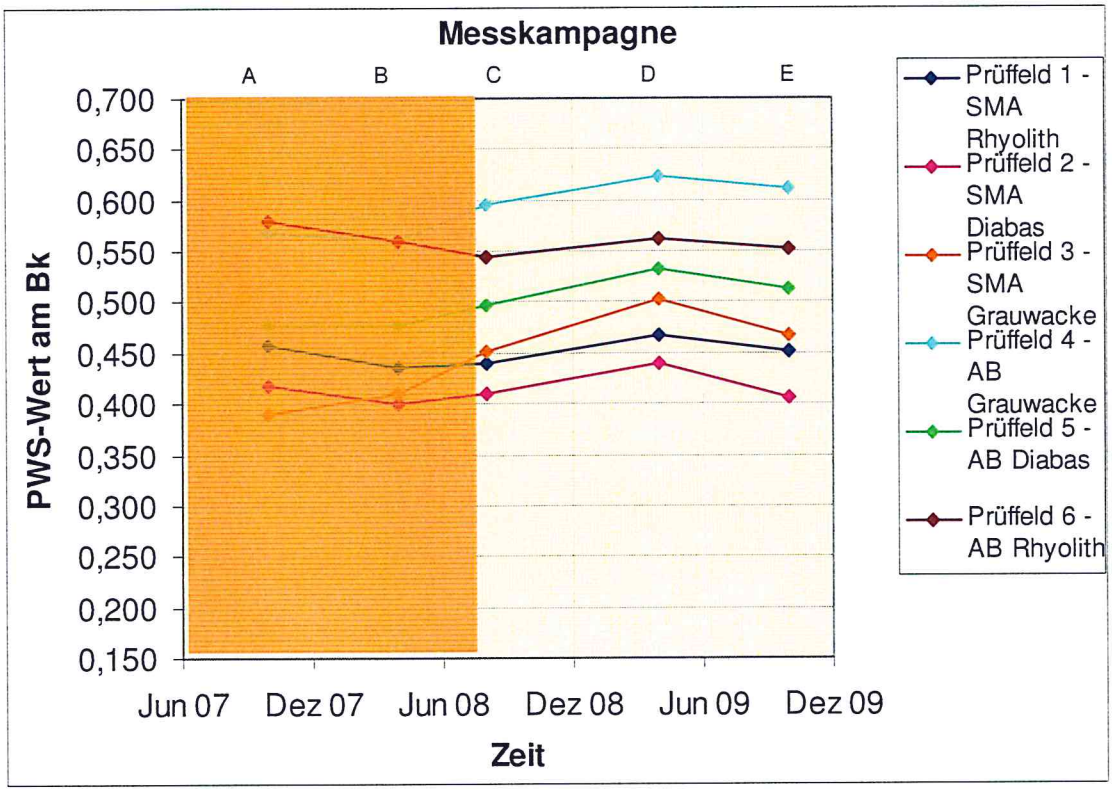


Abb. 31: PWS- Werte am Bohrkern in Abhängigkeit von der Zeit

5.5.2 Polier- und Griffigkeitsmessgerät (PGM)

Nach der Durchführung des Laborprüfverfahren PGM an den Bohrkernen aus den Messkampagnen bestätigt sich die Reihung der Mischgutarten, die sich bereits nach den Prognoseverfahren gezeigt hat. Der Asphaltbeton weist wiederum erwartungsgemäß tendenziell höhere Griffigkeiten (nach der 5. Messkampagne $\bar{x}$ = 0,69) aufweist als der Splittmastixasphalt (nach der 5. Messkampagne $\bar{x}$ = 0,63).

Die Reihung der Gesteinsarten (Mittelwert der beiden Mischgutarten) bestätigt sich:

1. Grauwacke mit $\bar{x}$ = 0,70
2. Rhyolith mit $\bar{x}$ = 0,65
3. Diabas mit $\bar{x}$ = 0,64.

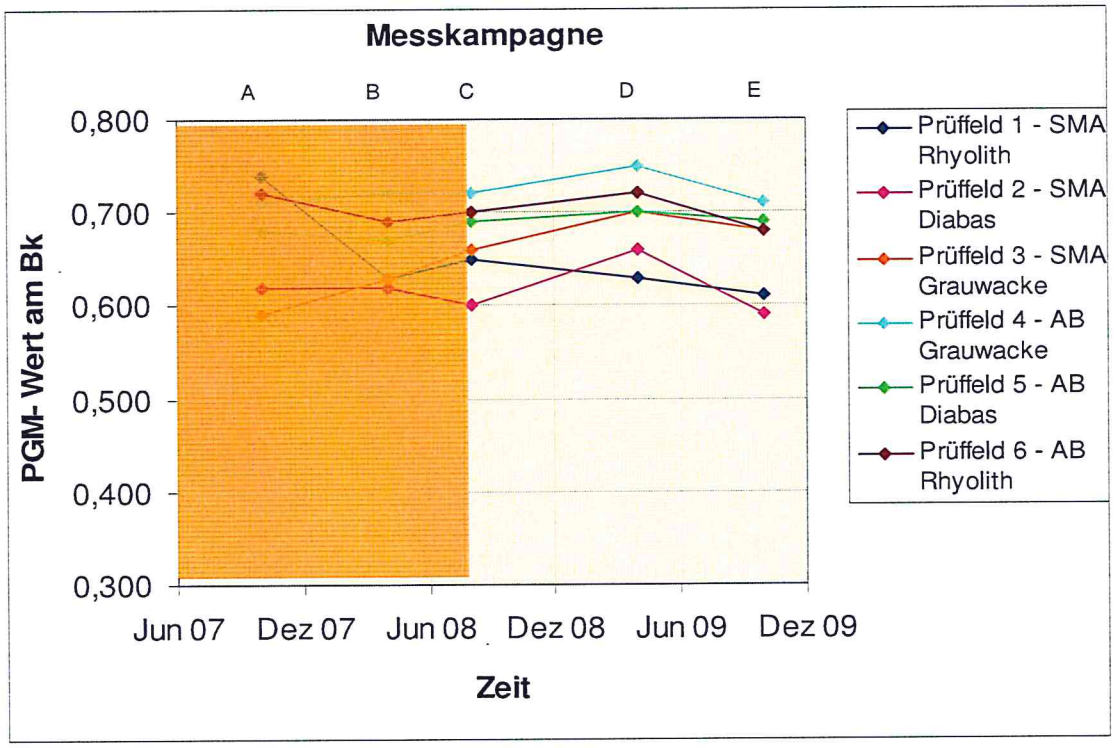


Abb. 32: PGM- Werte am Bohrkern in Abhängigkeit von der Zeit

5.6 Zuordnung der Werte aus den Messkampagnen zu den Prognoseverfahren an Laborprobekörpern

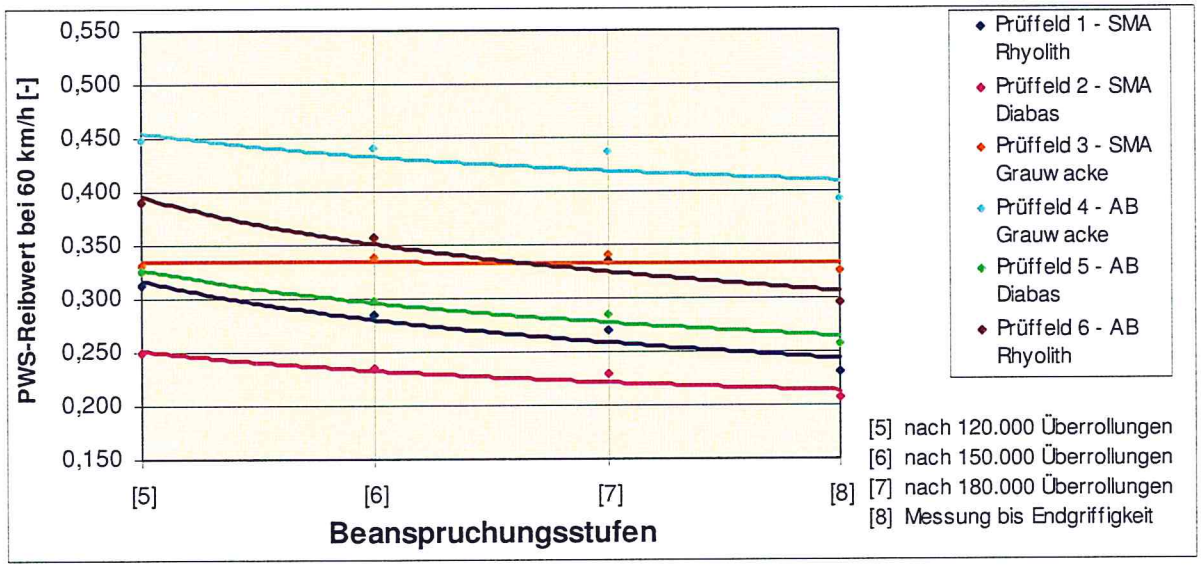


Abb. 33: PWS- Prognose an Laborprobekörpern

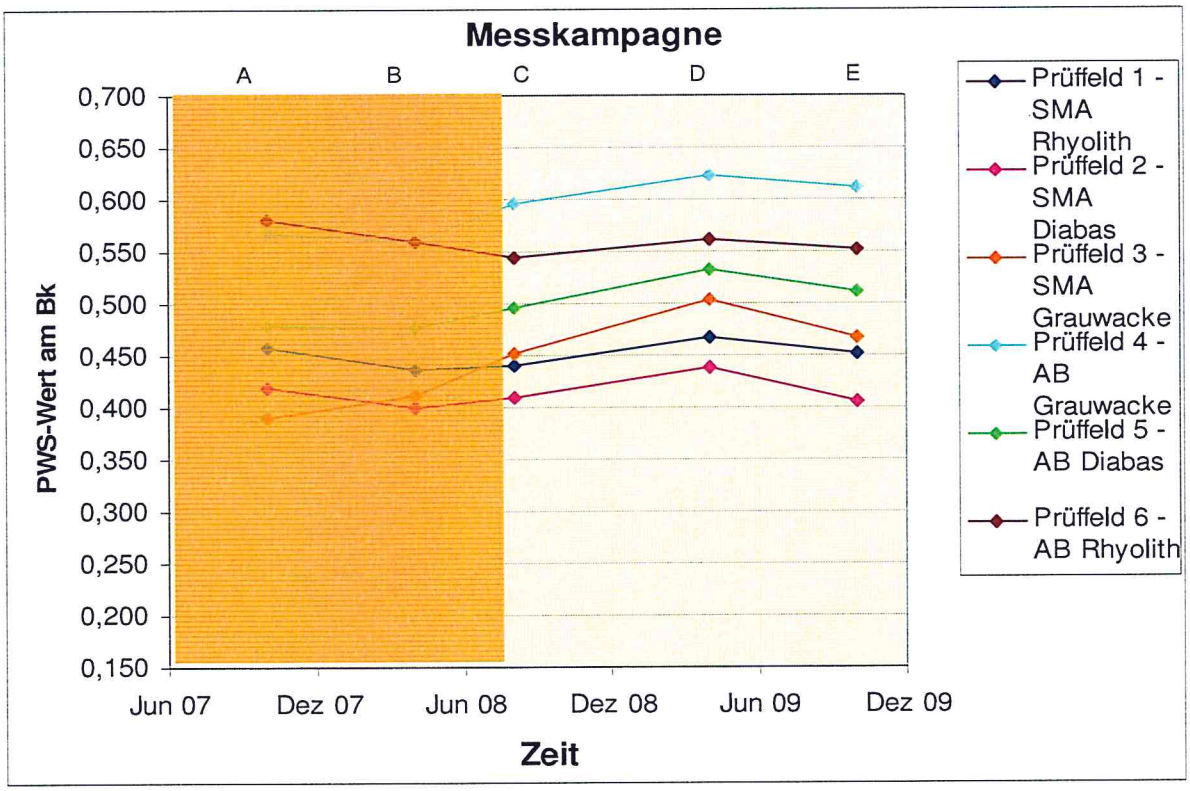


Abb. 34: PWS- Reibwert an Bohrkernen der Messkampagnen A bis E

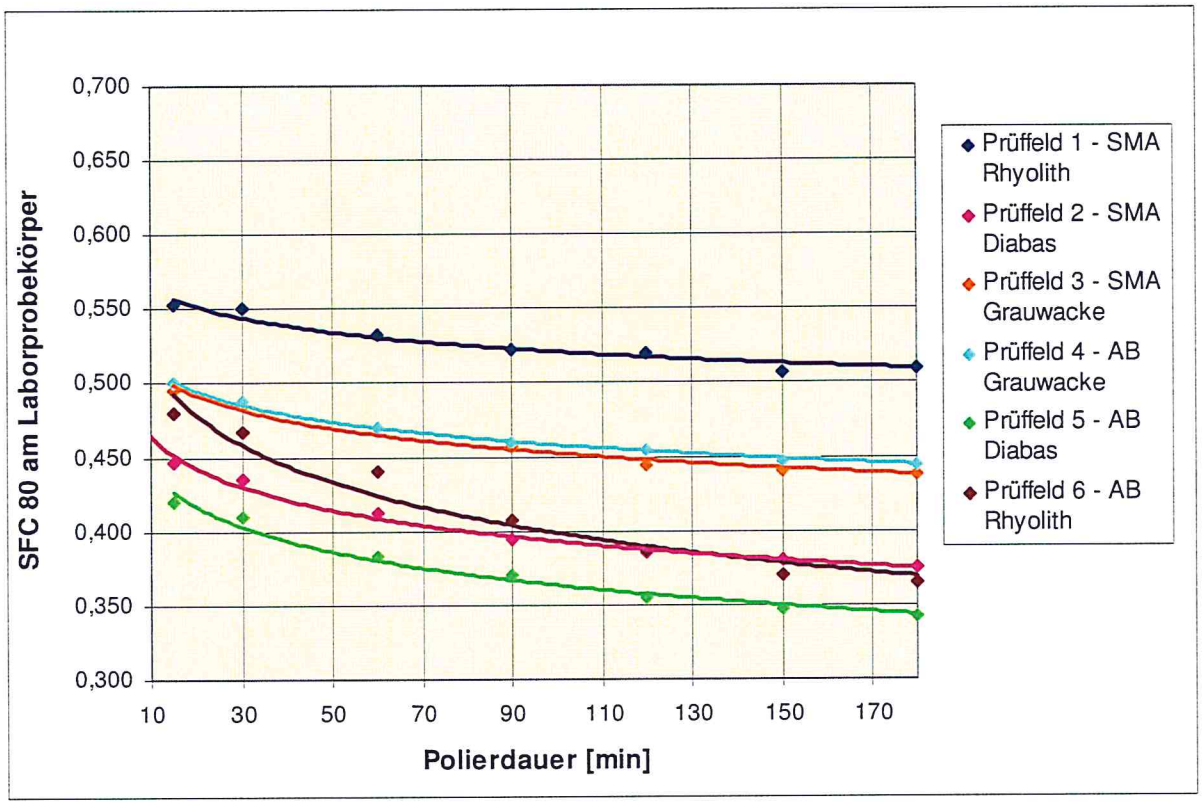


Abb. 35: PGM- Prognose an Laborprobekörpern

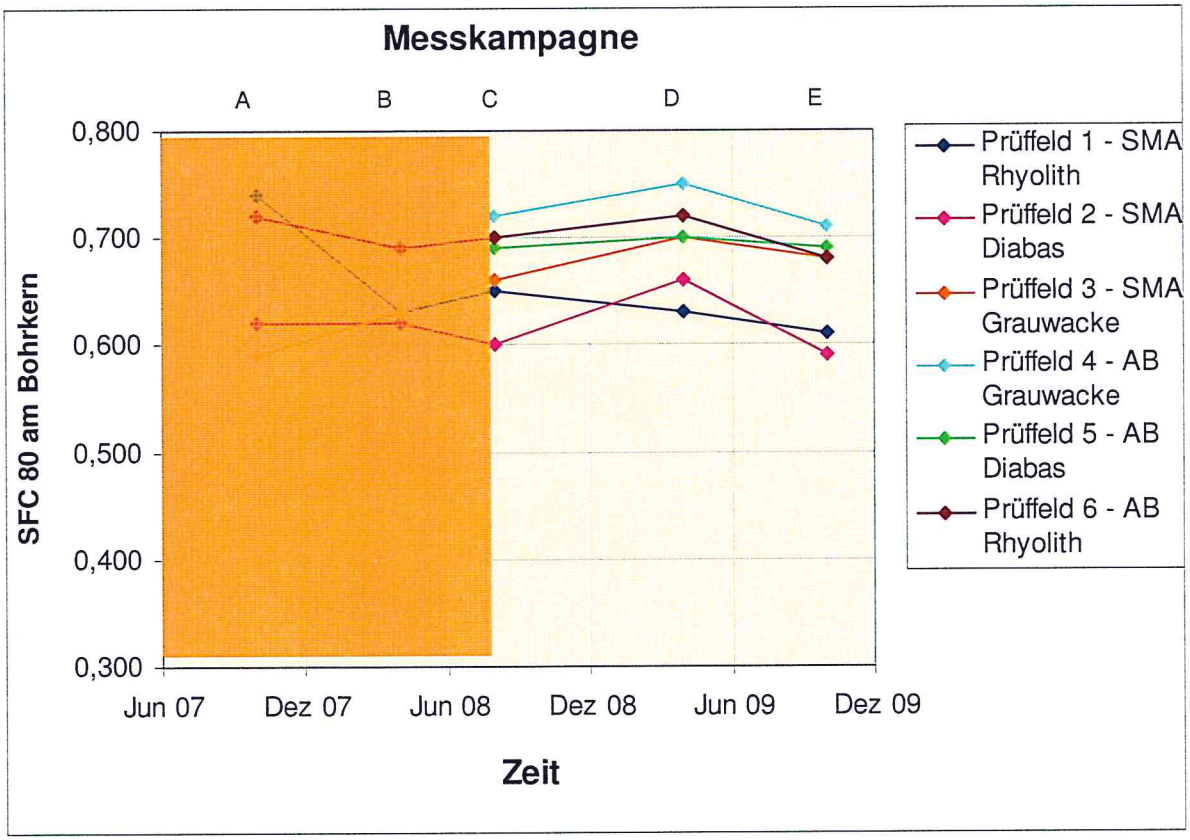


Abb. 36: PGM- Werte an Bohrkernen aus den Messkampagnen A bis E

5.7 Prognostizierung der Griffigkeit des eingebauten Asphaltmischgutes an Laborprobekörpern

Die Ergebnisse des SKM- Verfahren der Messkampagnen A bis E (siehe Punkt 5.4.2.1) zeigen eine erste Prognose der Griffigkeitsentwicklung der eingesetzten Mischgutsorten mit den 3 ausgewählten Gesteinsarten. Die Kurvenverläufe nähern sich einer Asymptote auf einem Griffigkeitsniveau von minimal μ_{SKM} = 0,58 an, so dass zu erwarten ist, dass der Grenzwert für μ_{SKM} = 0,45 zum Ende der Verjährungsfrist für Mängelansprüche nicht unterschritten wird.

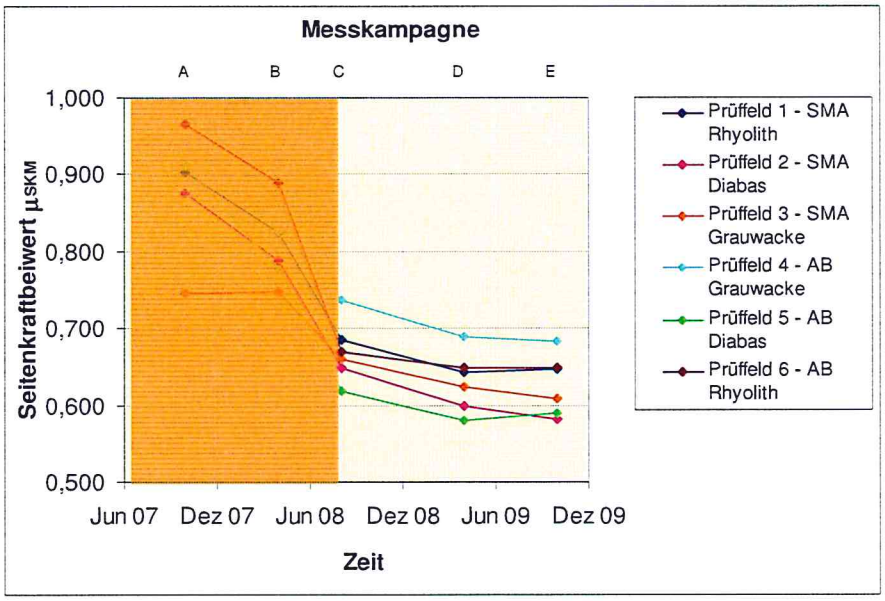
Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, über die Bestimmung der Griffigkeit an Laborprobekörpern auf die durch das SKM- Verfahren bestimmte Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche zu schließen.
Dies kann nur über 2 Zwischenschritte erfolgen. Der erste Zwischenschritt beinhaltet die Ermittlung einer Korrelation zwischen den Griffigkeitsprognosen an den Laborprobekörpern und denen an Bohrkernen, die vor Verkehrsfreigabe zum Zeitpunkt X entnommen werden. Diese Griffigkeitsmessungen wurden im Labor mit den Prognoseverfahren PWS (siehe Punkt 5.2.1) und PGM durchgeführt (siehe Punkt 5.2.2).
Dabei wurden die Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Griffigkeitsprognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen zum Zeitpunkt X mit den Prüfverfahren PWS und PGM ermittelt.
Der zweite Zwischenschritt umfasste die Messung der vorhandenen Griffigkeit an Bohrkernen, die zu verschiedenen Zeitpunkten (Messkampagne A bis E) entnommen wurden.

Die Ergebnisse mit dem Prüfverfahren PWS zeigen ein etwa gleich bleibendes bis tendenziell leicht ansteigendes Griffigkeitsniveau in Abhängigkeit von der Zeit (siehe Tabelle 10), das im Vergleich zur „Endgriffigkeit“ (Zustand [8]) im Prognoseverfahren, (Tabelle 6) aber deutlich höher ist.
Mit dem Prüfverfahren PGM ergibt sich ein ebenfalls etwa gleich bleibender Kurvenverlauf in Abhängigkeit von der Zeit (siehe Tabelle 10), das Niveau ist im Vergleich zur „Endgriffigkeit“ (nach 180 Minuten) im Prognoseverfahren (Tabelle 8) ebenfalls deutlich höher ist.

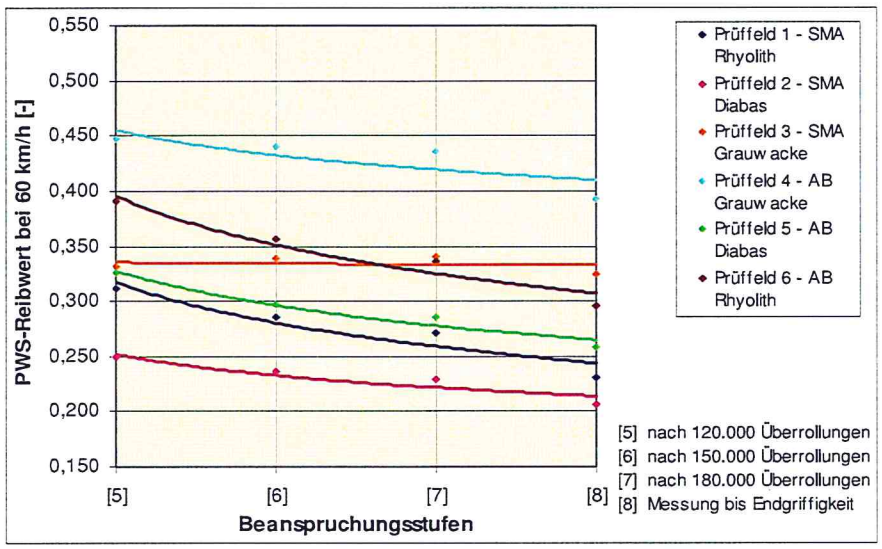
Die Abbildung 37 zeigt den Versuch der Zuordnung von Prognoseergebnissen der Laborprüfverfahren PWS an den Laborprobekörpern (37 b) und PGM (37 c) zu den Ergebnissen aus den Messkampagnen A bis E mit dem SKM- Verfahren.
Die Auswertung des Prognoseverfahren PWS erfolgt ab der Beanspruchungsstufe [5] und die vom Prognoseverfahren PGM ab 15 Minuten, da für die praktische Nutzung der Ergebnisse die „Endgriffigkeit“ von besonderem Interesse ist.

Eine eindeutige Reihung der Griffigkeit der Mischgutsorten Splittmastixasphalt und Asphaltbeton ist nicht möglich.

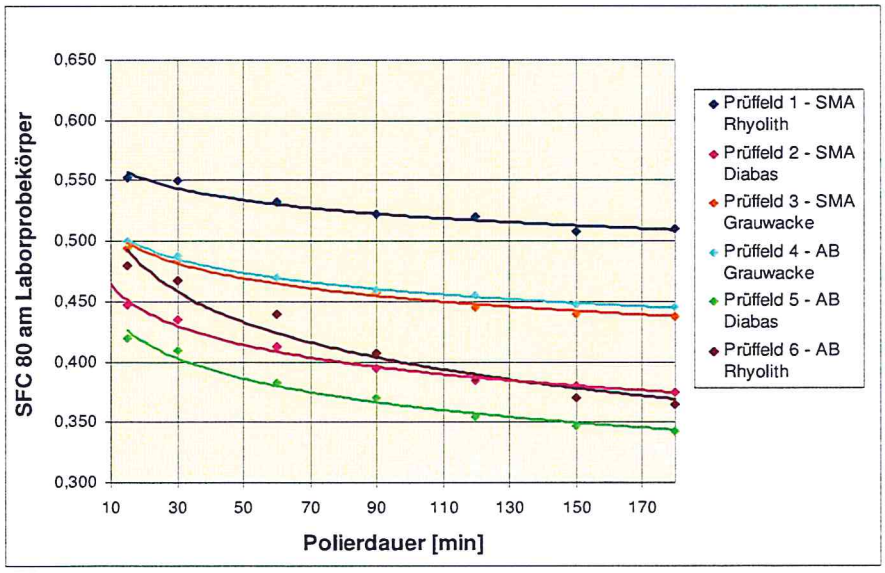
Die eingesetzten Gesteinsarten zeigen unabhängig von der Art des Prüfverfahrens eine im Mittel gleiche Reihung: Grauwacke – Rhyolith – Diabas. Eine Verschiebung dieser Reihung kann sich im Verlauf der weiteren Messkampagnen im Rahmen der Anschlussforschung jedoch noch ergeben, da die Kurven der SKM- Messungen noch keinen endgültigen asymptotischen Verlauf zeigen.



a



b



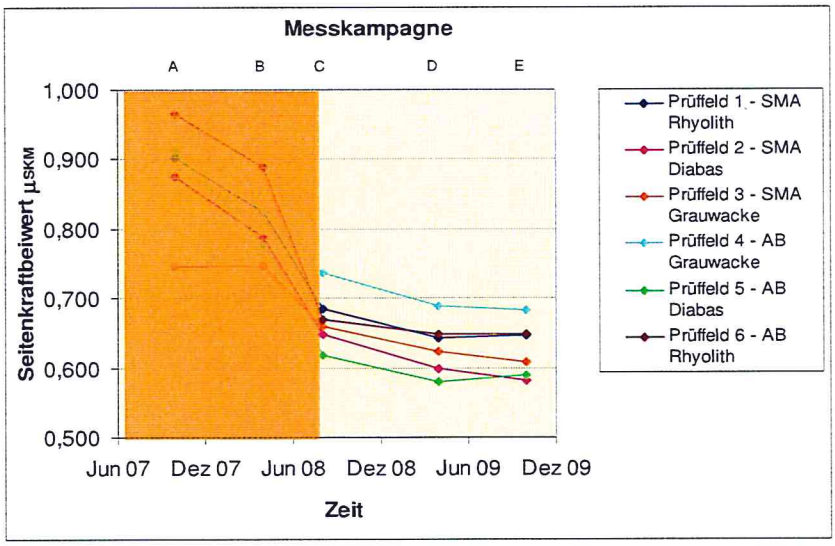
c

Abb. 37: Versuch der Zuordnung der PWS bzw. PGM- Prognosewerte zur SKM- Messung

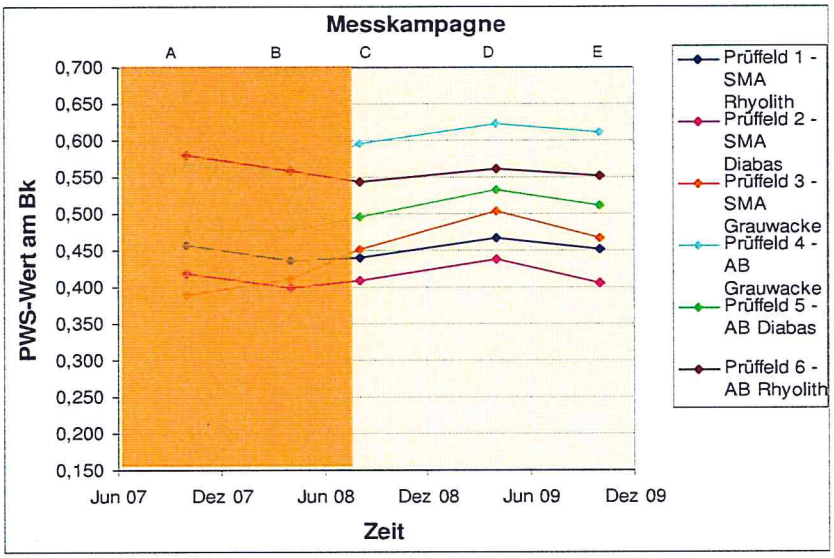
Die Abbildung 38 zeigt den Versuch der Zuordnung der Ergebnisse der PWS – Messung (38 b) und PGM- Messungen (38 c) an den Bohrkernen aus den Messkampagnen zu den Ergebnissen aus den Messkampagnen A bis E mit dem SKM- Verfahren.

Hier ergibt sich für die Untersuchungen mit den Laborprüfverfahren PWS und PGM eine Reihung der Mischgutsorten Asphaltbeton – Splittmastixasphalt bezüglich der Griffigkeit.

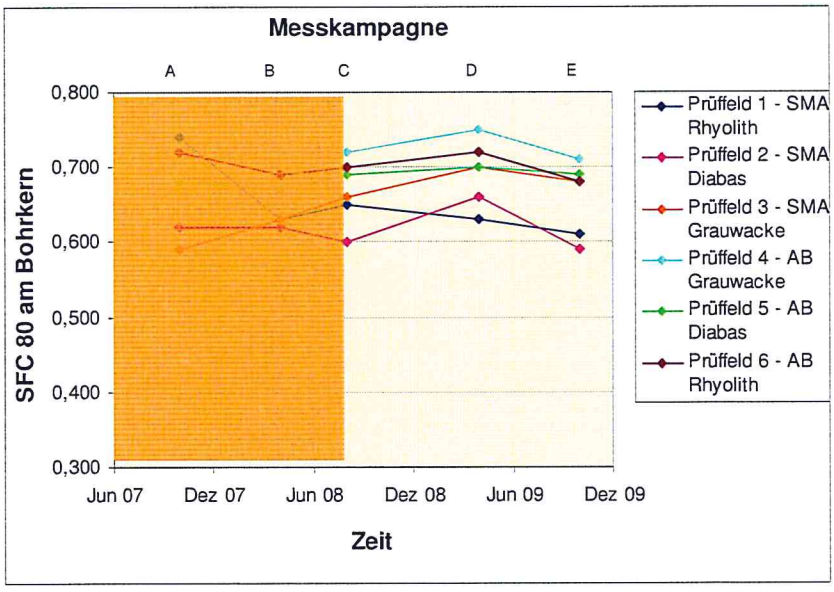
Die eingesetzten Gesteinsarten zeigen auch hier unabhängig von der Art des Prüfverfahrens eine im Mittel gleiche Griffigkeitsreihung: Grauwacke – Rhyolith – Diabas.



a



b



c

Abb. 38: Versuch der Zuordnung der PWS bzw. PGM- Messwerte zur SKM-Messung

Vor der Darstellung des Zusammenhangs zwischen PWS am Bohrkern und den SKM- Messungen (Abb. 39) wurde auf der Grundlage des Statistikprogramm Prediction Intervals [51] ein Signifikanztest durchgeführt. Diese Überprüfung ergab folgende Resultate:

- R^2 = 0,2442 (Bestimmtheitsmaß)
- p- Wert = 0,0371 (bei a = 0 in y = ax + b) für eine vorhandene Signifikanz ist p < 5 % (gewähltes Niveau des Signifikanztestes)
- Schätzer y- Achse = 0,4880 (für b in y = ax + b als Wert, an dem die Gerade die y- Achse schneidet)
- 0,3069 = Schätzer für a in y = ax + b als Anstieg der Regressionsgeraden
- Konfidenzintervall = 5 %

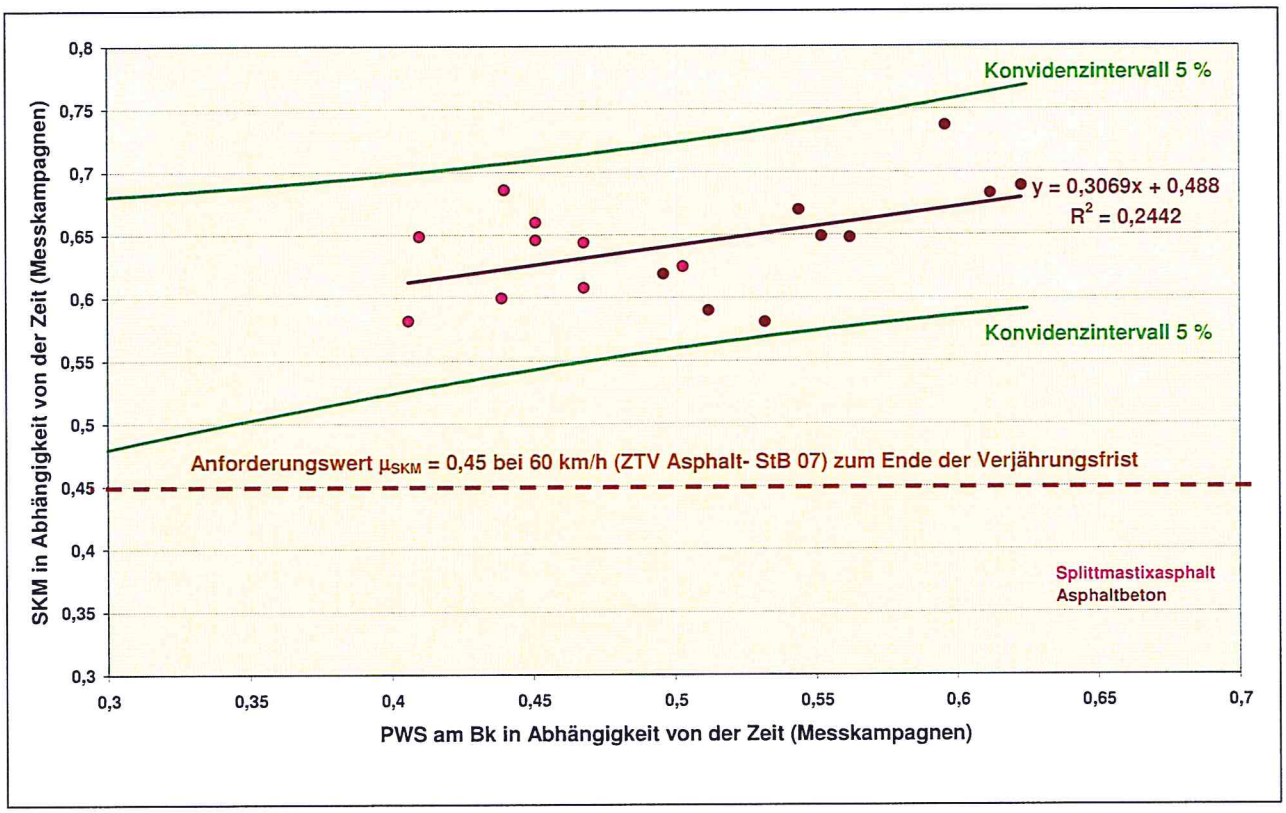


Abb. 39: Regressionsgerade zwischen PWS am Bohrkern und SKM in Abhängigkeit von der Zeit

Der Zusammenhang zwischen PGM am Bohrkern und den SKM- Messungen wurde durch einen Signifikanztest auf der Grundlage des Statistikprogramm Prediction Intervals [51] geprüft.
Dabei ergaben sich folgende Resultate:

- R^2 = 0,1101 (Bestimmtheitsmaß)
- p- Wert = 17,88 % (bei a = 0 in y = ax + b) für eine vorhandene Signifikanz ist p < 5 % (gewähltes Niveau des Signifikanztestes)
- Schätzer y- Achse = 0,4311 (für b in y = ax + b als Wert, an dem die Gerade die y- Achse schneidet)
- 0,3135 = Schätzer für a in y = ax + b als Anstieg der Regressionsgeraden
- Konfidenzintervall = 5 %

Aufgrund des p- Wertes = 17,88 % kann keine Ziel führende Korrelation zwischen den PGM- Werten und den SKM- Werten in Abhängigkeit von der Zeit ermittelt werden.

In der Tabelle 11 sind die ermittelten Bestimmtheitsmaße für die Korrelationen zwischen den Labor- und Feldprüfverfahren zusammengefasst. Dabei zeigt sich, dass die mathematische Beschreibung dieser Korrelationen momentan nicht Ziel führend ist.
Es werden durch die Prüfverfahren nicht die gleichen Eigenschaften der Oberfläche angesprochen und auch die Randbedingungen der Versuchsdurchführung unterscheiden sich.
Die Feldprüfverfahren werden im Rahmen der Weiterführung des Forschungsprojektes in dem bisherigen Umfang weiterhin betrachtet, da nach Ablauf der Anschlussforschung eine deutlich größere Datenmenge zur Verfügung steht.

Zum jetzigen Zeitpunkt können zur Auswertung einer möglichen Korrelation (z. B. zwischen PWS und SRT in Abhängigkeit von der Zeit) lediglich 18 Wertepaare (3 Messkampagnen x 6 Prüffelder) herangezogen werden. Nach Abschluss der Weiterführung des Forschungsvorhabens liegen weitere 36 Wertepaare vor, so dass eine statistisch sichere Auswertung erfolgen kann.

Prüfverfahren	SKM	SRT	AM	SF
PWS	0,2442	0,3042	0,0514	0,0026
PGM	0,1101	0,1356	0,1664	0,0861

Tab. 11: Korrelationen zwischen den Labor- und Feldprüfverfahren (Bestimmtheitsmaß)

5.8 Beispiel Vorschlag zur Abschätzung von SKM- Werten aus dem Prognoseverfahren PWS

Im folgenden Beispiel wird ein möglicher Verfahrensweg zur Abschätzung des SKM-Wertes anhand der PWS- Prognosewerte an Laborprobekörpern im Rahmen der Erstprüfung beschrieben.

Bei Verwendung von PGM- Prognosewerten ist bei einem zulässigen korrelativen Zusammenhang analog zu verfahren.

Folgende Schritte sind durchzuführen:

Schritt I. Ermittelten PWS- Wert am Laborprobekörper im Bild 40 eintragen, z.B. 0,35 – rote Linie

Schritt II. Konfidenzintervall 5 % ➔ ergibt für PWS am BK einen Bereich von 0,324 – 0,421 (Bild 40) - blaue Linien

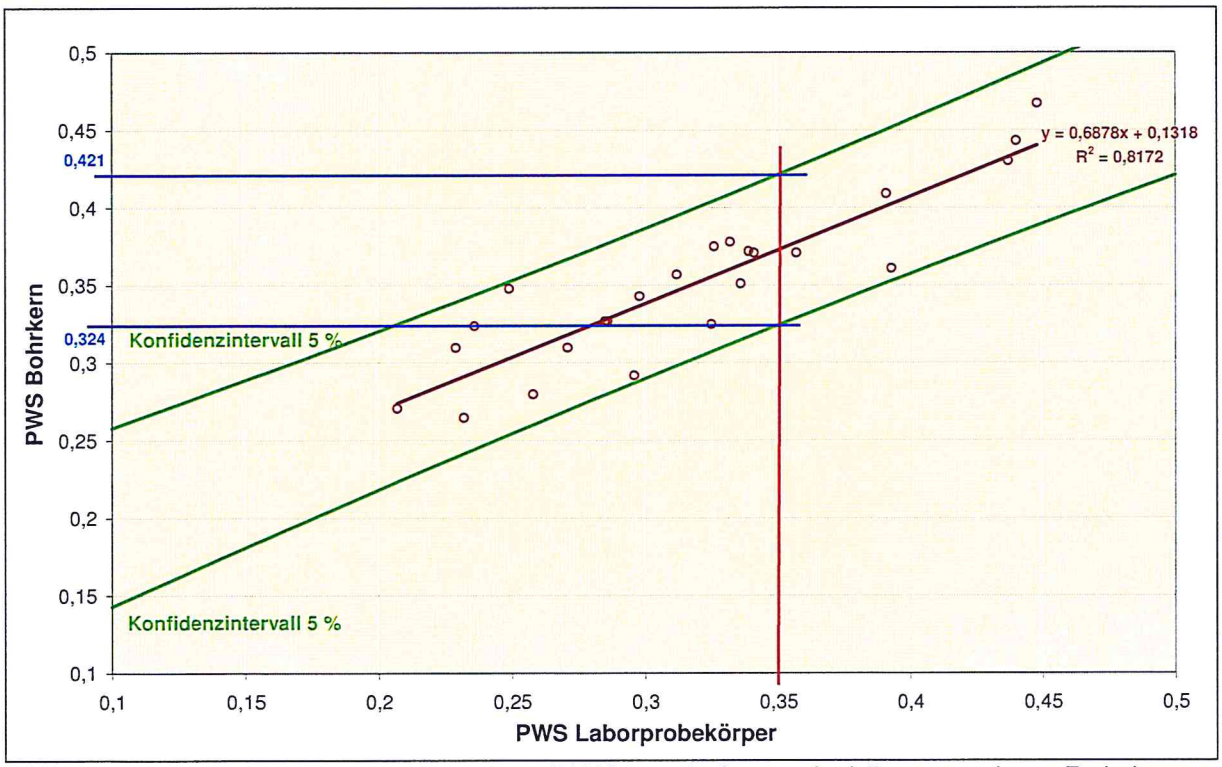


Bild 40: Regressionsgerade zwischen PWS am Laborprobekörper und am Bohrkern mit Konfidenzintervall

Schritt III. Übertragen des Konfidenzintervalls **0,324 – 0,421** aus Bild 40 (Y-Achse) in Bild 41 (x-Achse) - blaue Linien

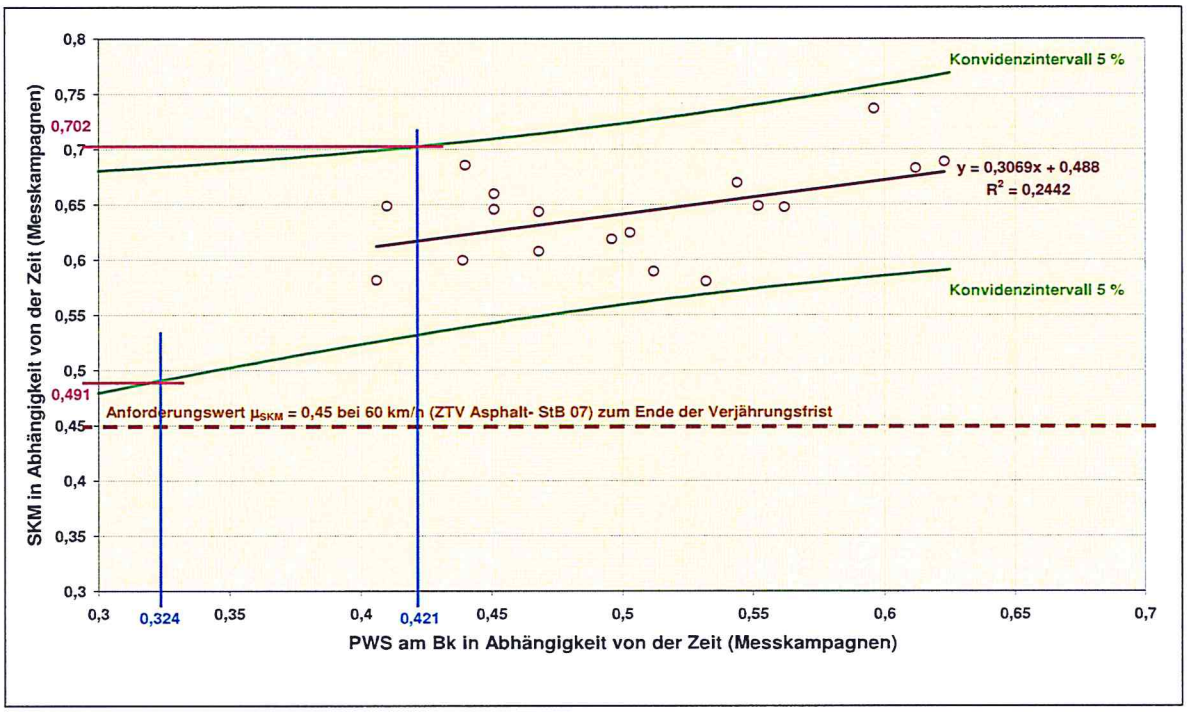


Bild 41: Regressionsgerade zwischen PWS am Bohrkern und SKM in Abhängigkeit von der Zeit mit Konfidenzintervall

Schritt IV. Ermittlung des Konfidenzintervalls für die SKM- Werte 0,491 bis 0,702 - rosa Linien.

Die Abschätzung des SKM- Wertes μ_{SKM} ergibt einen Wertebereich zwischen 0,49 und 0,70, d. h. der Anforderungswert für $\mu_{SKM} \geq 0{,}46$ wird erfüllt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der SKM- Messung zeigen, dass im Verlauf der fast 2,5- jährigen Nutzung der B 186 mit der Bauklasse II und den dort vorhandenen Witterungsbedingungen für alle Mischgutvarianten ein ausreichendes und einer Asymptote sich näherndes Griffigkeitsniveau vorhanden ist.

Es ist erkennbar, dass Asphaltbeton tendenziell eine höhere Griffigkeit aufweist als Splittmastixasphalt. Damit wird bestätigt, dass bei Verwendung von gleichen Gesteinsarten sandreiche und splittärmere Mischgutsorten wie Asphaltbeton eine höhere Griffigkeit besitzen als sandarme und splittreichere Mischgutsorten wie Splittmastixasphalt.

Ein Einfluss der untersuchten Gesteinsarten ist bezüglich des Griffigkeitsniveaus über die Feld- und Laborprüfverfahren tendenziell in gleicher Reihung nachweisbar. Die sich einstellende Reihung der Gesteinsarten Grauwacke – Rhyolith – Diabas spiegelt den unterschiedlich stark auftretenden Selbstschärfungseffekt der Gesteine wider. Splittriger Quarz im Gesteinsgerüst der Grauwacke sorgt nicht nur für eine hohe Anfangsgriffigkeit, sondern auch für eine hohe Gebrauchsgriffigkeit. Hier werden bei Abrieb stets neue Quarzsplitter freigelegt. Ein ähnliches Verhalten weist auch der Rhyolith auf.

Die nach dem Laborprüfverfahren gemessenen Griffigkeiten werden an Bohrkernen aus der Fahrbahnoberfläche tendenziell höher als an Laborprobekörpern ermittelt. Die Ursachen liegen in der unterschiedlichen Art ihrer Herstellung. Zum einen werden die Oberflächen der Bohrkerne im Gegensatz zu denen der Laborprobekörper bei der Herstellung abgestreut. Zum anderen werden unter idealen Laborbedingungen die Laborprobekörper bei 100 % Verdichtungsgrad hergestellt, wobei die Oberflächen besonders eben sind. Das aus Laborprüfungen prognostizierte Griffigkeitsniveau der Fahrbahnoberfläche wird niedriger und damit auf der sicheren Seite angegeben.

Mit den zur Verfügung stehenden Laborprüfverfahren PWS und PGM kann die durch das SKM- Verfahren festgestellte Griffigkeitsentwicklung der Fahrbahnoberfläche tendenziell widergespiegelt werden.

Im Punkt 5.8 wird ein Verfahrensweg zur Abschätzung der Griffigkeitsentwicklung an der eingebauten Asphaltdeckschicht im Rahmen einer Erstprüfung aufgezeigt. Dabei werden aufgestellte Korrelationen zwischen den Ergebnissen aus den Laborprüfverfahren an Laborprobekörpern und Bohrkernen sowie den entsprechenden SKM- Werten auf der Grundlage der zum jetzigen Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Messergebnissen verwendet. Die Genauigkeit der Voraussage wird sich durch die Einbeziehung der Ergebnisse weiterer Messkampagnen verbessern.

Ziel einer weiterführenden Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) bis über die Verjährungsfrist für Mängelansprüche hinaus, ist es, den Griffigkeitszustand der Fahrbahnoberfläche, welcher durch das SKM-Verfahren vertragsrelevant beschrieben wird, durch die Laborprüfverfahren PWS und PGM sicherer zu prognostizieren.

7 Beabsichtigte Umsetzung der Forschungsergebnisse sowie erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die während der Durchführung des Forschungsprojektes gewonnenen Erkenntnisse wurden regelmäßig dem Projekt begleitenden Ausschuss vorgestellt.

Die Forschungsergebnisse wurden bereits teilweise folgendermaßen veröffentlicht:

[1] Rauschenbach, V.; Hoffmann, D.:
„Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“
HTW- Zeitschrift "Berichte und Informationen", 2008

[2] Rauschenbach, V.; Hoffmann, D.:
„Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“
Weiterbildungsseminar des Verbandes der Straßenbaulaboratorien e. V.
10./11.04.2008 Wernigerode

[3] Rauschenbach, V.; Hoffmann, D.; Borek, J.:
„Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“
Posterausstellung während der Deutschen Asphalttage in Berchtesgaden 2008

[4] Rauschenbach, V.; Borek, J.:
„Griffigkeit ausgewählter Beobachtungsstrecken im Freistaat Sachsen in Abhängigkeit von der Zeit“
Posterausstellung während der Deutschen Asphalttage in Berchtesgaden 2010

Literaturverzeichnis

[1] Grätz, B.: „Langzeitwirkung von dünnen Schichten bezüglich der Erhaltung relevanter Oberflächenmerkmale“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 761, 1998

[2] Huschek, S.: „Kennzeichnung der Oberflächenrauheit und deren Einfluss auf die Griffigkeit und die Reifengeräusche“, Straße und Autobahn 47, Heft 6, 1996

[3] Huschek, S.: „Anforderungen an die Oberflächeneigenschaften von Fahrbahnen“, Bitumen, Heft 4, 1997

[4] Hoffmann, D.: „Griffigkeitsprognose für Asphaltdeckschichten“, asphalt 8/2003

[5] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07)“, Ausgabe 2007

[6] Potschka, V.: „Die Straßengriffigkeit zwischen Verkehrssicherheit und Machbarkeit“, Straße + Autobahn, Heft 5, 2001

[7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Seitenkraftmessverfahren SKM, TP Griff-StB (SKM)“, Ausgabe 2007

[8] Göpfert, F.-H.: „Die LISt – Dienstleister für das Straßen- und Verkehrswesen des Freistaates Sachsen“, Vortrag 21.06.2006

[9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil: Messverfahren SRT, TP Griff-StB (SRT)“, Ausgabe 2004

[10] DIN EN 13036-1: „Messung der Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines volumetrischen Verfahrens“, 2001

[11] DIN EN 13036-3: „Messung der horizontalen Entwässerung von Deckschichten“, 2003

[12] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Prüfvorschriften für Asphalt im Straßenbau, Teil 33: Herstellung von Asphalt-Probeplatten im Laboratorium mit dem Walzsektor-Verdichtungsgerät (WSV), TP Asphalt-StB 07, Teil 33“, Ausgabe 2007

[13] Huschek, S., Dames, J., Kanyi, J., Lindner, J.: „Untersuchungen zum Griffigkeitsverhalten von Splittmastixasphalt-Deckschichten“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 837, 2002

[14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB Teil 5.5.2) – Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze“, Ausgabe 1999

[15] Huschek, S: „Die Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze“, Bitumen, Heft 1/2002

[16] TU Berlin, Huschek, S.: „Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze“, 2001

[17] Wörner T., Böhnisch, S.: „Laborverfahren zur Prognose der Griffigkeit“, Straße+Autobahn, Heft 6, 2004

[18] IFB Institut Dr.-Ing. Gauer: „Das Polier- und Griffigkeitsmessgerät PGM“, 2001

[19] Bundesanstalt für Straßenwesen (bast): Forschungsprogramm Straßenwesen FE 07.204/2003/EGB, „Bewertungshintergrund für Prüfverfahren zur Griffigkeitsprognose“

[20] Gauer, P. K., Schmalz M.: „Polier- und Griffigkeitsuntersuchungen an Asphalten im Laboratorium zur Prognostizierung der Griffigkeit von Asphaltoberflächen“, Forschungsbericht FE 10689 N 1 PGM, 08.1999

[21] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 01)“, Ausgabe 2001

[22] Huschek, S.: „Entwicklung der Oberflächeneigenschaften auf der Versuchsstrecke Bamberg A 70 – Messtechnische Erfassung 1999 – 2001“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 898, 2004

[23] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 01)“, Ausgabe 2001

[24] Straßenbauamt Leipzig: Vergabeunterlagen (Angebotsaufforderung) Baumaßnahme B 186, Ausbau südlich Knautnaundorf, 2. BA, 2007

[25] Sächsisches Amtsblatt, herausgegeben von der Sächsischen Staatskanzlei: Bekanntmachung des Sächsischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Arbeit, über die güteüberwachten Herstellerbetriebe von Gesteinskörnungen

(natürliche und industriell hergestellte Gesteinskörnungen, RC-Stoffe), sowie Baustoffgemischen und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel, RC-Baustoffen und industriell hergestellten Gesteinskörnungen für den Straßenbau im Freistaat Sachsen, Sonderdruck Nr. 4/2007 vom 08.01.2007

[26] Wörner, T, Böhnisch, S: „Laborverfahren zur Prognose der Griffigkeit“, Straße+Autobahn, Heft 6, 2004

[27] Wörner, T, Wenzl, P: „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“, Forschungsbericht FE 07.204/20003/EGB, BASt, 2008

[28] Dillmann, O.: „Einteilung der Gesteine“, Geowissenschaftlicher Dienst, www.geodienst.de

[29] K. Löffler, T. Stammnitz, T. v. Rymon-Lipinski: „Grundlagen für die Griffigkeitsprognose mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze für Asphaltbeton“, asphalt, Heft 5/2003

[30] URL: http://www.grauwacke-union.de/produkte/gesteinskoernung/gesteins-koernung.php

[31] T. Behle: „Dauerhaft griffige SMA- Deckschichten“, asphalt, Heft 4/2006

[32] S. Bald, S. Böhm, V. Root: „Polierverhalten von Asphaltmischungen“, asphalt, Heft 5/2004

[33] B. Nolle: „Dauerhaft griffige Asphaltstraßen“, asphalt, Heft 5/2004

[34] H.-J. Bermel, H. Els, U. Habermann, V. Rauschenbach, M. Schellenberger: „Griffigkeitsanforderungen nach 3 Jahren“, asphalt, Heft 5/2004

[35] Habermann, ...: „Straßengriffigkeit - eine veränderliche Eigenschaft“, Straße und Autobahn, Heft 6/2004

[36] Rauschenbach: Maßnahmenkatalog für die Planung und Ausführung griffiger Asphaltdeckschichten, asphalt, Heft 4/2002

[37] Pätzold, ...: „Ergebnisse einer Pilotstudie über die Zusammenhänge zwischen Griffigkeitszustandwerten und Mineralstoffeigenschaften“
Zeitschrift Griffigkeit, Herausgeber: Gütegemeinschaft Verkehrsflächen aus Beton e.V.

[38] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen:
„DIN 1996 Blatt 1 bis 20“, Straßenbau A – Z, Teil: Bit. Straßenbau

[39] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Merkblatt zur Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe mit Aspekten zur Verkehrssicherungspflicht – Merkblatt Griffigkeit – (MB Griff)“, 2003

[40] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächen – Asphaltbauweisen (ZTV BEA-StB 98)“, Ausgabe 1998

[41] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB Teil 5.5.1) – Bestimmung des Polierwertes von Splitt (Polished Stone Value – PSV)“, Ausgabe 1999

[42] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Prüfvorschriften für Mineralstoffe im Straßenbau (TP Min-StB Teil 5.5.2) – Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze“, Ausgabe 1999

[43] J.-U. Breuer, V. Baierl: „Einfluß der Splittqualität auf die Griffigkeit und Lebensdauer von Oberflächenbehandlungen an einer Versuchsstrecke“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 592, 1991

[44] S. Huschek, D. P. Merzoug: „Zusammenhang zwischen Rauheit und Griffigkeit“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 735, 1997

[45] S. v. d. Sluis, C. Platen, B. Steinauer, G. Mayer: „Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen“, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 841, 2002

[46] S. Huschek: „Bewertung der Straßengriffigkeit bei Nässe“, Straße + Autobahn, Heft 3/1995

[47] V. Potschka: „Die Straßengriffigkeit zwischen Verkehrssicherheit und Machbarkeit“, Straße + Autobahn, Heft 5/2001

[48] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten (M BgA)“, Ausgabe 2004

[49] Ewe, B.: „Rochlitz: Griffigkeit in Sachsen“, asphalt, Heft 6/2002

[50] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: „Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (TL Gestein-StB)“, Ausgabe 2004

[51] PredInt.xls Version 8. Regression with Prediction Intervals
John.O.McClain@cornell.edu
Johnson Graduate School of Management Cornell University Ithaca NY
148533, 06 December 2007

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Bezeichnung	Seite
1	Jahreszeitliche Schwankung der Griffigkeit	3
2	Wellenlängenspektrum der Fahrbahnoberfläche und ihre Auswirkungen	5
3	Prüfanlage Wehner/Schulze PWS	12
4	PWS – Polierkopf mit Polierrollen	15
5	PWS – Prüfspindel mit Messgummis	16
6	Polier- und Griffigkeitsmessgerät PGM	17
7	PGM – Versuchsprinzip	18
8	Probe nach Schleifen	19
9	Probe nach Sandstrahlen	19
10	Prüfgerät zur Bestimmung des PSV- Wertes von Gesteinskörnungen	21
11	Prüfrad mit aufgebrachter Probe	21
12	Seitenkraftmessverfahren SKM mit schräg laufendem Rad	23
13	Seitenkraftmessverfahren SKM mit schräg laufendem Rad (Schema)	23
14	Aufbau SRT- Pendel	25
15	Aufbau und Messprinzip des Ausflussmessers nach Moore	26
16	Messprinzip Sandfleckmethode	27
17	Lagepläne der Versuchsstrecke B 186	31
18	PSV-Werte sächsischer Gesteine	32
19	Einteilung der Prüffelder	33
20	Anordnung der Messstellen und Bohrkernentnahmen je Prüffeld	34
21	Prognose mit dem Prüfverfahren PWS an Laborprobekörpern	40
22	Prognose mit dem Prüfverfahren PWS an Bohrkernen	42
23	Korrelation zwischen der Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen	44
24	Prognose mit dem Prüfverfahren PGM an Laborprobekörpern	46
25	Prognose mit dem Prüfverfahren PGM an Bohrkernen	48

26	Korrelation zwischen der Prognose an Laborprobekörpern und Bohrkernen	50
27	Seitenkraftbeiwert μ in Abhängigkeit von der Zeit	54
28	SRT- Wert in Abhängigkeit von der Zeit	55
29	Ausflussdauer in Abhängigkeit von der Zeit	56
30	mittlere Oberflächentexturtiefe MTD in Abhängigkeit von der Zeit	57
31	PWS- Wert am Bohrkern in Abhängigkeit von der Zeit	58
32	PGM- Wert am Bohrkern in Abhängigkeit von der Zeit	59
33	PWS- Prognose an Laborprobekörpern	60
34	PWS- Reibwert an Bohrkernen der Messkampagnen A bis E	60
35	PGM- Prognose an Laborprobekörpern	61
36	PGM- Werte an Bohrkernen aus den Messkampagnen A bis E	61
37	Versuch der Zuordnung der PWS bzw. PGM- Prognosewerte zur SKM- Messung	64
38	Versuch der Zuordnung der PWS bzw. PGM- Werte aus den Messkampagnen zur SKM- Messung	66
39	Regressionsgerade zwischen PWS am Bohrkern und SKM in Abhängigkeit von der Zeit	67
40	Regressionsgerade zwischen PWS am Laborprobekörper und am Bohrkern mit Konfidenzintervall	69
41	Regressionsgerade zwischen PWS am Bohrkern und SKM in Abhängigkeit von der Zeit mit Konfidenzintervall	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle	Bezeichnung	Seite
1	Einflussfaktoren	3
2	Anforderungswerte für das Messverfahren SKM	22
3	Ergebnisse der Kontrollprüfungen nach ZTV Asphalt- StB 01	36
4	Ergebnisse der Kontrollprüfungen nach ZTV Asphalt- StB 07	37
5	Ergebnisse der PWS- Prognose an Laborprobekörpern (Messkampagne X)	38
6	Ergebnisse der PWS- Prognose an Bohrkernen (Messkampagne X)	41
7	Ergebnisse der PGM- Prognose an Laborprobekörpern (Messkampagne X)	45
8	Ergebnisse der PGM- Prognose an Bohrkernen (Messkampagne X)	47
9	Prüfplan der Griffigkeitsmessungen	51
10	Messergebnisse der Feldprüfverfahren	52/53
11	Korrelationen zwischen den Labor- und Feldprüfverfahren (Bestimmtheitsmaß)	68

Anlagenverzeichnis

Anlage	Bezeichnung
1	Eignungsprüfungen
1.1	Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A, Rhyolith
1.2	Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A, Diabas
1.3	Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A, Grauwacke
1.4	Asphaltbeton 0/11 S mit PmB 45 A, Grauwacke
1.5	Asphaltbeton 0/11 S mit PmB 45 A, Diabas
1.6	Asphaltbeton 0/11 S mit PmB 45 A, Rhyolith
2	Dokumentation Einbau der Deckschichtmischgüter
3	Kontrollprüfungen am Mischgut
3.1	Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A, Rhyolith
3.2	Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A, Diabas
3.3	Splittmastixasphalt 0/11 S mit PmB 45 A, Grauwacke
3.4	Asphaltbeton 0/11 S mit PmB 45 A, Grauwacke
3.5	Asphaltbeton 0/11 S mit PmB 45 A, Diabas
3.6	Asphaltbeton 0/11 S mit PmB 45 A, Rhyolith
4	Messergebnisse
4.1	PWS - Ergebnisse der Prognose und aus den Messkampagnen
4.2	PGM - Ergebnisse der Prognose und aus den Messkampagnen
4.3	Feldprüfverfahren
4.3.1	SKM- Messungen
4.3.1.1	Messkampagne A
4.3.1.2	Messkampagne B
4.3.1.3	Messkampagne C
4.3.1.4	Messkampagne D
4.3.1.5	Messkampagne E
4.3.2	SRT- Messungen, Ausflussmessungen und Sandfleckmethode
4.3.2.1	Messkampagne A
4.3.2.2	Messkampagne B
4.3.2.3	Messkampagne C
4.3.2.4	Messkampagne D
4.3.2.5	Messkampagne E