

**Griffigkeitsprognose
an offenporigen
Asphalten (OPA)
Teil 1:
Bestandsaufnahme an
vorhandenen Strecken**

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 64

bast

Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken

von

Michael Rohleder
Kirsten Kunz
Börge Wasser
Ernst Pullwitt
Igor Müller
Oliver Ripke
Marek Zöller
Martin Pöppel-Decker

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 64

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt F 1100.3206003 des Arbeitsprogramms der Bundesanstalt für Straßenwesen:
Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)
Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-86918-062-5

Bergisch Gladbach, September 2010

Kurzfassung – Abstract

Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA) – Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken

Ziel des Projektes „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)“ ist die Weiterentwicklung und Optimierung der angewendeten Messverfahren sowie die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für offenporige Asphalte (OPA). Mit Ersterem sollen vor allem Erfahrungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) auf offenporigen Asphalten zur Definition und Verbesserung entsprechender bauvertraglicher Regelungen gewonnen werden, während die anderen Messverfahren dazu dienen, die Verhältnisse „ins Labor“ zu holen.

Im Rahmen des ersten Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ wurden Strecken zur Untersuchung ausgewählt, die bereits mehrere Jahre unter Verkehr lagen.

Auf den Strecken wurden SKM-Messungen (Seitenkraftmessverfahren) sowie SRT-Messungen (Skid Resistance Tester) durchgeführt. Hinsichtlich der Ergebnisse der SRT-Werte wird deutlich, dass die Polierresistenz des Gesteins für die resultierende Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche eine zentrale Rolle spielt. Die durchgeführten Untersuchungen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen haben, im Gegensatz zu den Ergebnissen der dichten Beläge, bei den offenporigen Asphalten keine bzw. eine nur sehr geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit ergeben.

Im Weiteren wurden Bohrkerne entnommen, an denen Messungen und Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze sowie Texturmessungen durchgeführt werden konnten.

Bei den Ergebnissen der Griffigkeitsprognose zeigt der Vergleich der PWS-Werte mit den PSV der eingesetzten Gesteine eine deutlich erkennbare, den PSV entsprechende Reihung. Außerdem deuten die Ergebnisse eindeutig darauf hin, dass bei einer Griffigkeitsprognose mit 90.000 Überrollungen Ergebnisse erzielt werden, die deutlich jenseits der Beanspruchungen aus achtjähriger Verkehrsbelastung liegen. Demzufolge ist davon auszugehen, dass eine maximale Überrollungsanzahl von 180.000 Überrollungen für eine Griffigkeitsprognose in jedem Fall ausreichend sein sollte.

Die bei SKM-Messungen beobachtete geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit des OPA kann durch die PWS-Werte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Bohrkerne nicht bestätigt werden. Dies kann an dem gegenüber SKM-Messungen deutlich größeren Wasserüberschuss bei Messungen mit der Wehner/Schulze-Anlage liegen.

Fahruntersuchungen (Bremsversuche) wurden auf dem Versuchsgelände der BAST in Sperenberg sowie auf einer mit OPA erneuerten Landesstraße durchgeführt. Asphaltbeläge mit einem hohen Mörtelanteil wie der Gussasphalt und der dichte Asphaltbeton, die dem Reifen eine größere Berührungsfläche bieten, haben einen um ca. 10 % höheren mittleren Reibungskoeffizienten als OPA und SMA, bei denen der

Reifen vornehmlich über die Flächen des Größtkorns abrollt und dadurch die Berührungsflächen geringer und demzufolge die Reibungskräfte kleiner werden.

Ergänzend zur messtechnischen Erfassung erfolgten auch Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens. Dabei ist sowohl auf den untersuchten OPA-Strecken als auch auf den zum Vergleich ausgewählten Kontrollstrecken eine rückläufige Unfallentwicklung eingetreten. Das Unfallgeschehen hat sich zwar nicht auf allen OPA-Strecken rückläufig entwickelt, dennoch zeigt sich bei Zusammenfassung aller OPA-Strecken, dass diese Deckschichten in der Summe keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Der zweite Teil „Neue Baumaßnahmen“ des Projektes „Griffigkeitsprognose an offenenporigen Asphalten (OPA)“ ist in Teilen bereits durchgeführt, beispielsweise die Fortführung der Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose, Messungen der Textur an Bohrkernen sowie eventuell Wiederholungsmessungen in situ und weitere SKM-Messungen.

Skid resistance prognosis for open-pored asphalt (OPA) - Part 1: Inventory of existing roads

The aim of the project "Skid resistance prognosis for open-pored asphalt (OPA)" is the further development and optimisation of the applied measurement techniques and the development of an approach for a prognosis for the non-skid property of open-pored asphalt (OPA). With the former, the aim is to mainly obtain experience with the lateral force measurement (SKM) on open-pored asphalt for the definition and improvement of appropriate construction contract provisions, while the latter measurement methods are used to bring the conditions "into the laboratory".

Within the framework of the first sub-project "Inventory of existing roads", roads that had already been open for traffic for several years were selected for investigation.

Lateral force measurements (SKM) and skid resistance tests (SRT) were performed on the roads. Regarding the results of the SRT-values, it becomes clear that the polishing resistance of the rock plays a central role for the resulting skid resistance of the road surface. Investigations on speed dependency for lateral force measurements (SKM) showed, in contrast to the results for dense pavements, that there is no or very low speed dependence for open-pored asphalt.

In addition, core samples were collected for measurements and studies on the skid resistance prognosis with the Wehner/ Schulze test method, as well as for texture measurements.

The results of the skid resistance prognosis show a clearly identifiable PSV appropriate sequence when comparing the PWS values to the PSV of the rock used. Furthermore, the results clearly emphasise that a skid resistance prognosis with 90,000 overrollings achieves results that are well beyond the stress of 8 years of traffic load. Consequently, one may assume that a maximum of 180,000 overrollings is sufficient for skid resistance prognosis in any case.

The low speed dependence of the OPA observed in the SKM measurements can not be confirmed by the PWS-values at different speeds on the core samples. This could be due to the significantly higher amount of excess water for measurements with the Wehner/Schulze system compared to SKM measurements.

Driving tests (brake tests) were performed on the testing ground of the Federal Highway Research Institute in Sperenberg, as well as on a state highway renewed by OPA method. Asphalt surfaces with high mortar content such as mastic asphalt and dense asphalt concrete, which provide tires with a larger contact area, have an average friction coefficient that is approximately 10% higher than for OPA and SMA, where the tires primarily roll on the maximum grain size surface which decreased the surface areas and thus reduces the frictional force.

In addition to the metrological survey, studies on the development of accident occurrences were carried out. Here, a decline in accident trend occurred on both the OPA roads and on the control roads selected for comparison. Although accident occurrences did not decrease on all OPA roads, when summarizing all OPA routes, it becomes apparent that these wearing courses on a whole have no negative impact on accident occurrences.

The second part "New Construction Measures" of the project "Skid resistance prognosis on open-pored asphalt (OPA)", has in parts already been implemented, for example the continuation of studies on prognosis of skid resistance, drill core texture measurements and potential in situ repeat measurements and further SKM measurements.

Vorwort

Zur Durchführung und Auswertung der in diesem Forschungsprojekt notwendigen Untersuchungen waren innerhalb der BAST, je nach betroffenem Fachgebiet, eine Reihe von Referaten beteiligt. Dies sind in der Abteilung Straßenbautechnik die Referate S1 „Straßenzustandserfassung und -bewertung, Messsysteme“, S2 „Erdbau und Mineralstoffe“, S3 „Betonbauweisen, Lärmindernde Texturen“ und S5 „Asphaltbauweisen“ sowie in der Abteilung Fahrzeugtechnik das Referat F3 „Fahrzeug/ Fahrbahn“ und in der Abteilung Verhalten und Sicherheit im Verkehr das Referat U2 „Unfallstatistik, Unfallanalyse“. Die Federführung lag beim Referat S2. Die vorliegenden Erfahrungen aus den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wurden durch die Einbeziehung einer Betreuergruppe mit wechselnder Besetzung genutzt.

Die Autoren des vorliegenden Berichtes setzen sich den einzelnen Themen entsprechend aus den genannten Referaten zusammen:

Referat		Zuständigkeitsbereich
S2	Herr Dr. Rohleder	Federführung, Bautechnische Untersuchungen, Prognose, Bericht
	Frau Kunz	Organisation, Bericht
S1	Herr Wasser	Untersuchungen mit SKM
	Herr Pullwitt	Oberflächeneigenschaften, Fahruntersuchungen (Bremsversuche)
S3	Herr Dr. Müller	Texturmessungen
S5	Herr Ripke	Offenporiger Asphalt
F3	Herr Zöllner	Fahruntersuchungen (Bremsversuche)
U2	Herr Pöppel-Decker	Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens

Inhalt

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Zielsetzung	2
3	Vorgehen	2
4	Grundlagen und Stand der Kenntnisse.....	3
4.1	Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze	4
4.1.1	Projekt „Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens“	6
4.1.2	Projekt „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“	10
4.1.3	Projekt „Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt“	13
4.1.4	Schlussfolgerungen zur Vorgehensweise bei der Griffigkeitsprognose.....	17
4.1.5	Einbeziehung von Verkehrsbelastungszahlen in die Auswertungen zur Griffigkeitsprognose.....	18
4.2	SKM-Messungen	20
4.2.1	Messsystem SKM zur Bewertung der Griffigkeit einer hergestellten Oberfläche	20
4.2.2	SKM-Messungen auf offenporigen Fahrbahnbelägen	22
5	Untersuchungsprogramm	23
5.1	Auswahl der Untersuchungsstrecken	23
5.2	Messungen in situ.....	26
5.2.1	Seitenkraftmessverfahren (SKM).....	27
5.2.2	SRT-Messungen.....	28
5.2.3	Texturmessungen (TMF).....	29
5.3	Messungen im Labor	31
5.3.1	Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze	31
5.3.2	Texturmessungen (T3D).....	34

5.3.3	Bestimmung des Polierwertes PSV	36
5.4	Fahruntersuchungen	37
5.5	Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens	38
5.5.1	Ziel der Unfallanalyse	38
5.5.2	Methodik und Datengrundlage der Unfallanalyse	38
5.5.3	Übersicht über OPA-Untersuchungsstrecken	39
6	Ergebnisse, Auswertung und Bewertung	41
6.1	Polierwerte PSV	41
6.2	Seitenkraftmessverfahren (SKM).....	42
6.2.1	Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen	42
6.2.2	Erkennung unterschiedlicher Polierzustände mit dem Messsystem SKM.....	45
6.2.3	Versuchsaufbau.....	45
6.2.4	Versuchsergebnis	46
6.3	SRT-Messungen (in situ und auf Bohrkern).....	47
6.3.1	Präzision der gemessenen SRT-Werte	48
6.3.2	Zusammenhänge zwischen SRT-Werten, PSV und SKM-Werten.....	49
6.3.3	Korrelation zwischen SRT-Werten und SKM-Werten	52
6.4	Texturmessungen (im Labor: T3D).....	54
6.5	Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze	58
6.5.1	Präzision der gemessenen PWS-Werte	58
6.5.2	Zusammenhänge zwischen PWS-Werten, SKM-Werten, SRT- Werten und PSV	59
6.5.3	Griffigkeitsprognose.....	62
6.5.4	Geschwindigkeitsabhängigkeit bei PWS-Messungen	71
6.5.5	Auswertungen hinsichtlich weiterer Parameter	73
6.6	Fahruntersuchungen	74
6.6.1	Messaufgabe	74
6.6.2	Durchführung der Bremsversuche.....	75
6.6.3	Ergebnisse.....	77
6.6.4	Zusammenfassung.....	83

6.7	Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens	86
6.7.1	Vorbemerkung	86
6.7.2	Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken	86
6.7.3	Unfallentwicklung auf den Kontrollstrecken	88
6.7.4	Unfallentwicklung bei Nässe	89
6.7.5	Zusammenfassung der Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens	91
6.7.6	Ausblick zu Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens	92
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	93
7.1	Schlussfolgerungen	93
7.1.1	Seitenkraftmessverfahren (SKM).....	93
7.1.2	SRT-Messungen (in situ und auf Bohrkernen).....	93
7.1.3	Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze	94
7.1.4	Fahruntersuchungen (Bremsversuche)	95
7.1.5	Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens	95
7.2	Ausblick	96
8	Zusammenfassung	98
9	Verzeichnisse	101
10	Anhang	107
Anhang 1: Strecken und Gesteinsarten OPA BAB A5		
Anhang 2: Bohrkernentnahmestellen BAB A2		
Anhang 3: Bohrkernentnahmestellen BAB A5		
Anhang 4: Bohrkernentnahmestellen BAB A8		
Anhang 5: Bohrkernentnahmestellen Bundesstraße B36		
Anhang 6: Technische Daten des Texturmessfahrzeuges (TMF)		
Anhang 7: Technische Daten des stationären T3D-Messsystems (T3D)		
Anhang 8: Auswertung Texturmessung		
Anhang 9: Messbericht Melle		
Anhang 10: Messbericht Sperenberg		

1 Einleitung und Problemstellung

Das aktuelle Regelwerk für den Asphalt- und Betonstraßenbau stellt u. a. Anforderungen an die Griffigkeit der hergestellten Oberflächen. Diese Anforderungen basieren auf einem Bewertungshintergrund, der dichte Straßenoberflächen berücksichtigt. Offenporige Asphalte (OPA) hingegen weisen bautechnische Besonderheiten, wie beispielsweise die Drainage des Oberflächenwassers, sowie einen einkörnigen Kornaufbau ohne Anteile an Sanden auf. Demzufolge ist zu vermuten, dass die herkömmlichen Verfahren zur Bestimmung der Griffigkeit und die aus den Messergebnissen abgeleiteten Kenngrößen nicht ausreichend sind, um Prognosen bezüglich der möglichen Veränderung der Griffigkeit durch die Nutzung sicher abgeben zu können.

Aufgrund des somit fehlenden Bewertungshintergrundes hinsichtlich der Griffigkeit bei offenporigen Asphaltdeckschichten sowie infolge einer Griffigkeitsdiskussion im Jahr 2005 in Zusammenhang mit der BAB A8 hat sich umfangreicher Forschungsbedarf auf dem Themengebiet offener Asphalt (OPA) herausgestellt. Die verschiedenen bisher durchgeführten sowie derzeit laufenden Forschungsprojekte hinsichtlich Griffigkeit, Griffigkeitsentwicklung und Griffigkeitsprognose berücksichtigen die Bauweise mit OPA nicht.

Da die BAST über die zur Bearbeitung eines solchen Projektes notwendigen, interdisziplinären Möglichkeiten verfügt, wurde und wird hier ein Projekt mit dem Titel „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)“, unterteilt in zwei Teilprojekte, durchgeführt. Das erste Teilprojekt mit dem Titel „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ wird mit dem vorliegenden Bericht abgeschlossen. Ziel des weiterhin laufenden zweiten Teilprojektes „Neue Baumaßnahmen“ ist es, die im ersten Teil entwickelten Vorgehensweisen zu verifizieren und gegebenenfalls weiter anzupassen.

2 Zielsetzung

Ziel des Projektes ist die Weiterentwicklung und Optimierung der angewendeten Messverfahren sowie die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für offenporige Asphalte (OPA). Mit Ersterem sollen vor allem Erfahrungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) auf offenporigen Asphalten zur Definition und Verbesserung entsprechender bauvertraglicher Regelungen gewonnen werden, während die anderen Messverfahren dazu dienen, die Verhältnisse „ins Labor“ zu holen. Mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen soll die Entwicklung der Griffigkeit von offenporigen Asphalten planbarer werden, wodurch die bauvertraglichen Anforderungen gezielter gestellt und erfüllt werden können. Dies ist auch im Hinblick auf A-Modelle und Bauverträge mit funktionalen Anforderungen von zentraler Bedeutung.

3 Vorgehen

Im Rahmen des ersten Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ wurden zunächst vor allem solche Strecken zur Untersuchung ausgewählt, die bereits mehrere Jahre unter Verkehr lagen. Zum einen konnte damit auf bereits vorhandene Untersuchungsergebnisse (z. B. SKM-Messungen) sowie auf Erfahrungen beispielsweise zur Griffigkeitsentwicklung und zum Unfallgeschehen der entsprechenden Strecken zurückgegriffen werden. Zum anderen wurden einzelne Strecken im Untersuchungszeitraum erneuert, wodurch sich umfangreichere Untersuchungsmöglichkeiten beispielsweise hinsichtlich der Bohrkernentnahme ergaben.

Im Einzelnen wurden Strecken aus den Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen ausgewählt, die nach dem FGSV-Merkblatt für den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten von 1998 gebaut worden waren.

Zur messtechnischen Erfassung der Strecken kam, je nach Untersuchungsstrecke, eine Reihe unterschiedlicher Messverfahren zum Einsatz.

Auf den Strecken selbst wurden SKM-Messungen, SRT-Messungen (Skid Resistance Tester) sowie Messungen der Textur durchgeführt. Bei den SKM-Messungen wurde teilweise auch die Griffigkeitsverteilung über den Querschnitt ermittelt. Im Weiteren wurden Bohrkern (Ø 225 mm) entnommen, an denen Messungen und Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren Wehner/Schulze sowie auch weitergehende Texturmessungen durchgeführt werden konnten. Der Vergleich der Ergebnisse aus den Prognosemessungen mit den Messergebnissen in situ er-

folgte auch unter Berücksichtigung der Resultate von Fahruntersuchungen (Bremsversuche). Diese wurden sowohl auf dem Versuchsgelände der BAST in Sperenberg als auch auf einer Landstraße durchgeführt. Ergänzend zur messtechnischen Erfassung erfolgten auch Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens. Die unterschiedlichen Untersuchungen sind in Kapitel 5 genauer beschrieben.

4 Grundlagen und Stand der Kenntnisse

Wie eingangs bereits erwähnt, basiert ein Großteil der bisherigen Erfahrungen auf den Ergebnissen von Messungen auf dichten, nicht jedoch auf offenporigen Straßenoberflächen. Die wesentlichen Vorteile der offenporigen Asphaltbauweise im Gegensatz zur Bauweise mit dichtem Gefüge sind die Verringerung der Reifen/Fahrbahn-Geräusche, der Abfluss des Oberflächenwassers sowie eine relativ hohe Verformungsbeständigkeit der Fahrbahn. Die Vorzüge beruhen auf einem hohen Hohlraumgehalt, der charakteristisch für eine offenporige Asphaltdeckschicht ist. Um diesen zu erreichen, ist die Verwendung einer optimierten Sieblinie notwendig, d. h. dass beispielsweise ein OPA 0/8 im Wesentlichen mit einer Kornfraktion von 5/8 mm hergestellt und dabei der Kornanteil zwischen 0,25 und 5 mm deutlich reduziert wird. Dadurch entsteht ein hohlraumreiches Monokorngerüst mit labyrinthähnlichen Strukturen. Demzufolge werden hohe Anforderungen an das Bindemittel hinsichtlich Klebkraft und Viskosität gestellt, so dass grundsätzlich nur Polymermodifizierte Bitumen verwendet werden (HIRSCH, V.; RIPKE, O, 2008). In den nachfolgenden Abbildungen sind zur Illustration Beispiele für einen offenporigen Asphalt (Abbildung 1) sowie für einen dichten Asphalt (hier: Splittmastixasphalt - SMA, Abbildung 2) dargestellt.



Abbildung 1: Oberfläche OPA



Abbildung 2: Oberfläche SMA

Ein weiterer zu beachtender Aspekt ist, dass in dem hier durchgeführten Forschungsprojekt auch Messverfahren wie beispielsweise das Polierverfahren nach Wehner/Schulze zur Messung von Fahrbahnoberflächen oder auch Texturmessverfahren zum Einsatz kamen, die bisher überwiegend im Bereich der Forschung, nicht jedoch als Routinemessverfahren verwendet werden und für die somit auch (noch) keine Anforderungswerte im Regelwerk existieren. Dies gilt es bei der Zusammenstellung und Bewertung der bisherigen Erkenntnisse zu berücksichtigen.

Im Folgenden wird der Stand der Kenntnisse kurz zusammenfassend dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf den Messungen zur Griffigkeitsprognose mit dem Polierverfahren nach Wehner/Schulze sowie auf den SKM-Messungen.

4.1 Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze

Das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze dient zum einen zur Bestimmung des Polierwertes (PWS) von groben und feinen Gesteinskörnungen, zum anderen sind jedoch auch Prüfungen zur Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnoberflächen möglich. Die entsprechende Eignung und Verwendbarkeit des Prüfverfahrens ist bereits in unterschiedlichen Forschungsprojekten deutlich gemacht worden.

Die Prüfungen erfolgen im Labor an Asphalt- oder Betonoberflächen. Als Proben können sowohl im Labor hergestellte Probekörper als auch aus der Fahrbahn entnommene Bohrkerne (\varnothing 225 mm) verwendet werden. Mit dem Gerät lässt sich bei guter Präzision sowohl der momentane Griffigkeitszustand erfassen als auch die Entwicklung der Griffigkeit zu unterschiedlichen Zeitpunkten, bis hin zu einem Endgriffigkeitszustand, prognostizieren. Eine genauere Beschreibung des Gerätes sowie des Prüfverfahrens erfolgt in Kapitel 5.3.1.

Zur Ermittlung eines guten Zusammenhangs zwischen den gemessenen Griffigkeitswerten auf der Straße und den im Labor ermittelten Ergebnissen ist es erforderlich, die unterschiedlichen Einwirkungen in situ so zutreffend wie möglich im Labor nachzuvollziehen. Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen zu berücksichtigenden Einflussfaktoren sowie über prinzipielle Möglichkeiten zur Simulation im Labor.

Tab. 1: Einflüsse auf die Griffigkeit

Einflüsse auf die Griffigkeit	polierend	aufrauend
In der Natur	Fahrzeugreifen (Schlupf und Abrieb vom Gummi), Staub und Wasser	Frost, saurer Regen
In der Simulation	Überrollungen unter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	Sandstrahlen, Befrosten, Beregnen

Die dargestellten Möglichkeiten können in unterschiedlicher Kombination und Intensität zum Einsatz kommen. Der Umfang der Erfahrungen zu den einzelnen Bereichen variiert stark. Hinsichtlich der Simulation der polierenden Einflüsse durch Überrollungen unter Zugabe von Wasser und Quarzmehl ist in einer Reihe von Forschungsprojekten bereits ein gewisser Erfahrungshintergrund aufgebaut worden. Demgegenüber ist die Simulation der aufrauenden Einflüsse bisher im Wesentlichen durch Sandstrahlen erfolgt. Dies bietet den Vorteil eines relativ einfachen, schnellen und gut reproduzierbaren Vorgehens, beinhaltet jedoch den Nachteil jeder indirekten Methode, dass zunächst Korrelationen zu den tatsächlichen Einwirkungen, in diesem Fall durch Witterungseinflüsse auf die Fahrbahnoberfläche, zur Einordnung und Bewertung hergestellt werden müssen. Die Simulation aufrauender Einflüsse durch direkte Vorgehensweisen wie Befrosten oder Beregnen (Stichwort „saurer Regen“) ist wesentlich aufwändiger und wurde bisher deutlich seltener durchgeführt. Die Erfahrungen sind entsprechend gering. Ein weiterer, bisher nicht genannter, Einfluss auf die Griffigkeit kann möglicherweise aus der Alterung der Fahrbahnoberfläche und hier vor allem des Bindemittels resultieren. Hierzu gibt es bisher kaum Untersuchungen.

Um eine entsprechende Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose von OPA mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze festzulegen, waren die Ergebnisse verschiedener, zwischenzeitlich abgeschlossener, Forschungsprojekte zu dieser Thematik zu berücksichtigen. Im Einzelnen sind dies vor allem die Projekte „Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens“ (HUSCHEK, S.; BÖCK, M. et al, 2007) und „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“ (WÖRNER, T.; WENZL, P., 2008) sowie das BMBF-Verbundprojekt „Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt“ (STEINAUER, B.; UECKERMANN, A.; MEYER, A.; SCHULZE, C., 2008).

Neben den polierenden Beanspruchungen aus der Verkehrsbelastung werden in diesen Projekten mittels unterschiedlicher Vorgehensweisen auch Beanspruchungen aus Witterungseinflüssen simuliert. Allerdings ist, wie bereits angesprochen, in keinem der Projekte auf offenporigem Asphalt gemessen worden, so dass auch keine der in den Projekten gewählten Vorgehensweisen direkt und vollständig übertragbar war.

Im Folgenden wird auf die Ziele der einzelnen Projekte, die jeweiligen Vorgehensweisen, die Ergebnisse sowie auf die damit verbundenen, für das vorliegende Projekt relevanten, Schlussfolgerungen näher eingegangen.

4.1.1 Projekt „Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens“

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die unterschiedlichen untersuchten Oberflächen sowie die Vorgehensweisen hinsichtlich der Beanspruchung aus Verkehr und aus Witterungseinflüssen zum Projekt „Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens“ (HUSCHEK, S.; BÖCK, M. et al, 2007) zusammenfassend dargestellt. Das Projekt war Teil eines Deutsch-Französischen Kooperationsprojektes auf diesem Gebiet, es wurden vergleichende Untersuchungen unter anderem zur Thematik der Griffigkeitsprognose in Deutschland und Frankreich durchgeführt.

Tab. 2: Untersuchungsverfahren zur Griffigkeitsprognose, Projekt „Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens“

Untersuchte Oberflächen	Versuchsprogramm
<p>Strecken Deutschland:</p> <ul style="list-style-type: none"> - SMA 0/11S (BAB, Bj 1995) - SMA 0/11S (BAB, Bj 1993) - DSK (BAB, Bj 2002) <p>Bohrkerne aus: Rollspur 1. Fahrstreifen („belastet“) Mitte 2. Fahrstreifen („unbelastet“)</p>	<p>Polierende Beanspruchung (Wehner/Schulze-Verfahren): Messungen nach 0, 5000, 10000, 30000, 60000, 90000, 180000 (Max.) Überrollungen</p> <p>Aufrauende Beanspruchung: Kein zwischenzeitliches Sandstrahlen; Gesonderte Versuchsreihen mit wiederholtem Benetzen der Oberfläche mit schwacher Säure (pH-Wert: 4) zur Simulation von Witterungseinfluss aus saurem Regen</p>
<p>Strecken Frankreich:</p> <ul style="list-style-type: none"> - BBTM 0/10 (Déviation, Bj 2004) - BBSG 0/10 (RN, Bj 2004) - BBTM 0/6 (RD, Bj 2005) <p>BBTM: béton bitumineux très mince BBSG: béton bitumineux semi-grenu</p> <p>Bohrkerne aus Seitenstreifen (vor Inbetriebnahme) sowie aus Seitenstreifen und rechter Rollspur (alle sechs Monate)</p>	<p>Polierende Beanspruchung (Wehner/Schulze-Verfahren): Nullmessung, dann Messungen alle 1000 Überrollungen bis zum Erreichen eines Maximums, im Weiteren nach 15000, 20000, 50000, 90000 und 180000 (Max.) Überrollungen</p> <p>Aufrauende Beanspruchung: Versuchsweise Bindemittelentfernung an der Oberfläche mit Lösemittel</p>

Ziel des Projektes und Vorgehen

Ziel dieses Projektes war unter anderem die Entwicklung eines Verfahrens zur möglichst praxisnahen Verkehrssimulation auf Prüfoberflächen im Labor. Hierzu wurden aus Strecken in Deutschland und Frankreich Bohrkerne entnommen und mit dem Wehner/Schulze-Verfahren untersucht. Weiterhin kamen unterschiedliche Texturmessverfahren zum Einsatz.

Auf deutscher Seite wurden für die Untersuchungen drei Autobahnabschnitte gewählt, die bereits seit einigen Jahren unter Verkehr lagen. Um unterschiedliche Belastungszustände untersuchen zu können, wurden Bohrkerne aus der Rollspur des 1. Fahrstreifens („belasteter Bereich“) sowie aus der Mitte des 2. Fahrstreifens („unbelasteter Bereich“) gezogen. Nach Durchführung von Verkehrssimulationen mit dem Wehner/Schulze-Verfahren auf diesen Proben, poliert wurde insgesamt bis zum Erreichen von 180.000 Überrollungen, konnte aus den Messergebnissen eine Verhaltensfunktion abgeleitet werden. Die Ergebnisse wurden zudem mit den Messwerten der Proben aus den belasteten Bereichen verglichen. In gesonderten Versuchsreihen erfolgte ein wiederholtes Benetzen der Oberfläche mit schwacher Säure (pH-Wert: 4) zur Simulation von Witterungseinfluss aus saurem Regen.

Auf französischer Seite wurden neue Strecken über einen Zeitraum von ca. einem Jahr beobachtet. Somit konnten die ersten Bohrkerne direkt nach Fertigstellung entnommen werden, weitere wurden dann im Rhythmus von ungefähr sechs Monaten aus der rechten Rollspur des Fahrstreifens („belasteter Bereich“) sowie aus dem Seitenstreifen („unbelasteter Bereich“) gezogen. Die Griffigkeitsentwicklung sowohl durch Verkehr als auch durch Polieren mit dem Wehner/Schulze-Verfahren wurde dokumentiert und verglichen. Auch hier wurde insgesamt bis zum Erreichen von 180.000 Überrollungen poliert. Zusätzlich wurde der Witterungseinfluss betrachtet indem der Witterung ausgesetzte Proben ohne Verkehrsbelastung im Abstand von etwa einem halben Jahr gemessen wurden.

Ergebnisse

Die Untersuchungen haben ergeben, dass der Poliervorgang wie erwartet einen exponentiell abnehmenden Verlauf aufweist. Eine eindeutige Korrelation zwischen Anzahl der Überrollungen in situ und Anzahl der Überrollungen auf der Wehner/ Schulze-Maschine konnte hier nicht hergeleitet werden. In der Mehrzahl der Fälle reichen 3 000 bis 4 000 Überrollungen mit dem Wehner/Schulze-Verfahren, um ein Griffigkeitsniveau in der Rollspur des 1. Fahrstreifens zu erreichen, welches sich nach wenigen Jahren einstellt. Die Simulation einzelner Belastungszustände ist somit mit der hier dargestellten Vorgehensweise möglich.

Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass Größen wie die Makrotextur und ihre Entwicklung unter Verkehr ebenfalls mit in die Betrachtung einbezogen werden müssen, da sowohl die Griffigkeit als auch die Griffigkeitsentwicklung durch sie mit beeinflusst wird. Die mittlere Texturtiefe in unbeanspruchten Bereichen der Fahrbahn liegt stets höher als die in der Rollspur. Insbesondere bei SMA sind in den unbeanspruchten Bereichen Kornausbrüche zu erkennen. Der Verkehr hat in der Rollspur eine einebnende Wirkung. Eine hohe Makrotextur bedeutet aufgrund der kleineren

Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn eine stärkere Polierbeanspruchung für die Mikrotextur.

Neben dem Verkehr sind weitere wichtige Einflussgrößen zu beachten. Der Witterungseinfluss auf die Griffigkeit konnte sowohl in den französischen Untersuchungen als auch in älteren deutschen Untersuchungen deutlich erkannt werden. Der Einfluss des sauren Regens konnte hingegen im Labor mit den angewandten Methoden nicht separiert werden. Dies kann zum einen daran liegen, dass die Menge der einwirkenden Säure nur der eines Regenereignisses entsprach und somit der Griffigkeitsanstieg in einer Größenordnung erfolgte, die zu gering war, um von der Wehner/Schulze-Maschine erfasst zu werden. Zum anderen ist es möglich, dass der saure Regen erst im Zusammenwirken mit weiteren Faktoren zu einem Griffigkeitsanstieg führt. Es bleibt somit unklar, ob die Einflüsse aus Witterung durch Laborversuche dieser Art beschleunigt simuliert werden können. Zusätzlich spielt der Alterungsprozess an sich ebenfalls eine Rolle.

Da mit Ausnahme von OPA neue Asphaltdeckschichten in Deutschland abgestreut werden, in Frankreich jedoch nicht, verläuft die Entwicklung der Griffigkeit der untersuchten Bohrkernoberflächen in beiden Ländern unterschiedlich. Aus diesem Grund sind unterschiedliche Verhaltensfunktionen notwendig. Die in Frankreich entwickelten Funktionen berücksichtigen einen anfänglichen Anstieg der Griffigkeit durch die Bitumenalterung und den Abtrag des Bitumens an der Oberfläche während die in Deutschland entwickelten Funktionen eine Griffigkeitsabnahme unmittelbar nach Inbetriebnahme der Fahrbahn darstellen.

Schlussfolgerungen

Eine umfassende Simulation der Beanspruchungen auf der Fahrbahnoberfläche im Labor erfordert neben der Verkehrssimulation selbst auch eine Berücksichtigung der Witterungseinflüsse und nach Möglichkeit des Alterungsverhaltens. Hierbei werden zur Beurteilung der Makrotextur und ihrer Entwicklung unter Verkehr ebenfalls Messergebnisse benötigt.

4.1.2 Projekt „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die unterschiedlichen untersuchten Oberflächen, unterteilt nach Strecken und Laborprobekörpern, die jeweilige Art der Probenvorbereitung sowie die Vorgehensweisen hinsichtlich der Beanspruchung aus Verkehr und aus Witterungseinflüssen zum Projekt „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“ (WÖRNER, T.; WENZL, P., 2008) zusammenfassend dargestellt.

Tab. 3: Untersuchungsverfahren zur Griffigkeitsprognose, Projekt „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“

Untersuchte Oberflächen, Probenvorbereitung	Versuchsprogramm
<p>Strecken (einige Jahre unter Verkehr):</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 x SMA (BAB) - 1 x AB (BStr.) - 3 x Beton (BAB) <p>Bohrkerne aus StS, 1. FS, 2. FS (bei den FS: jeweils rechte Rollspur) StS: Standstreifen FS: Fahrstreifen</p> <p>Probenvorbereitung: keine Vorbehandlung der Oberfläche</p> <p>Laborprobekörper Material aus Strecken (SMA), Herstellung mit Walzsektorverdichter, Zusammensetzung wie Bohrkerne</p> <p>Probenvorbereitung: Gesandstrahl (Variation der Sandstrahlzeiten, empfohlen 3 bis 4 min)</p>	<p>Polierende Beanspruchung (Wehner/Schulze-Verfahren): Messungen nach 0, 4500, 7500, 15000, 22500, 45000, 67500, 90000, 135000, 180000, 225000, 270000 Überrollungen</p> <p>Aufrauende Beanspruchung: Kein zwischenzeitliches Sandstrahlen; Keine aufrauende Beanspruchung</p>

Ziel des Projektes und Vorgehen

Ziel dieses Projektes war es, vergleichbare und auf die Praxis übertragbare Vorgehensweisen für Griffigkeits- und Griffigkeitsprognosemessungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze (PWS) sowie alternativ mit dem Polier- und Griffigkeitsmessgerät PGM zu erarbeiten. Hierzu wurden Bohrkerne aus seit länger unter Ver-

kehr liegenden Praxisstrecken entnommen und deren Oberflächenzustand charakterisiert. Zudem wurden Probekörper im Labor hergestellt und einer Beanspruchung durch die beiden Prüfgeräte ausgesetzt, die einen zu der Praxis vergleichbaren Oberflächenzustand ergeben und somit eine Prognose im Labor mit im Labor hergestellten Probekörpern zulässt. Im Weiteren wurden an den unterschiedlichen Probekörperoberflächen auch Texturmessungen mit dem Doppeltriangulationssensor durchgeführt.

In dem Forschungsvorhaben wurden je drei Asphalt- und Betonstrecken mit einer möglichst großen Spreizung des Griffigkeitsniveaus untersucht. Bei den drei Asphaltstrecken handelt es sich um zwei Splittmastixasphalte (SMA) aus zwei Autobahnen sowie um einen Asphaltbeton (AB) aus einer Bundesstraße. Die ausgewählten Strecken lagen zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme schon längere Zeit unter Verkehr und zeigten ein weitgehend gleichmäßiges (frei von großen messtechnischen Schwankungen) Griffigkeitsprofil in dem Abschnitt der Bohrkernentnahme. Bei jeder Strecke wurden je 10 Bohrkern aus dem Standstreifen sowie aus dem ersten und dem zweiten Fahrstreifen (jeweils rechte Rollspur) entnommen. Bei den Bohrkernen fand vor der Messung keine Probenvorbereitung zur Vorbehandlung der Oberfläche statt. Bei den zwei SMA konnten aufgrund der Verfügbarkeit der Gesteinskörnungen Laborplatten mit dem Walzsektorverdichter hergestellt werden. Für die Plattenvorbereitung kam nur das Sandstrahlen in einer gesteuerten Sandstrahlkabine, allerdings mit unterschiedlichen Sandstrahlzeiten, zur Anwendung. Die ursprünglich angedachte Befreiung der Oberfläche von Bindemittel mit Hilfe eines Lösungsmittels wurde verworfen, da die Entmörtelung durch den Polierprozess mit der Maschine realistischer erscheint. Poliert wurde insgesamt bis zum Erreichen von 270.000 Überrollungen. Ein zwischenzeitliches Sandstrahlen fand nicht statt, da es sich hier um eine „worst case“ - Betrachtung, also ohne zwischenzeitliche Regenerierung, handeln sollte.

Ergebnisse

Die aus den Ergebnissen der Texturmessungen mit dem Doppeltriangulationssensor an den Bohrkernoberflächen abgeleiteten Kenngrößen konnten den charakteristischen Oberflächeneigenschaften des jeweiligen Asphaltes bzw. Betons gut zugeordnet werden. Auch die höhere Belastung des ersten Fahrstreifens durch den überwiegend hier stattfindenden Lkw-Verkehr spiegelte sich in den ermittelten Kennwerten wieder. Der Gesamtumfang an berührungslosen Messungen der Oberflächen war jedoch noch zu gering, um von den Kennwerten auf die Gebrauchseigenschaften schließen zu können.

Bei den durchgeführten SKM-Messungen wurde deutlich, dass, während die 100 m-Werte und die 20 m-Werte relativ homogen sind, demgegenüber die 1 m-Werte starke Streuungen aufweisen. Diese sind bei den Betonstrecken insgesamt höher als bei jenen mit Asphaltoberfläche; die höchsten Streuungen treten bei einer Betondecke Baujahr 1980 auf. Die in diesem Zusammenhang ebenfalls aufgeführte Streuung der PWS-Werte ist deutlich geringer und erreicht nur bei den Bohrkernen aus dem Standstreifen ein vergleichbares Niveau. Für die Auswertung wurden die Messwerte (PWS und PGM) auf den Bohrkernen in einem ersten Schritt den jeweiligen 1 m-Werten zugeordnet. Hierbei zeigte sich grundsätzlich kein korrelativer Zusammenhang. Nach aufsteigender Ordnung der Messwerte auf den Bohrkernen und der 1 m-Werte mit dem SKM konnte ein deutlich besserer Zusammenhang dargestellt werden. Die getrennte Betrachtung der Fahrstreifen führt hierbei zu einem besseren Ergebnis, was bedeutet, dass ggf. auch das Griffigniveau einen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen Laborergebnis und Messwert in situ hat.

Aus der für zwei Strecken (SMA und Beton) erfolgten orientierenden Einbeziehung der Verkehrsbelastungszahlen in die Untersuchungen zur Griffignprognose ist abzuleiten, dass vor allem die polierende Wirkung des Schwerverkehrs die Griffign beeinflusst. Weiterhin zeigte sich bei den Versuchen an Asphaltproben – unabhängig ob Bohrkern oder Laborplatte – ein sehr starker Abfall der Griffign während der ersten 10.000 bis 30.000 Überrollungen, der z. T. deutlich über den für die Strecke ermittelten Griffignabnahmen während der bisherigen Gebrauchsdauer liegt. Daraus wird gefolgert, dass mit dem Laborverfahren zielsicher nur eine Endgriffign ermittelt werden kann, Zwischenwerte derzeit jedoch nicht angegeben werden können. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde auf weiterführende Untersuchungen an den anderen Versuchsstrecken verzichtet.

Aus der durchgeführten Variation der Sandstrahlzeiten bei den hergestellten Laborprobekörpern aus Asphalt und dem Vergleich mit den an den Bohrkernen ermittelten Ergebnissen wird für das Prüfverfahren PWS eine Sandstrahldauer von ca. 3 bis maximal 4 Minuten festgelegt. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs müssen mit dieser Festlegung jedoch Erfahrungen gesammelt werden. Zu beachten ist dabei auch, dass die absoluten Werte bei den Bohrkernen höher als die Werte selbst nach 10 Minuten Sandstrahldauer liegen, der Verlauf jedoch einen besseren Zusammenhang bei den genannten Dauern aufweist.

Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der durchgeführten SKM-Messungen kann gefolgert werden, dass sich die Auswertung aufgrund der stärkeren Streuungen bei den 1 m-Werten auch im wissenschaftlichen Zusammenhang eher auf die 100 m-Werte und die 20 m-Werte beziehen sollte. Bei routinemäßigen Kontrollen mit dem SKM werden ohnehin

100 m-Werte verwendet (siehe Kapitel 5.2.1). Weitere Schlussfolgerung ist hier, dass punktuelle Messungen zur Ermittlung der Griffigkeit als kritisch anzusehen sind, wobei klar ist, dass Messungen nur an einer einzelnen Stelle zur Beurteilung eines größeren Zusammenhangs wie beispielsweise die Eigenschaften eines linienförmigen Bauwerks betreffend, falls nicht sehr homogene Bedingungen vorliegen, generell mit Augenmaß zu beurteilen sind.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass mit den Polierverfahren, insbesondere auch mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze, grundsätzlich eine Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen möglich ist. Mit der hier gewählten Vorgehensweise bei den Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose kann zielsicher nur eine Endgriffigkeit ermittelt, nicht jedoch der Griffigkeitsverlauf vergleichbar zum Verhalten in situ nachvollzogen werden. Auch entsprechende Zwischenwerte können somit derzeit nicht angegeben werden. Insgesamt wird hier vor allem deutlich, dass eine Berücksichtigung der Einwirkungen durch Witterungseinflüsse, beispielsweise auch durch Probenvorbehandlung (z. B. durch Sandstrahlen), sowie auch des Alterungsverhaltens von hoher Wichtigkeit für Aussagen zur Griffigkeitsprognose ist.

4.1.3 Projekt „Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt“

Nachfolgend sind in Tabelle 4 die unterschiedlichen untersuchten Oberflächen (bei diesem Projekt nur Laborprobekörper), die jeweilige Art der Probenvorbereitung sowie die Vorgehensweisen hinsichtlich der Beanspruchung aus Verkehr und aus Witterungseinflüssen zum BMBF-Verbundprojekt „Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt“ (STEINAUER, B.; UECKERMANN, A.; MEYER, A.; SCHULZE, C., 2008) zusammenfassend dargestellt.

Tab. 4: Untersuchungsverfahren zur Griffigkeitsprognose; Projekt „Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt“

Untersuchte Oberflächen, Probenvorbereitung	Versuchsprogramm
<p>Laborprobekörper:</p> <ul style="list-style-type: none"> - AB 0/8, AB 0/11 S (3 Sieblinien, B 50/70) - SMA 0/8 S; SMA 0/11 S (eine Sieblinie, B 30/45, B 50/70, PmB 45 A) - GA 0/11 S (eine Sieblinie, B 30/45) <p>Gesteine: Basalt, Gabbro, Diabas, Grauwacke</p> <p>Probenvorbereitung: Verdichtung mittels Walzsektorverdichter, anschließend Abstumpfung</p>	<p>Versuchsreihe 1:</p> <p>Polierende Beanspruchung (Wehner/Schulze-Verfahren): Messungen nach 0, 10000, 30000, 60000, 90000, 180000 (Max.) Überrollungen</p> <p>Aufrauende Beanspruchung: Sandstrahlen nach 90000 Überrollungen</p> <p>Versuchsreihe 2:</p> <p>Polierende Beanspruchung (Wehner/Schulze-Verfahren): Messungen nach 0, 45000, 90000, 135000, 180000, 190000 (Max.) Überrollungen</p> <p>Aufrauende Beanspruchung: Jeweils 10 Frost-Tau-Wechsel nach jeder der genannten Überrollungsstufen</p>

Ziel des Projektes und Vorgehen

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines Entwurfs- und Prognoseinstrumentariums für die Griffigkeit, mit dem das Griffigkeitsverhalten von abgestreuten Asphaltdeckschichten vorhergesagt werden kann.

Entwickelt wurden ein empirisches Modell zur Prognose der Reibwertentwicklung von Asphaltdeckschichten anhand von Mischgut- und Materialkenngrößen sowie zwei weitere Modelle, ein empirisches und ein numerisches, zur Prognose des Reibwertes auf Basis der Textur der Straßenoberfläche. Als Datenbasis für die unterschiedlichen Modelle dienen neben materialspezifischen Kenndaten der Straßenbaustoffe sowie der, bei Messungen dieser Art meist eingesetzten, Gummis vor allem die Ergebnisse aus Reibwertermittlungen und Griffigkeitsprognosen mit dem Prüfverfahren nach

Wehner/Schulze. Hinzu kommen Texturdaten und daraus abgeleitete Texturkenngrößen.

Untersucht wurden verschiedene Mischgutvarianten, die sich primär hinsichtlich der Deckschichtmischgutart, der Bindemittelart und -sorte, der Gesteinsart, des Größtkorns und der Sieblinie unterschieden. Als Mischgutarten kamen Asphaltbeton (AB) und Splittmastixasphalt (SMA) mit einem Größtkorn von jeweils 8 mm und 11 mm zum Einsatz. Bei der Auswahl der Gesteine wurde der im Straßenbau relevante Polierresistenzbereich berücksichtigt. Zur Anwendung kamen ein Basalt mit einem PSV von 49 (PSV: engl.: Polished Stone Value – Kennzahl zur Bestimmung des Polierwiderstandes nach DIN EN 1097-8; s. a. Kapitel 5.3.3), ein Gabbro und ein Diabas (PSV jeweils 54) sowie eine Grauwacke, die einen PSV von 58 aufwies. Die Mischgutarten Asphaltbeton und Splittmastixasphalt wurden mit einem Straßenbaubitumen 50/70 (AB) bzw. mit einem Polymermodifizierten Bitumen PmB 45 A (SMA) hergestellt. Zur Bestimmung des Einflusses des Bindemittels insbesondere auf die Anfangsgriffigkeit als auch auf die Griffigkeitsentwicklung (auch unter Berücksichtigung der Einbindung des Abstumpfungssplittes in die Oberfläche) wurden für den Splittmastixasphalt für ausgewählte Varianten zusätzlich die Straßenbaubitumen 30/45 (entspricht nicht den Anforderungen der ZTV Asphalt-StB 01) und 50/70 eingesetzt. Beim Asphaltbeton wurde darüber hinaus auch noch die Korngrößenverteilung (grob, mittel, fein) variiert.

Die Herstellung der Laborprobekörper erfolgte mittels eines Walzsektorverdichters. Die Probekörperoberflächen wurden zur Erzielung einer praxisadäquaten Oberfläche unmittelbar nach der Verdichtung mit $0,7 \text{ kg/m}^2$ Abstumpfungsmaterial (Körnung 1/3 mm) beaufschlagt, das Material wurde anschließend im Walzsektorverdichter kraftgeregelt angedrückt. Das zur Abstumpfung verwendete Gestein entsprach dem des Mineralstoffgemisches des Mischgutes.

Die Prüfung der Probekörper mit dem Wehner/Schulze - Verfahren erfolgte in zwei Versuchsreihen. In der ersten Versuchsreihe wurden 2 x 90.000 Überrollungen mit zwischenzeitlichem Sandstrahlen aufgebracht, was dem an der TU Berlin (TU BERLIN, 2001) entwickelten Prüfablauf entspricht (siehe Kapitel 5.3.1). Dabei wurden allerdings innerhalb der ersten 90.000 Überrollungen weitere Griffigkeitsmessungen durchgeführt. Im Rahmen der zweiten Versuchsreihe wurden neben den polierenden Beanspruchungen mit der Prüfanlage Wehner/Schulze auch Beanspruchungen aus Witterungseinflüssen mittels zyklischer Frost-Tau-Wechsel (FTW) unter Zugabe von Natriumchlorid in einer Klimakammer simuliert. Die Asphaltproben wurden 4 Zyklen à 10 FTW ausgesetzt, poliert wurde hier insgesamt bis 190.000 Überrollungen. Bei beiden Versuchsreihen wurden nach jeder Belastungsstufe sowohl Texturmessungen als auch Griffigkeitsmessungen durchgeführt.

Neben den Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose an den Asphaltoberflächen wurde auch das Polierverhalten (PSV und PWS) der verwendeten Gesteinskörnungen ermittelt.

Ergebnisse

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die in den einzelnen Beanspruchungsstufen gemessenen Reibwerte für alle Deckschichtvarianten einem prinzipiell gleichartigen Verlauf folgen. Von einem anfänglichen Reibwertmaximum (Anfangsgriffigkeit) nimmt der Reibwert kontinuierlich bis zum Erreichen der ersten 90.000 Überrollungen ab, steigt durch das Sandstrahlen stark an und erreicht nach weiteren 90.000 Überrollungen sein Minimum. Dieses Minimum liegt unterhalb des Wertes vor dem Sandstrahlen und fügt sich damit gut in den über diese Werte extrapolierten Kurvenverlauf ein. Die Kurve selbst nähert sich dabei offenbar asymptotisch einem Grenzwert an. Auch wenn hierbei trotz des Sandstrahlens ein weiterer, stärkerer, Abfall festgestellt wurde, so zeigen versuchsweise durchgeführte Vergleichsuntersuchungen von Probekörpern mit und ohne Sandstrahlen doch einen aufrauenden Einfluss beim Vergleich der Werte nach 180.000 Überrollungen.

Im Mittel über alle untersuchten Asphaltprobekörper liegen die Reibwerte für die Asphaltbetone höher als die der Splittmastixasphalte, zeigen aber in ihrer Tendenz eine nahezu parallele Entwicklung. Interessant ist dabei der Verlauf der Standardabweichung als Maß für die Streuung zwischen den jeweils gemittelten Einzelreibwerten einer Deckschichtart. Diese steigt mit der Anzahl der Überrollungen sukzessive an, zunächst stärker, im weiteren Verlauf etwas schwächer. Dies zeigt, dass sich im Laufe der Polierbeanspruchung die einzelnen Asphaltmischungen unterschiedlich verhalten. Spielt die Mischungszusammensetzung am Anfang noch eine geringere Rolle für die Höhe des Reibwertes, so wird der „Endreibwert“ offensichtlich stärker von den Entwurfparametern beeinflusst. Im Weiteren wurden somit die einzelnen Entwurfsgrößen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Reibwert mittels einer stufenweisen Varianzanalyse genauer analysiert.

Schlussfolgerungen

Es konnte gezeigt werden, dass neben der Deckschichtart (AB, SMA) lediglich das verwendete Gestein einen signifikanten Einfluss auf den Reibwert besitzt, der sich gleichermaßen in Asphaltbeton- als auch in Splittmastixasphaltdeckschichten auswirkt. Die übrigen einbezogenen Entwurfsgrößen erwiesen sich unter den vorliegenden Prüfbedingungen als nicht signifikant und blieben somit im Modell unberücksichtigt.

Als geeigneter Indikator zur Charakterisierung der griffigkeitsrelevanten Eigenschaften der Gesteine erwies sich der Polierwert Wehner/Schulze, der sich gegenüber

dem PSV durch eine höhere Wiederholgenauigkeit und eine breitere Anwendbarkeit auszeichnet.

Das im Rahmen dieses Projektes erstellte Prognosemodell stützt sich maßgeblich auf die Reibwerte nach 90.000 bis 180.000 Überrollungen. Auf die Frage welcher Anzahl an Achslastübergängen bzw. welcher Liegedauer diese Zahl an Polierübergängen gleichzusetzen ist, konnte noch keine zufriedenstellende Antwort gegeben werden.

Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass, auch wenn die polierende Wirkung der Fahrzeugreifen durch die abrollenden Gummiwalzen im Wehner/Schulze-Prüfstand recht gut simuliert wird, andere auf der Straße stattfindende Prozesse weitgehend unberücksichtigt bleiben. Genannt werden hierzu insbesondere Veränderungen der Makrotextur durch Kornumlagerungseffekte, wie sie sich z. B. durch eine Nachverdichtung infolge hoher Verkehrslasten ergeben können. Unter derartigen Beanspruchungen würden sich möglicherweise weitere Entwurfsgrößen, wie beispielsweise das verwendete Bindemittel, als griffigkeitsrelevant herausstellen.

4.1.4 Schlussfolgerungen zur Vorgehensweise bei der Griffigkeitsprognose

Aus den Ergebnissen aller dargestellten Projekte kann geschlussfolgert werden, dass einerseits eine Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze grundsätzlich möglich ist, andererseits mit einer gewissen Sicherheit nur Endgriffigkeiten, nicht jedoch Griffigkeitsverläufe vergleichbar zum Verhalten in situ angegeben werden können. Im Weiteren deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Polierwirkung durch die Polieranlage Wehner/Schulze so stark ist, dass bereits nach einigen tausend oder zehntausend Überrollungen die Polierwirkung durch den Verkehr nach mehreren Jahren erreicht wird. Insbesondere auch in diesem Zusammenhang wird deutlich, dass es von hoher Wichtigkeit ist, auch die Einwirkungen aus Witterungseinflüssen sowie nach Möglichkeit des Alterungsverhaltens zu berücksichtigen. Dies wird ebenfalls durch die Ergebnisse der Forschungsprojekte bestätigt, wobei die verschiedenen Ansätze zur Berücksichtigung von Witterungseinflüssen unterschiedlich aussagekräftige Ergebnisse lieferten und kein Ansatz bereits zu einer ausreichend belastbaren Vorgehensweise führte. Ein weiterer bisher unberücksichtigt gebliebener Punkt ist eine mögliche Veränderung der Makrotextur durch Kornumlagerungseffekte, beispielsweise durch eine Nachverdichtung infolge hoher Verkehrslasten.

Weiterhin kann aus den Ergebnissen der SKM-Messungen gegenüber den PWS-Werten gefolgert werden dass sich die Auswertung aufgrund der stärkeren Streuun-

gen bei den 1 m-Werten eher auf die 100 m–Werte und die 20 m–Werte beziehen sollte.

Hinsichtlich einer, inhaltlich offensichtlich hilfreichen, möglichen Berücksichtigung von Texturkennwerten zur Charakterisierung von Oberflächeneigenschaften können die Ansätze aus den Forschungsprojekten aufgegriffen werden. Insgesamt bleibt in diesem Bereich aber die weitere Entwicklung abzuwarten.

Zusammenfassend muss konstatiert werden, dass sich die gewählten Vorgehensweisen nur teilweise auf offenporigen Asphalt übertragen lassen.

Das Vorgehen zur Griffigkeitsprognose von offenporigen Asphalten im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wird in Kapitel 5.3.1 detailliert beschrieben.

4.1.5 Einbeziehung von Verkehrsbelastungszahlen in die Auswertungen zur Griffigkeitsprognose

Aus der u. a. im Projekt (WÖRNER, T.; WENZL, P., 2008) erfolgten orientierenden Einbeziehung der Verkehrsbelastungszahlen in die Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose ist abzuleiten, dass vor allem die polierende Wirkung des Schwerverkehrs die Griffigkeit beeinflusst. Da ein wesentliches Element bei den hier durchgeführten Untersuchungen der Vergleich der Griffigkeitswerte unterschiedlicher Fahrstreifen ist, ist eine Aussage über die Verteilung des Schwerverkehrs über die Fahrstreifen zur Beurteilung der Ergebnisse notwendig. In der nachfolgenden Tabelle 5 ist der Schwerverkehrsanteil auf dem 1. und 2. Fahrstreifen von Autobahnen am Beispiel der BAB A93 und der BAB A5 wiedergegeben.

Tab. 5: Kraftfahrzeug- und Schwerverkehrsanteil auf dem 1. und 2. Fahrstreifen von Autobahnen am Beispiel der BAB A93 und der BAB A5 (Basis: automatische Zählstelle, Erhebung 2004)

Strecke			1. Fahrstreifen	2. Fahrstreifen
BAB A93		Kfz	8513	10400
		SV	3417	142
		SV [%]	96 %	4 %
BAB A5 FR Karlsruhe		Kfz	14.469	18.515
		SV	6.793	207
		SV [%]	97 %	3 %
BAB A5 FR Basel		Kfz	15.732	18.073
		SV	7.188	429
		SV [%]	94 %	6 %

Es wird deutlich, dass der weit überwiegende Anteil des Schwerverkehrs (> 95 %) trotz zwischenzeitlicher Überholvorgänge auf dem 1. Fahrstreifen zu finden ist. Bei der Beurteilung der Höhe der Griffigkeitswerte auf dem 2. Fahrstreifen kann somit, zumindest bei zweistreifigen Richtungsfahrbahnen und freier Strecke, von höchstens geringem Einfluss aus dem Schwerverkehr ausgegangen werden.

Demgegenüber ist das Fahrverhalten des Schwerverkehrs bei einer dreistreifigen Richtungsfahrbahn, wie in Tabelle 6 beispielhaft für die BAB A2 und A8 dargestellt, anders. Der 1. Fahrstreifen wird gemittelt von ca. 80 % und der 2. Fahrstreifen von ca. 20 % des Schwerverkehrs genutzt. Dies ist bei der Beurteilung der Griffigkeitswerte zu berücksichtigen.

Tab. 6: Kraftfahrzeug- und Schwerverkehrsanteil auf dem 1., 2. und 3. Fahrstreifen von Autobahnen am Beispiel der BAB A2 und A8 (Basis: automatische Zählstelle, Erhebung 2004)

Strecke			1. Fahrstreifen	2. Fahrstreifen	3. Fahrstreifen
BAB A2		Kfz	11.358	15.344	12.913
		SV	6.827	2.041	65
		SV [%]	76%	24%	0,7%
BAB A8		Kfz	9.976	14.419	9.559
		SV	4.425	628	39
		SV [%]	87%	12%	0,7%

4.2 SKM-Messungen

4.2.1 Messsystem SKM zur Bewertung der Griffigkeit einer hergestellten Oberfläche

Zur Messung der Griffigkeit von Straßenoberflächen wird ein Gummikörper über die zu prüfende Straßenfläche bewegt und der Widerstand, den der Gummikörper dabei erfährt, gemessen und zur Normalkraft ins Verhältnis gesetzt. Der so erhaltene Wert ist der Reibungskoeffizient, eine Zahl, die in der Regel kleiner Null ist. Die Gummireibung bzw. die Reibung elastischer Körper ist ungleich der Reibung starrer Körper und kann daher nicht durch das Coulombsche Gesetz erklärt werden.

Das in Deutschland für die Messung der Griffigkeit von Bundesfernstraßen eingesetzte Messsystem SKM (Seitenkraftmessverfahren, vgl. Abbildung 3) nutzt für die Erzeugung der Reibung den Schräglauf eines Messrades, das in einem Winkel von 20° an einem schnellfahrenden Messfahrzeug angebracht ist. Durch die Schrägstellung unter Last wird die Aufstandsfläche des Messreifens in die Fahrtrichtung des Messfahrzeuges verwunden. Für diese Verwindung in der Aufstandsfläche des Reifens wird Kraft benötigt, die durch den Reibvorgang erzeugt wird, die über die Radnabe auf die Aufhängung des Messrades wirkt und die letztlich über die Bewegung des Messfahrzeuges abgebaut wird. Direkt in der Anlenkung des Messrades wird diese Seitenkraft ermittelt. Das Verhältnis der gemessenen Seitenkraft am Messrad zur Radlast des Messrades ergibt das Ergebnis der Reibmessung, den Reibbeiwert für das SKM-System (Seitenkraftbeiwert μ_{SKM}) (KAMPLADE, 1984).



Abbildung 3: Messsystem SKM

Aus fahrzeugtechnischer Sicht sind Reibvorgänge auf trockenen Fahrbahnen unproblematisch, da für die Seitenführung und die Bremsung eines Fahrzeuges ausreichende Griffigkeit zur Verfügung steht. Durch das Zwischenmedium Wasser wird die

Kraftübertragung zwischen Gummi (Reifen) und Fahrbahnoberfläche beeinträchtigt, d. h. die Bremswege werden länger und die möglichen Kurvengeschwindigkeiten sinken.

Für die Bestimmung des Kraftschlusses bei nassen Straßen haben sich sowohl der Straßenbau als auch die Fahrzeugtechnik auf eine rechnerische Wasserfilmhöhe von 0,5 mm verständigt. Diese Höhe reicht aus, um die Besonderheiten der Nassbremsung darzustellen und ist gleichzeitig auch niedrig genug, um den Reibvorgang zu beurteilen und ein Aufschwimmen des Reifens zu vermeiden, weil bei diesem Vorgang, dem Aquaplaning, nur noch Scherkräfte zwischen der Gummi- und der Wasseroberfläche auftreten (Eigenschaften der Fahrbahn könnten bei diesem Zustand nicht mehr beurteilt werden). Die Messung muss bei möglichst gleichförmiger Bewegung (konstante Geschwindigkeit) erfolgen, weil die Reibkraft nicht geschwindigkeitunabhängig ist.

Für die Griffigkeitsmessungen mit dem SKM wird ein genormter, profilloser Reifen verwendet, weil durch ein Reifenprofil die Verhältnisse in der Reifenaufstandsfläche beeinflusst würden (Beeinflussung von der Art, Höhe und Kantigkeit des Reifenprofils und daher von dem Verschleiß der Lauffläche abhängig). Somit kann die Verzahnung des Reifens mit der Fahrbahn sowie das Fahrbahnpotential zur Ableitung des Wassers beurteilt werden.

Die Messungen erfolgen bei 40, 60 und 80 km/h (i.d.R. 40 km/h innerorts, 60 km/h außerorts, 80 km/h BAB). Bei den niedrigen Geschwindigkeiten wird die Griffigkeit in erster Linie durch die vorhandene Mikrorauheit bestimmt. Durch lokale Druckspitzen zwischen den Reifen und der Mikrorauheit der Straßenoberfläche wird der Wasserfilm durchbrochen, so dass somit weiterhin eine molekulare sowie formabhängige Haftung zwischen Reifen und Fahrbahn ermöglicht wird. Der Gleitreibungswert ist somit vom Drainagevermögen weitestgehend unabhängig und wird maßgeblich nur von der Art und Ausbildung der Mikrorauheit bestimmt (MAURER, 2007). Mit steigender Fahrgeschwindigkeit sinkt die dem System Reifen-Fahrbahn zur Verfügung stehende Zeit, um das in der Kontaktfläche vorhandene Wasser zu verdrängen, um so der Mikrorauheit einen Kontakt mit dem Gummimaterial des Reifens zu ermöglichen. Somit gewinnt die Makrorauheit, die durch ihre Drainagewirkung die Griffigkeit beeinflusst (Kanalisation und Einlagerung von Wasser, jedoch nicht Durchbrechen des Wasserfilms (vgl. Mikrorauheit)), bei hohen Geschwindigkeiten an Bedeutung.

Die Festlegung der Anforderungswerte an die Griffigkeit von Straßenoberflächen mit dem Messsystem SKM erfolgte auf Basis der Ersterfassung der Zustandserfassung und -bewertung der Bundesautobahnen und Bundesstraßen (ZEB) im Jahre 1991. Da die Festlegungen somit alle Bauweisen beinhalteten, gibt es traditionell keinen Bewertungshintergrund für einzelne Bauweisen. So wurde auch für den offenporigen

Asphalt (OPA) kein bauweisenspezifischer Bewertungshintergrund für das Messsystem SKM ermittelt.

4.2.2 SKM-Messungen auf offenporigen Fahrbahnbelägen

Ein Charakteristikum von offenporigen Belägen ist das unmittelbare Wegführen des Wassers auf der Fahrbahnoberfläche (miteinander verbundene Hohlräume). Die Messungen mit dem Messsystem SKM werden mit der gleichen definierten Wassermenge durchgeführt, wie auf allen anderen Belägen. Die ermittelte Wasserzufuhr zum Erreichen des rechnerischen Wasserfilms von 0,5 mm ist bei offenporigen Belägen jedoch nicht ausreichend, weil das Wasser infolge der offenporigen Oberfläche und des hohen Hohlraumanteils unmittelbar von der Oberfläche weggeführt wird. Die Fahrbahnoberfläche wird somit nur angefeuchtet (keine geschwindigkeitsabhängige Zunahme von Wasser in der Kontaktfläche).

Hieraus leitet sich die Theorie ab, dass der Annäherungsgrad der Fahrbahnoberfläche bei den SKM-Messungen bei offenporigen Belägen für alle Messgeschwindigkeiten gleich ist und somit bei diesem Messsystem die Griffigkeitsmesswerte nahezu geschwindigkeitsunabhängig sind.

Das Messsystem SKM ermittelt immer eine Mischung aus der Bewertung der Mikrorauheit und der Makrorauheit. Die jeweilige Gewichtung resultiert aus der Messgeschwindigkeit. Aufgrund des großen Hohlraumgehaltes erfolgt der Kontakt zwischen Fahrbahn und Reifen bei offenporigen Belägen nur über die Gesteinsspitzen. Diese Kontaktfläche ist im Vergleich zu den Regelbauweisen (Splittmastixasphalt, Gussasphalt, Asphaltbeton, Beton) sehr gering. Um eine ausreichende Griffigkeit zu gewährleisten, muss neben der bei offenporigen Belägen vorhandenen Grobrauheit auch die Mikrotextur ausgeprägt sein. Diese ist bei offenporigen Belägen hauptsächlich für das Kraftschlusspotential zwischen Reifen und Fahrbahn zuständig, denn nur durch sie kann bei einer reduzierten Kontaktfläche (Reifenkontakt erfolgt hauptsächlich über Gesteinsspitzen) eine hinreichend gute Verzahnung zwischen Reifen und Fahrbahn stattfinden.

5 Untersuchungsprogramm

5.1 Auswahl der Untersuchungsstrecken

Das grundsätzliche Vorgehen bei der Auswahl der zu untersuchenden Strecken wurde bereits in Kapitel 3 dargestellt. Für die Untersuchungen sollten Strecken ausgewählt werden, die bereits mehrere Jahre unter Verkehr lagen, so dass auf vorhandene Daten zurückgegriffen werden konnte. Im Weiteren wurden bevorzugt Strecken ausgewählt, die zur Erneuerung anstanden, da sich hier umfangreichere Untersuchungsmöglichkeiten, beispielsweise bezüglich von Bohrkernentnahmen, ergaben.

In Zusammenarbeit mit den beteiligten Bundesländern Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wurden die vorhandenen Strecken hinsichtlich der unterschiedlichen Zielsetzungen der Untersuchungen analysiert und Bewertungskriterien für die auszuwählenden OPA-Strecken erarbeitet. Berücksichtigung fanden dabei beispielsweise die Liegedauer und die Verkehrsbelastung, insbesondere auch durch den Schwerverkehr, das Unfallgeschehen, die Bauweise, die verwendeten Gesteine, vor allem auch hinsichtlich des PSV, die eingesetzten Bindemittel sowie auch Entwurfselemente wie Ausfahrten und Kreuze. Daneben war auch die generelle Datenlage von hoher Bedeutung z. B. hinsichtlich bisheriger Untersuchungsergebnisse aus Eignungsprüfungen, Kontrollprüfungen und weiteren Messungen, vor allem zu Untersuchungen der Griffigkeit mittels SKM und SRT-Pendel. Die Strecken speziell für die Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens wurden gesondert ausgewählt (siehe Kapitel 5.5).

Ausgangspunkt der Untersuchungen waren OPA-Strecken auf der BAB A5 und der BAB A8 in Baden-Württemberg, die zu Beginn des Projektes mit einer Liegezeit von ca. 8 Jahren ausgebaut wurden so dass die Entnahme und Untersuchung einer Vielzahl von Bohrkernen möglich war. Auch lagen von diesen Strecken eine Reihe von SKM- und SRT-Werten vor, die im Hinblick auf die Entwicklung des Griffigkeitsverhaltens ausgewertet werden konnten.

Im Ergebnis wurden insgesamt 10 Streckenabschnitte der Autobahnen BAB A2, BAB A5, und BAB A8 sowie der Bundesstraße B36 in das Untersuchungsprogramm des ersten Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ einbezogen. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die ausgewählten Strecken inklusive ihrer Lage, Bauweise, Liegedauer und der verwendeten Materialien.

Tab. 7: Ausgewählte OPA-Strecken, Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ (EOS = Elektroofenschlacke, CTS = Gummibitumen)

Strecke	Fahrtrichtung	Bauweise	Stationierung (km)	Baujahr	Gestein	Bindemittel
A2 Bad Nenn-dorf	FR Dortmund	OPA 0/8	250,350-253,500	1998	Gabbro	Cari-phalte
A5 Rastatt	FR Basel	OPA 0/8	648,100-652,900	2004	EOS	CTS
A5 Rastatt	FR Karlsruhe	OPA 0/8	651,000-648,100	2003	50% EOS/ 50% Moräne	CTS
A5 Baden Ba-den	FR Karlsruhe	OPA 0/8	653,500-653,900	1997	EOS	CTS
A5 Baden Ba-den	FR Karlsruhe	OPA 0/8	653,900-654,800	1997	Moräne	CTS
A5 Baden Ba-den	FR Karlsruhe	OPA 0/8	654,800-655,800	1997	Quarz-porphyr	CTS
A8 Karlsbad	FR Karlsruhe	OPA 0/8	260,500-264,040	1998	Gabbro	CTS
A8 Pforzheim	FR Karlsruhe	OPA 0/11	245,450-241,500	1999	Syenit	CTS
B36 Rheinstet-ten	FR Rastatt	OPA 0/11	1,000	1997	Diorit-Porphyr	CTS

In der nachfolgenden Abbildung 4 ist die Lage der Strecken zur besseren Übersicht auch bildlich dargestellt.

In Anhang 1 ist darüber hinaus eine Übersicht über die unterschiedlichen Abschnitte und die jeweils eingesetzten Gesteinsarten in der BAB A5 enthalten. Hier kamen in aneinander anschließenden und somit von vergleichbarer Verkehrsbelastung betroffenen Abschnitten unterschiedliche Gesteinsarten zum Einsatz, weshalb die BAB A5 bei den Untersuchungen eine Sonderstellung einnimmt.

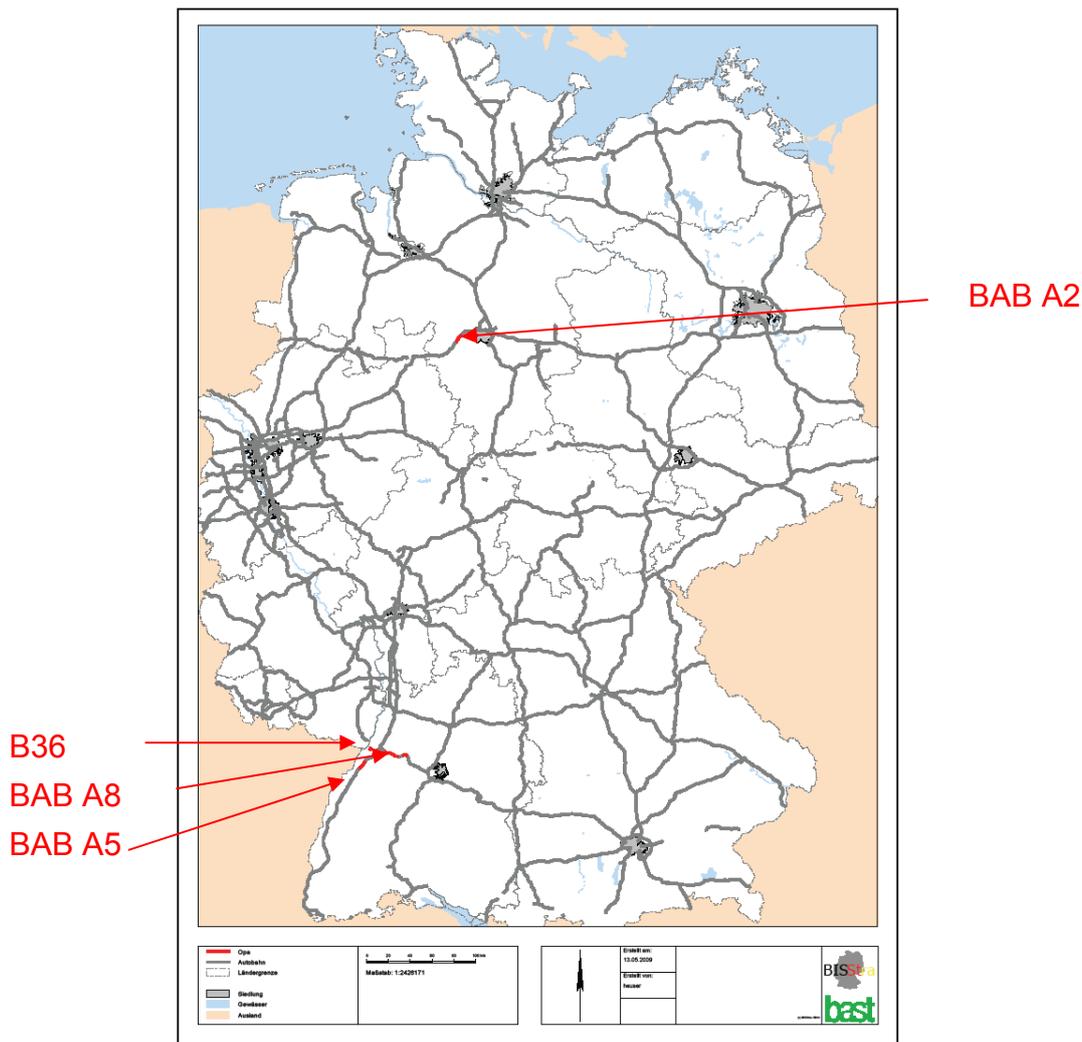


Abbildung 4: Lage der OPA-Strecken, Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“

An allen Untersuchungsstrecken wurden Bohrkerne (\varnothing 225 mm) aus unterschiedlichen Fahrstreifen entnommen. Dabei konnten, je nach Untersuchungsmöglichkeiten, Bohrkerne aus dem Standstreifen (StS) und aus bis zu drei Fahrstreifen (FS) entnommen werden. Bei den Fahrstreifen wurde zusätzlich zwischen einer Entnahme aus der rechten Rollspur (RO) sowie in der Mitte der Rollspuren (MIRO) variiert. Hierdurch wird, unter Einbezug der unterschiedlichen Verkehrsbelastungszahlen je Fahrstreifen, eine vergleichende Bewertung sowie im Weiteren eine Korrelation mit den Ergebnissen aus der Griffigkeitsprognose ermöglicht.

Die nachfolgende Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die Entnahmestellen und die Anzahl der Bohrkerne bei den einzelnen Strecken. Die genauen Bohrkerntnahmestellen sind in den Anhängen 2 bis 5 wiedergegeben.

Tab. 8: Entnahmestellen und Anzahl der Bohrkerne OPA-Strecken, Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“

Strecke	Gestein	Bauweise	Entnahmestellen	Anzahl Bohrkerne
A2 Bad Nenndorf	Gabbro	OPA 0/8	2. FS, 3. FS (RO + MIRO)	6/6
A5 Rastatt	EOS	OPA 0/8	StS 1. FS (RO + MIRO)	3 6
A5 Rastatt	50% EOS/ 50% Moräne	OPA 0/8	StS 1. FS (RO + MIRO)	3 6
A5 Baden Baden	EOS	OPA 0/8	StS 1. FS, 2. FS, 3. FS (RO + MIRO)	3 6 / 6 / 6
A5 Baden Baden	Moräne	OPA 0/8	StS 1. FS, 2. FS, 3. FS (RO + MIRO)	3 5 / 6 / 6
A5 Baden Baden	Quarz- porphyr	OPA 0/8	StS 1. FS, 2. FS, 3. FS (RO + MIRO)	3 5 / 6 / 6
A8 Karlsbad	Gabbro	OPA 0/8	StS	3
A8 Pforzheim	Syenit	OPA 0/11	StS 1. FS, 2. FS, 3. FS (RO + MIRO)	2 6 / 6 / 5
B36 Rheinstetten	Diorit- Porphyr	OPA 0/11	1.FS, 2.FS (RO + MIRO)	6/6

5.2 Messungen in situ

Wie in Kapitel 3 kurz beschrieben, kamen zur messtechnischen Erfassung der Strecken eine Reihe unterschiedlicher Messverfahren zum Einsatz. Auf den Strecken selbst wurden SKM-Messungen, SRT-Messungen sowie Messungen der Textur durchgeführt, die in den folgenden Kapiteln näher erläutert sind.

5.2.1 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

Das Seitenkraftmessverfahren (SKM, früher SCRIM) ist ein mobiles, schnellfahrendes Verfahren zur Griffigkeitsmessung, welches mit schräglauflendem Rad arbeitet, was zu einem seitlichen Schlupf des Messrades führt. Der Quotient aus der Seitenkraft, die zwischen Reifen und angrenzender Fahrbahnoberfläche aktiviert wird, und der Normalkraft ergibt den Seitenkraftbeiwert μ (FGSV-TP GRIFF, SKM, 2007). In Deutschland werden SKM-Messungen bei Standardgeschwindigkeiten von 40 km/h, 60 km/h oder 80 km/h durchgeführt. Die Messungen erfolgen für 20 m-Abschnitte, wobei fünf 20 m-Werte zu einem Mittelwert für einen 100 m-Abschnitt zusammengezogen werden. Die Mittelwertbildung erfolgt nach Temperatur- und Geschwindigkeitskorrektur.

Das Messverfahren wurde für die Durchführung der Messungen im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) der Bundesfernstraßen Anfang der 1990er Jahre ausgewählt und ist seitdem hierfür im Einsatz.

In Abbildung 3 (Kapitel 4.2.1) ist das Messfahrzeug der BAST dargestellt, Abbildung 5 zeigt als vergrößerten Ausschnitt die eigentliche Messeinrichtung, Abbildung 6 den Messbildschirm, auf dem während der Messfahrt alle relevanten Daten angezeigt werden.



Abbildung 5: SKM BAST, Messeinrichtung



Abbildung 6: SKM BAST, Messbildschirm

Zwar ist bislang, wie einleitend beschrieben, kein Bewertungshintergrund hinsichtlich der Griffigkeit speziell für offenporige Asphaltdeckschichten erstellt worden. Dennoch ist die Messung mit dem SKM auf OPA sowohl im Rahmen der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) als auch für bauvertragliche Prüfungen normaler Bestandteile der allgemein vorgeschriebenen Messroutine.

5.2.2 SRT-Messungen

Beim SRT-Pendel (SRT, engl.: Skid Resistance Tester) handelt es sich um ein stationäres, tragbares Handgerät zur Griffigkeitsmessung, das auf angelegter Fahrbahnoberfläche verwendet wird. Ein Gummiquader schwingt hierbei unter definierten Bedingungen über die Fahrbahnoberfläche. Das Maß für die Griffigkeit ist der Verlust an potentieller Energie, den das Pendel durch das Gleiten über die Oberfläche erfährt (FGSV-TP GRIFF, SRT, 2004). Das vollständige Durchschlagen des Pendels entspricht einem SRT-Wert von 0, d.h., je höher der SRT-Wert ist, desto größer ist die Griffigkeit. In Deutschland wurde das Gerät 1972 in Kombination mit dem weiterentwickelten Ausflussmesser nach Moore mit dem Erscheinen der „Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessung mit dem Pendelgerät und dem Ausflussmesser“ offiziell eingeführt (FGSV-SRT, AM, 1972) und hat seitdem weite Verbreitung gefunden. Mit dem gemessenen Wert wird die Mikrorauheit (Rauheit bis zu einer Größenordnung von 1/100 mm) der Fahrbahnoberfläche bewertet. Die Gleitgeschwindigkeit des Gummis beträgt ca. 10 km/h. Die Makrorauheit und somit das Drainagevermögen wird mit dem Ausflussmesser nach Moore erfasst.

In Abbildung 7 ist das SRT-Pendel bildlich dargestellt, in Abbildung 8 auch in situ abgebildet. Abbildung 9 zeigt eine Darstellung des Ausflussmessers.

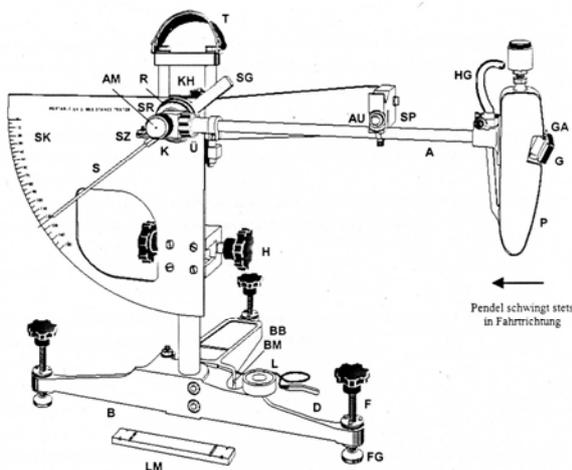


Abbildung 7: SRT-Pendelgerät



Abbildung 8: SRT-Pendelgerät in situ

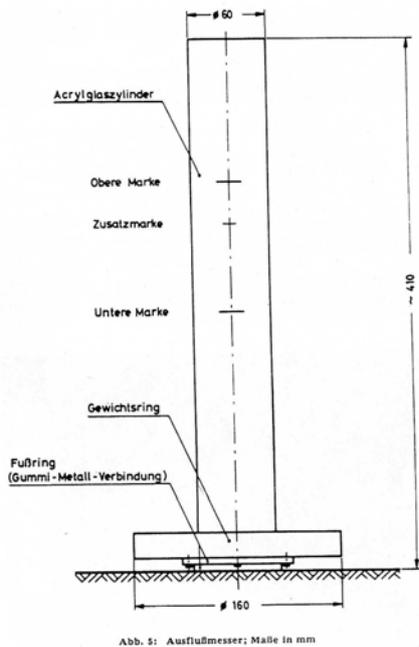


Abbildung 9: Ausflussmesser

Ein vergleichbares Pendelgerät, allerdings mit einem kleineren Gummigleitkörper ausgestattet, wird zur Messung des Polierwertes beim PSV-Verfahren im Labor eingesetzt.

5.2.3 Texturmessungen (TMF)

Das optisch messende Texturmessfahrzeug (TMF) der BAST dient der zweidimensionalen Erfassung von Oberflächentexturen im Bereich der Makro- und Megaraueheit. Auf einzelnen Strecken wurden Texturmessungen mit dem Texturmessfahrzeug (Abbildung 10) durchgeführt.



Abbildung 10: Texturmessfahrzeug TMF der BAST

Das Texturmessfahrzeug besteht im Wesentlichen aus einer Lasersonden-Konstruktion, einer Videokamera, zwei gelben Rundumleuchten sowie aus einem PC mit einer Analog-Digital-Wandlerkarte. Die Lasersonden sind an einer Aluminiumplatte (Laser 1 bei 0 m, Laser 2 bei 0,05 m und Laser 3 bei 1,0 m) befestigt, welche an der Beifahrerseite des Messfahrzeugs angebracht ist. Die Videokamera und die Rundumleuchten sind auf dem Fahrzeugdach montiert. Die Auswerteelektronik mit dem Messrechner und dem batteriegepufferten Spannungswandler sind im Kofferraum installiert. Der Monitor, die Tastatur und die Maus sind im Innenraum des Messfahrzeugs angebracht.

Das TMF- Messsystem (Abbildung 11) arbeitet nach dem Triangulationsprinzip. Die von den Lasern auf die Fahrbahnoberfläche projizierten Laserlichtpunkte beschreiben beim Abfahren der Messstrecke eine Profilkurve, welche die Textur wiedergibt. Dabei nimmt die eingebaute Videokamera den Straßenzustand auf. Der Beginn der Messungen kann sowohl intern vom Bediener, als auch durch ein externes Triggersignal mittels Reflexlichtschranke, gestartet werden. Der Rechner steuert den gesamten Messablauf und speichert die Daten.

Als Mess- und Berechnungsergebnisse dienen ein Wellenlängenspektrum als Schmalband- und Terzspektrum für die Fensterbreite von 2 m bis 32 m sowie folgende wichtigste Größen:

- Mittlere Profiltiefe (MPD),
- Feinstruktur,
- Langwellenstruktur,
- Langwellenstruktur und Feinstruktur zusammen,
- Geschwindigkeit und Berechnungsergebnisse als ASCII.

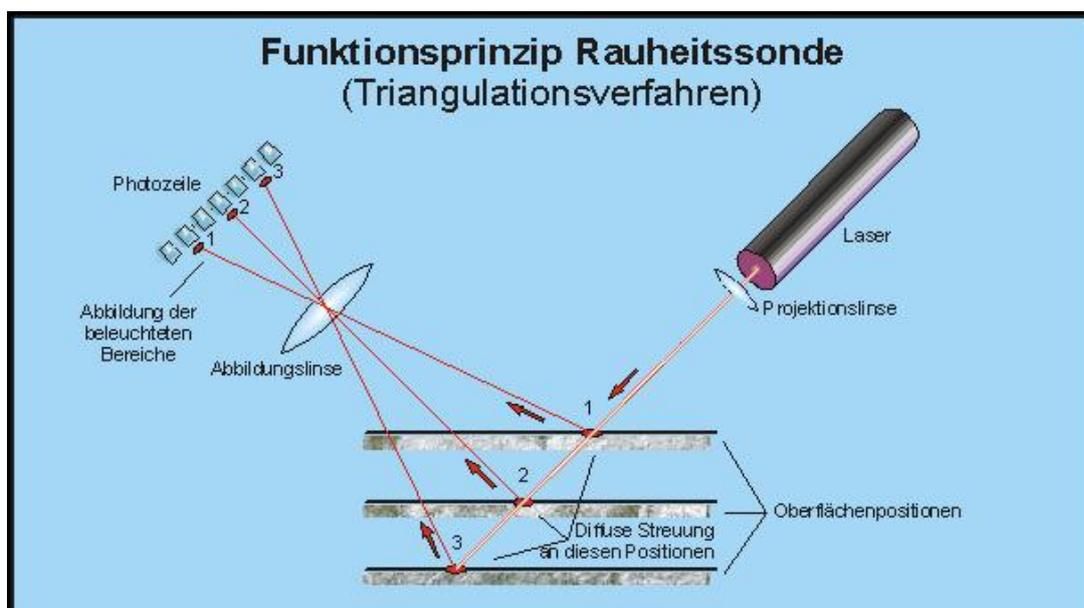


Abbildung 11: Funktionsprinzip der Rauheitssonde

5.3 Messungen im Labor

An den Bohrkernen aus den Untersuchungsstrecken wurden neben den bereits angesprochenen Messungen und Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren Wehner/Schulze sowie weitergehenden Texturmessungen auch Messungen mit dem SRT-Pendelgerät durchgeführt. Die einzelnen Verfahren und Untersuchungen werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

5.3.1 Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze

Das Prüfverfahren nach Wehner/Schulze kann zum einen zur Bestimmung des Polierwertes (PWS) von groben und feinen Gesteinskörnungen eingesetzt werden, zum anderen sind jedoch auch Prüfungen zur Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnoberflächen möglich. Der Polierwert nach Wehner/Schulze, PWS, ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit von Gesteinskörnungen gegen die polierende Wirkung von Fahrzeugreifen auf einer Straßenoberfläche.

Das Verfahren wurde in den 1960er Jahren von Prof. Dr. B. Wehner und Dr. K.-H. Schulze an der TU Berlin zur Prüfung der Polierbarkeit der Mineralstoffe und der daraus folgenden Abnahme der Griffigkeit entwickelt, stand jedoch bis zum Jahr 2002 in Deutschland nur an der TU Berlin selbst sowie bei der BASt zur Verfügung. Durch die Konzeption eines neuen, kompakten, messtechnisch präziseren und kostengünstigeren Gerätes ist eine weitere Verbreitung dieser Messeinrichtung möglich geworden, so dass derzeit innerhalb Deutschlands 12 Geräte neuer Bauart und im nahegelegenen Ausland weitere 6 Geräte im Einsatz sind (WÖRNER, T.; WENZL, P., 2008). Gerät und Verfahren werden im Folgenden näher erläutert.

Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Polierstation und einer Griffigkeitsmessstation, der Prüfablauf gliedert sich in den Poliervorgang und die Griffigkeitsmessung. Bei dem Gerät der BASt, dargestellt in Abbildung 12, ist dazwischen noch eine weitere Station zur Reinigung der Prüfkörperoberfläche im Anschluss an die Polierbeanspruchung angeordnet, die bei neueren Geräten integriert ist.



Abbildung 12: Prüfeinrichtung nach Wehner/Schulze (BAST)

Bei dem Poliervorgang wird in der Polierstation zeittraffend eine Verkehrseinwirkung auf der Prüfoberfläche simuliert. Dabei wird die polierende Wirkung durch drei, unter Schlupf laufende, konische Gummirollen, die mit einem Querprofil versehen sind, nachgeahmt. Die Polierwirkung wird durch ein Wasser-Quarzmehl-Gemisch verstärkt, das während des Versuchs kontinuierlich auf die Prüfoberfläche gefördert wird. Nach dem Poliervorgang ist die Oberfläche gründlich von Poliermittel und Abrieb zu reinigen, um verfälschende Einflüsse auf das Messergebnis zu vermeiden.

Bei der Griffigkeitsmessung werden drei mit einer Umfangsgeschwindigkeit von etwa 100 km/h rotierende Messgummis auf der bewässerten Prüfoberfläche abgebremst. Die Geschwindigkeit und die zugehörige Reibungskraft werden bis zum Stillstand aufgezeichnet. Der Polierwert PWS berechnet sich aus dem Verhältnis zwischen Reibungskraft und Aufstandskraft der Messgummis bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h (FGSV-TP GESTEIN TEIL 5.4.2, 2008). Das Griffigkeitsmessgerät stellt im Prinzip die Übertragung der Messmethode mit dem blockierten (Schlepp-)Rad („Stuttgarter Reibungsmesser“) ins Laboratorium dar. Die Messung erfolgt auf einer ebenen, kreisförmigen Prüfoberfläche (\varnothing 225 mm). In Abbildung 13 ist beispielhaft der Polierkopf mit den Polierrollen und dem mittig liegenden Auslauf für das Wasser-Quarzmehl-Gemisch, in Abbildung 14 der Messkopf mit den Messgummis dargestellt.



Abbildung 13: Polierkopf Wehner/Schulze



Abbildung 14: Messkopf Wehner/Schulze

Das grundsätzliche Vorgehen zur „Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze“ basiert auf den jahrelangen Erfahrungen der TU Berlin. Diese beziehen sich vor allem auf Untersuchungen an Fahrbahnoberflächen aus Asphaltbeton sowie aus Splittmastixasphalt. Die nachfolgend in Tabelle 9 aufgelistete Systematik ist hierzu die Standardvorgehensweise (TU BERLIN, 2001).

Tab. 9: Standardprogramm für Griffigkeitsprognose TU Berlin

Beanspruchungsstufen	
Griffigkeitsmessung im Ausgangszustand der Probe (unbehandelte, nicht vorbereitete Probe, Bohrkern aus einer Straße)	[0]
Griffigkeitsmessung nach 90.000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[1]
Griffigkeitsmessung nach Aufrauen der Oberfläche durch dosiertes Sandstrahlen	[2]
Griffigkeitsmessung nach weiteren 90.000 Überrollungen in der Poliermaschine unter konstanter Zugabe von Wasser und Quarzmehl	[3]
Griffigkeitsmessungen ohne weitere Polierbeanspruchung, bis ein konstantes Niveau erreicht ist	[4]

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 4 dargestellten und ausgewerteten Forschungsergebnisse wurde demgegenüber für die Untersuchungen zur Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnoberflächen aus offenporigem Asphalt eine veränderte Herangehensweise erforderlich. Wesentlich sind hierbei zunächst deutlich häufigere Griffigkeitsmessungen, vor allem während der ersten paar zehntausend Überrollungen. Dies ist notwendig, da zum einen in diesem Bereich häufig bereits ein starker Abfall zu beobachten ist, sowie zum anderen die bisherigen Forschungsergebnisse

darauf hindeuten, dass bereits nach einigen Tausend oder Zehntausend Überrollungen die Polierwirkung durch den Verkehr nach mehreren Jahren erreicht wird. Griffigkeitsmessungen wurden somit durchgeführt im Ausgangszustand der Probe sowie nach 4500, 7500, 15000, 22500, 30000, 45000 und 90000 Überrollungen. In diesem Zusammenhang musste auch die maximale Anzahl an Überrollungen festgelegt werden, die bisher bei 180.000 beziehungsweise bei 270.000 Überrollungen liegt. Die tatsächlich erforderliche Anzahl zur Bestimmung einer Endgriffigkeit ist jedoch noch nicht ausreichend geklärt, weshalb dieser Parameter im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen noch variiert wurde.

Schließlich sind prinzipiell auch die Einwirkungen aus Witterungseinflüssen sowie nach Möglichkeit des Alterungsverhaltens zu berücksichtigen. Da die in diesem Projektteil untersuchten Strecken jedoch schon einige Jahre unter Verkehr lagen, mithin von Einwirkungen aus natürlichen Witterungseinflüssen und Alterung betroffen sind, wurde hier auf entsprechende Möglichkeiten, wie beispielsweise zwischenzeitliches Sandstrahlen, verzichtet. Für Untersuchungen an neuen Strecken ist jedoch z. B. eine entsprechende Probenvorbereitung in Betracht zu ziehen.

5.3.2 Texturmessungen (T3D)

Das optische Texturmesssystem (T3D) der BAST dient der dreidimensionalen Messung von Oberflächenstrukturen im Bereich der Mikro- und Makrorauheit. Das stationäre Texturmesssystem (Abbildung 15) besteht aus einem Messkopf mit Mikroskopspiegelprojektor und einer Digitalkamera sowie aus einem Messrechner mit Monitor, Tastatur und Maus.



Abbildung 15: Stationäres T3D-Messsystem der BAST

Das T3D-Messsystem arbeitet nach dem Prinzip der Streifenprojektion. Der Mikrospiegelprojektor projiziert die optischen Streifen unter einem bestimmten Triangulationswinkel auf die Oberfläche des Messobjektes und die Digitalkamera nimmt ein Bild auf. Dann wird das Höhenbild aus der Lage der Streifen und dem Grauwert einzelner Bildpunkte errechnet.

Der Steuerung des Messsystems sowie der Auswertung der Messdaten dient das ODSCAD-Programm. Dieses Programm ist generell über Menübefehle mit Maus oder Tastenkombinationen entsprechend Windows-Konventionen zu bedienen. Bei den Messungen muss zunächst der Messkopf auf die Prüfoberfläche in Fahrtrichtung positioniert werden. Dann wird das Messprogramm gestartet. Nach den Messungen wird die Auswertung durchgeführt.

Als Mess- und Berechnungsergebnisse dienen eine 3D- Oberflächengrafik, ein Rauheits- und Welligkeitsprofil, eine Materialanteilskurve und die folgenden Rauheitskenngrößen für die Linien-, Stern- und Oberflächenrauheit:

Ra – Arithmetischer Mittenrauhwert,

Rz – Gemittelte Rauhtiefe

Rq (RMS) – Quadratischer Mittenrauhwert,

Rmax – Maximale Rauhtiefe,

R3z – Arithmetische Mittenrauhtiefe für die mittlere Einzelmessstrecke,

R3zm – Maximale Rauhtiefe der mittleren Einzelmessstrecke,

Rp (MPD) – Maximale Profilkuppenhöhe, *Rz/ISO* – Zehnpunkthöhe,

Rc – Mittlere Höhe (der Profilunregelmäßigkeiten),

Sm – Mittler Abstand der Profilunregelmäßigkeiten u.s.w..

Zur Weiterbearbeitung mit anderen Programmen können die Mess- und Berechnungsergebnisse als Bitmap-Datei, als ASCII-Datei oder als Text-Datei exportiert werden.

5.3.3 Bestimmung des Polierwertes PSV

Der Polierwert PSV (engl.: Polished Stone Value) ist eine Kennzahl zur Bestimmung des Polierwiderstandes von Gesteinskörnungen und wird nach DIN EN 1097-8 bestimmt (DIN EN 1097-8, 2000). Entsprechend dieser Norm wird der PSV als ein Maß für die Resistenz der geprüften Gesteinskörnung (Prüfgestein) gegen die Polierwirkung von Fahrzeugreifen ermittelt. Dabei werden Prüfbedingungen ähnlich der Beanspruchung auf der Straße erzeugt.

Die Prüfung selbst ist zweigeteilt. Nach einer sechsständigen Polierbeanspruchung der Proben in einer Schnellpoliermaschine wird an jeder Probe der Polierzustand durch Griffigkeitsmessung mit einem Pendelgerät ermittelt. Der PSV der Prüfgesteine wird anschließend ausgehend von ihren Messwerten unter Berücksichtigung der an einem Kontrollgestein ermittelten Vergleichswerte berechnet.

Zur Illustration des Prüfverfahrens ist in Abbildung 16 ein einzelner PSV-Probekörper, in Abbildung 17 das Polierprinzip und in Abbildung 18 die Schnellpoliermaschine selbst dargestellt.



Abbildung 16: PSV-Probekörper

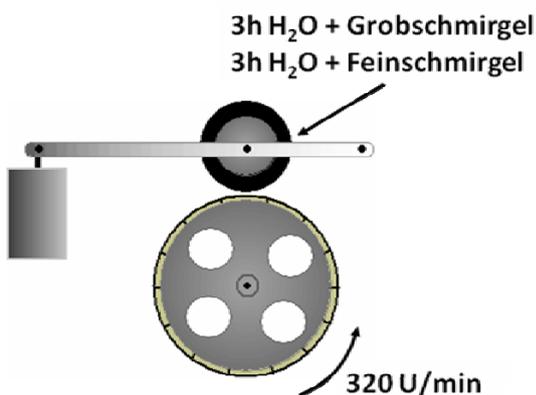


Abbildung 17: Polierprinzip PSV-Versuch



Abbildung 18: Schnellpoliermaschine PSV-Versuch

Der Polierwert PSV ist eine seit Jahrzehnten im Straßenbau verwendete Kenngröße, zu der ein umfangreicher Bewertungshintergrund existiert. Da die Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche in erheblichem Maße von dem verwendeten Gestein bestimmt

wird, werden in den Technischen Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau (FGSV–TL GESTEIN-STB 04, 2004) für Gesteinskörnungen, die in Deckschichten verwendet werden, in Abhängigkeit der Art und Sorte der Deckschicht Anforderungen an den Widerstand gegen Polieren (PSV) gestellt. Für offenporige Asphalte wird hier ein $PSV \geq 55$ gefordert. Auch bereits im Merkblatt für Offenporige Asphalte von 1998 (FGSV M OPA, Ausgabe 1998) wird die Verwendung von Gesteinskörnungen mit $PSV \geq 55$ empfohlen.

Die entsprechenden neueren Regelwerke (für Gesteinskörnungen, Asphalt und Beton) enthalten vergleichbare Anforderungen, deren Zahlenwerte aufgrund veränderter Auswertungsbedingungen nicht mehr mit den oben genannten übereinstimmen. Da die verwendeten PSV noch vor dieser Änderung bestimmt wurden, wird für die hier durchgeführten Betrachtungen der vorherige Anforderungswert ($PSV \geq 55$) zu Grunde gelegt.

5.4 Fahruntersuchungen

Ziel der Optimierung von Straßen ist die Gewährleistung eines sicheren und effizienten Straßenverkehrs, daher muss die reale Fahrzeugbremsung das Maß für die Beurteilung der Griffigkeit einer Straßenoberfläche sein.

Die im Straßenbau verwendeten Griffigkeitsmessverfahren müssen geeignet sein, lange Wegstrecken mit möglichst gleichbleibenden Eigenschaften der Messeinrichtung zu messen und dabei robuste Griffigkeitskennwerte zu liefern.

Diese Forderungen sind mit realen Fahrzeugbremsungen nicht zu leisten. Ziel einer Fahrzeugbremsanlage ist zwar, eine möglichst gleichmäßige Verzögerung über den gesamten Bremsvorgang sicher zu stellen, jedoch wirken sich kleine Veränderungen in der Straßenoberfläche bei den erzielbaren hohen Bremskräften einer - Bremsanlage mit ABV deutlich in der erzielbaren Verzögerung aus. Die Griffigkeitskoeffizienten der Fahrzeugbremsung können über die Bremsstrecke variieren und sind daher nur bedingt mit den Zustandsgrößen der Griffigkeit, die über einen Bereich von 100 m bzw. 20 m gemittelt werden, zu vergleichen.

Durch die realen Fahrzeugbremsungen können jedoch die Deckschichten ermittelt werden, die für die Fahrzeugbremsung die günstigsten Bedingungen bieten. Die dabei wichtigen Unterschiede sind dabei hauptsächlich durch die Größe der Kontaktfläche und die Gleichmäßigkeit der mit dem Reifen in Kontakt stehenden Mineralflächen gegeben.

5.5 Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens

Die Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens auf BAB-Bereichen mit offenporigen Asphaltdeckschichten wurden von Referat U2 „Unfallstatistik, Unfallanalyse“ an Hand der OPA-Streckendokumentation durchgeführt.

5.5.1 Ziel der Unfallanalyse

Im Vordergrund der Unfallanalyse steht die Frage, ob die Einführung der OPA-Deckschichten einen Einfluss auf das Unfallgeschehen auf BAB hat.

5.5.2 Methodik und Datengrundlage der Unfallanalyse

Die Untersuchung basiert auf einem Vorher/Nachher-Vergleich der OPA-Strecken. Ausgehend von dem individuellen Jahr der Inbetriebnahme jeder OPA-Strecke wurde (wenn möglich) ein dreijähriger Vorher- und ein dreijähriger Nachherzeitraum betrachtet. Das Jahr der Inbetriebnahme wurde wegen der Beeinflussung durch die Baumaßnahme aus der Untersuchung ausgeschlossen. Soweit möglich wurde die Entwicklung auf den OPA-Strecken der Entwicklung auf entsprechenden Kontrollstrecken gegenübergestellt. Diese Kontrollstrecken sollten möglichst vergleichbare Streckencharakteristika sowie ähnliche Verkehrsbelastungen aufweisen.

Grundlage der Unfallanalyse sind die Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik, die aufgrund der polizeilichen Aufzeichnungen von den Statistischen Landesämtern erhoben wurden und der BAST für Zwecke der Unfallforschung übermittelt werden. Zur Auswertung standen die U(P) (Unfälle mit Personenschaden) und U(SS) (Schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden) der Jahre 1996 bis 2007 zur Verfügung.

Die Lokalisierung der Unfalldaten und die Zuordnung zu den OPA-Strecken erfolgte über den Gemeindeschlüssel sowie über die Straßenummer, den Betriebskilometer und die Fahrtrichtung. Auf BAB enthalten rund 93% der Unfälle entsprechende Lokalisierungsinformationen und können einem Abschnitt zugeordnet werden.

5.5.3 Übersicht über OPA-Untersuchungsstrecken

Im ersten Schritt wurden die in Tab. 10 aufgeführten BAB-Strecken mit OPA-Deckschichten für eine Unfallanalyse ausgewählt. Es konnten jedoch nicht alle Strecken in die Analyse einbezogen werden, da teilweise bereits OPA-Deckschichten erneuert wurden und sich daher im verfügbaren Untersuchungszeitraum (1996-2007) kein geeigneter Vorher-Zeitraum festlegen ließ (A5, A8, A96 und Teilbereiche der A2). Teilweise wurden die Strecken erst gegen Ende des Untersuchungszeitraumes fertiggestellt, so dass kein ausreichend langer Nachher-Zeitraum zur Verfügung stand (A96 sowie Teilbereiche der A2 und A30). Diese Strecken können nach Vorliegen der Unfalldaten 2008 in die Untersuchung einbezogen werden.

Die in Tabelle 10 grau gedruckten Streckenbereiche mussten aus o. g. Gründen aus der Analyse ausgeklammert werden. Die danach insgesamt in die Unfalluntersuchung einbezogene OPA-Streckenlänge beträgt knapp 97 km.

Nicht für alle OPA-Strecken lagen geeignete Kontrollstrecken vor. Daher wurden teilweise zunächst benachbarte BAB-Strecken ausgewählt bzw. als darüber hinausgehende Kontrollstrecken die übrigen Bereiche der jeweiligen BAB-Nummer im entsprechenden Bundesland verwendet.

Die Ergebnisse der Unfallanalyse sind in Kapitel 6.7 wiedergegeben.

Tab. 10: OPA-Untersuchungsstrecken auf BAB (grau gedruckte Strecken wurden nicht ausgewertet)

lfd.Nr	BAB-Nr	Ort	Str-Typ	OPA-Bereich				Bemerkungen	
				OPA-von	OPA-bis	OPA-Länge	Inbetriebnahme		
1	1	Schwerte	U	71,50	67,45	4,05	2000		
2	1	Schwerte	U	67,45	71,50	4,05	2001		
3	1	Schwerte	U	67,45	64,37	3,08	2002		
4	1	Schwerte	U	64,37	67,45	3,08	2003		
7	1	Schwerte	VGL	64,00	54,00	10,00		Konstrollstrecke nicht offiziell bestätigt	
8	1	Schwerte	VGL	54,00	64,00	10,00			
1	2	Hannover	U	250,35	253,50	3,15	1998	- sprunghafter Anstieg der Unfälle in 2001 bis 2003, - kein Nachher-Zeitraum - kleine Fallzahlen (<10 U pro Jahr),	
2	2	Hannover	U	208,26	206,10	2,16	2006		
3	2	Hannover	U	206,10	205,90	0,20	2006		
4	2	Hannover	VGL	240,70	244,60	3,90		Konstrollstrecke offiziell bestätigt	
1	2	Hannover	U	205,90	202,64	3,26	?		
2	2	Hannover	U	202,60	205,90	3,30	?		
3	2	Peine	U	199,10	196,42	2,68	1998		
4	2	Peine	U	195,25	199,10	3,85	1998		
1	2	Peine	U	196,42	189,80	6,62	2002		
2	2	Peine	U	189,80	196,42	6,62	2002		
3	2	Peine	U	189,80	185,90	3,90	1997		
4	2	Peine	U	185,90	189,80	3,90	1998		
1	2	Braunsch.	U	175,90	169,00	6,90	2002		
2	2	Braunsch.	U	169,00	175,90	6,90	2002		
3	2	Braunsch.	U	169,70	158,00	11,70	1996-1998		
4	2	Braunsch.	U	155,00	169,70	14,70	1996-1998		
1	2	Braunsch.	U	153,71	146,74	6,97	1996-1998		
2	2	Braunsch.	U	146,74	153,71	6,97	1996-1998		
3	2	Helmstedt	U	140,50	136,00	4,50	1998-1999		
4	2	Helmstedt	U	136,00	140,50	4,50	1999		
1	2	Helmstedt	U	134,15	129,18	4,97	1998		
2	2	Helmstedt	U	129,18	134,15	4,97	1998		
3	2	diverse	VGL	202,60	134,15	45,76			Konstrollstrecke nicht offiziell bestätigt
5	3	Oberhausen	U	69,00	71,00	2,00	2001		
6	3	Oberhausen	U	71,00	69,00	2,00	2001		
7	3	Duisburg	VGL	83,00	85,00	2,00		Konstrollstrecke nicht offiziell bestätigt	
8	3	Duisburg	VGL	85,00	83,00	2,00			
9	5	Baaden-Baader	U	655,80	652,90	2,90	2005	OPA auf allen Bereichen seit 1993-1997	
10	5	Rastatt	U	652,90	651,00	1,90	2004		
11	5	Rastatt	U	651,00	648,10	2,90	2003		
12	5	Baaden-Baader	U	648,10	652,90	4,80	2004		
13	5	Baaden-Baader	U	652,90	655,80	2,90	2005		
14	8	Karlsbad	U	264,04	260,12	3,92	2005	- OPA auf beiden Richtungsfahrbahnen seit 1998/99 - keine VGL-Strecke	
15	8	Rastatt	U	260,12	264,04	3,92	2005		
16	30	Osnabrück	U	67,08	72,10	5,02	2006		
17	30	Osnabrück	U	72,10	76,90	4,80	2007		
18	30	Osnabrück	U	76,21	72,12	4,80	2005		
19	30	Osnabrück	U	72,12	67,18	5,02	2004		
20	33	Osnabrück	VGL	64,00	74,00	10,00			
21	33	Osnabrück	VGL	74,00	64,00	10,00		Konstrollstrecke offiziell bestätigt	
22	96	Landsberg	U	129,70	134,30	4,60	2006	- OPA auf beiden Richtungsfahrbahnen seit 1991 bis 1996 - kleine Fallzahlen (<10)	
23	96	Landsberg	U	134,30	139,70	5,40	2004		
24	96	Landsberg	U	139,70	133,60	6,10	2005		
25	96	Landsberg	U	133,60	129,70	3,90	2003		
26	96	Landsberg	VGL	139,76	150,00	10,24			Konstrollstrecke offiziell bestätigt
27	99	München-West	U	5,39	7,23	1,84	2005	- Änderung der Betriebskilometrierung in 2000, - kleine Fallzahlen (< 5) - keine VGL-Strecke	
28	99	München-West	U	7,23	9,89	2,66	1999		
29	99	München-West	U	9,91	10,20	0,30	1998		
30	99	München-West	U	12,79	11,63	1,16	1999		

6 Ergebnisse, Auswertung und Bewertung

6.1 Polierwerte PSV

Zur Unterstützung der Auswertung der unterschiedlichen Messwerte ist die Kenntnis der PSV der eingesetzten Gesteine von hoher Bedeutung. Da diese nicht von allen Strecken aus der Eignungsprüfung zur Verfügung standen, wurden die PSV an Material aus Rückstellproben, soweit vorhanden und damit möglich, bestimmt. In Tabelle 11 sind die Ergebnisse für die unterschiedlichen Gesteine in den Strecken wiedergegeben.

Tab. 11: OPA-Strecken, Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“, Gesteine und PSV

Strecke	Bauweise	Baujahr	Gestein	PSV von Rückstellproben
A2 Bad Nenndorf	OPA 0/8	1998	Gabbro	
A5 Rastatt	OPA 0/8	2004	EOS	60
A5 Rastatt	OPA 0/8	2003	50% EOS/ 50% Moräne	55
A5 Baden Baden	OPA 0/8	1997	EOS	60
A5 Baden Baden	OPA 0/8	1997	Moräne	54
A5 Baden Baden	OPA 0/8	1997	Quarzporphyr	53
A8 Karlsbad	OPA 0/8	1998	Gabbro	47
A8 Pforzheim	OPA 0/11	1999	Syenit	48
B36 Rheinstetten	OPA 0/11	1997	Diorit-Porphyr	52

6.2 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

Generell wurden in die Auswertung (siehe folgende Kapitel) sowohl SKM-Werte einbezogen, die für Prüfungen am Ende der Gewährleistungsfrist erhoben wurden, als auch solche, die im Rahmen der ZEB (Zustandserfassung und -bewertung von Straßen) oder zusätzlich durch die BASt gemessen wurden.

Daneben wurden jedoch umfangreiche Untersuchungen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

6.2.1 Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen

Die SKM-Messergebnisse setzen sich aus der Bewertung der Mikro- und der Makrorauheit zusammen. Abhängig von der Geschwindigkeit reagiert das Messsystem SKM verstärkt auf die entsprechende Rauheit. Bei langsamen Geschwindigkeiten hat die Mikrorauheit einen größeren Einfluss auf das Messergebnis SKM, da hier die Wirkung der Rauheit des Gesteins zum Tragen kommt. Bei den höheren Geschwindigkeiten ist der Einfluss der Makrorauheit entscheidend für die Griffigkeit des Belags (siehe Kapitel 4.2).

Aus der Literatur ist bekannt, dass bei dichten Belägen die Griffigkeit in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit abfällt (FGSV–TP GRIFF, SRT, 2004). Die Abnahme bzw. die Neigung der Kurve ist hierbei abhängig von der vorhandenen Makrotextur. Hier kommt der zuvor beschriebene Effekt zum tragen.

Da bei offenporigen Belägen das Wasser direkt von der Oberfläche weg transportiert wird, ist bei einer ordnungsgemäßen OPA-Oberfläche der Annässungs Zustand der Fahrbahn bei allen Geschwindigkeiten gleich. Es ist zu vermuten, dass aufgrund der Beschaffenheit des Belags die Messergebnisse des Messsystems SKM nicht oder nur gering geschwindigkeitsabhängig sind (siehe Kapitel 4.2).

Dieser Fragestellung wurde in einer Untersuchung im April 2005 nachgegangen. Auf der BAB A3 liegen in kurzen Abschnitten hintereinander unterschiedliche Beläge. Dies sind:

- OPA 0/8 (Andesit, Einbaujahr 2001),
- OPA 0/8 (Diabas, Einbaujahr 2003),
- Splittmastixasphalt 0/11S,
- Gussasphalt 0/11S.

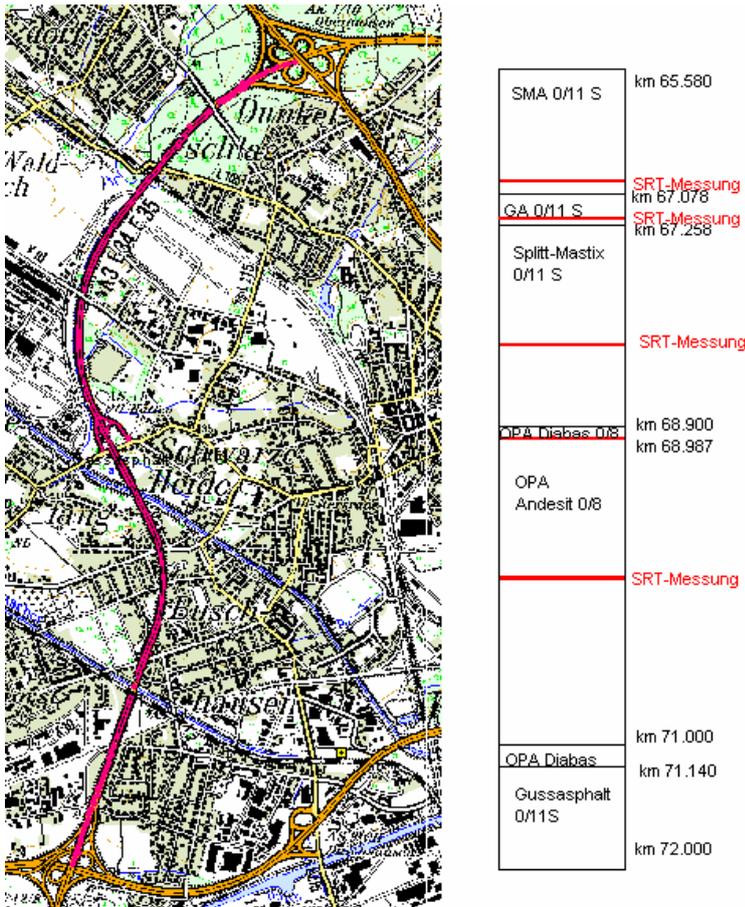


Abbildung 19: Streckenskizze BAB 3 inkl. Beläge

Auf einem gesperrten Fahrstreifen wurde diese Strecke mit der SKM in 10 km/h-Schritten von 20 km/h bis 100 km/h befahren, so dass beurteilt werden kann, ob die Beläge unterschiedliches Geschwindigkeitsverhalten zeigen. Parallel wurden SRT-Pendel und Ausflussmessungen durchgeführt, um auch hier die unterschiedlichen Bewertungsmaßstäbe der beiden Messsysteme zu dokumentieren.

Es ist ersichtlich, dass bei den unterschiedlichen Belagsarten für die jeweiligen Geschwindigkeitsbereiche ein unterschiedliches Griffigkeitsniveau erreicht wird.

Während bei den dichten Belägen eine Geschwindigkeitsabhängigkeit vorhanden ist, kann bei den offenporigen Asphalten hingegen keine bzw. eine nur sehr geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit erkannt werden. Die SKM-Werte dieser offenporigen Beläge liegen für alle Geschwindigkeiten auf einer leicht abfallenden Geraden (Abbildung 20).

Auch bei weiteren Messungen der BAST ist ersichtlich, dass auf unter Verkehr liegenden offenporigen Belägen bei Messungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten keine geschwindigkeitsabhängigen Messwerte registriert wurden. Messungen mit den drei Geschwindigkeiten gemäß ZTV Asphalt (40, 60 und 80 km/h) führen zu annähernd gleichen SKM-Messwerten. Das heißt, der theoretische Denkansatz wurde

durch die Praxisuntersuchungen bestätigt. Auch das SKM-Messsystem ist, wie die Messsysteme mit gebremstem und blockiertem Rad, nicht in der Lage, einen Griffigkeitsabfall bei zunehmender Geschwindigkeit bzw. den Griffigkeitsanstieg bei niedriger Geschwindigkeit zu erfassen. Bei diesen dynamischen Systemen hat somit die Makrotextur einen wesentlichen Anteil an dem Messergebnis.

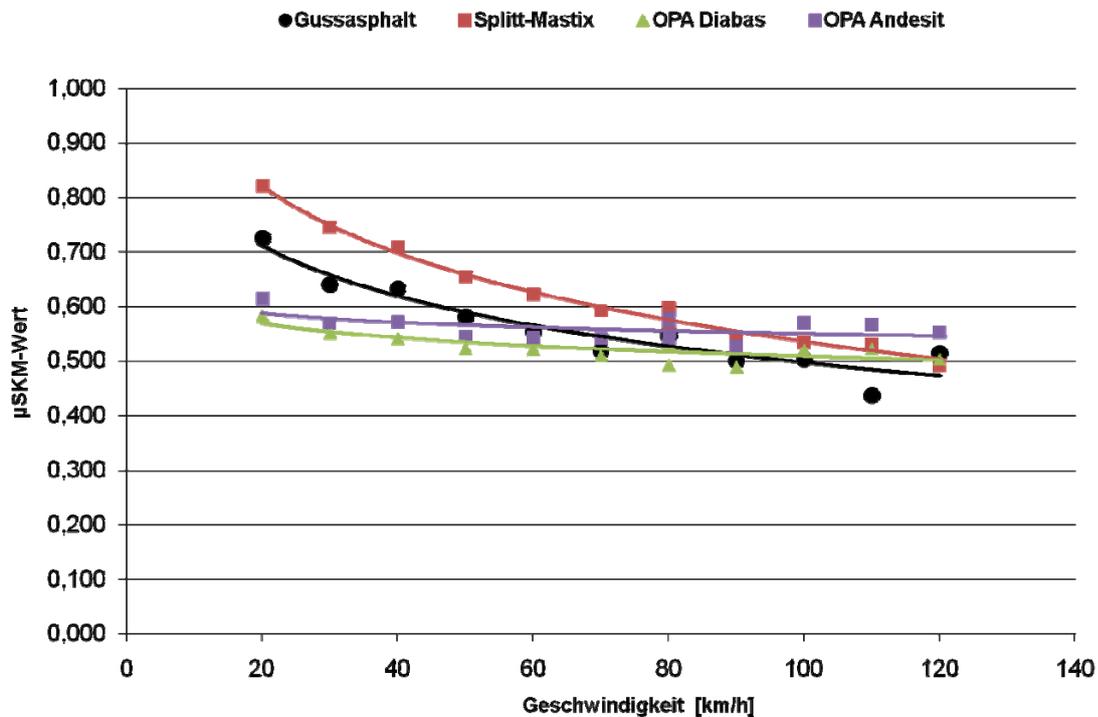


Abbildung 20: Geschwindigkeitsabhängigkeit der SKM-Werte für unterschiedliche Fahrbahnbeläge

Nachfolgend sind die Messergebnisse der Untersuchung auf der BAB A3 in Tabelle 12 zusammengestellt.

Tab. 12: Zusammenstellung der Messergebnisse auf der BAB A3 (Messungen aus 2005)

Belag	Gestein	µ _{SKM}			SRT
		40 km/h	60 km/h	80 km/h	
OPA 0/8 (2001)	Andesit	0,57	0,54	0,54	52
OPA 0/8 (2003)	Diabas	0,54	0,52	0,49	45
SMA 0/11S	Grauwacke	0,71	0,62	0,57	55
GA 0/11S	Diabas	0,63	0,55	0,55	54
Werte gemäß M BGriff					
Zielwert		0,63	0,58	0,53	65
Warnwert		0,49	0,44	0,39	55
Schwellenwert		0,42	0,37	0,32	50

Die Werte der SRT-Pendelungen sind auf den OPA-Strecken im Vergleich zu den dichten Bauweisen sehr niedrig. In der Gegenüberstellung der SKM-Werte zu den SRT-Pendelwerten ist ersichtlich, dass die Messverfahren die Griffigkeit der OPA-Strecken unterschiedlich bewerten. Beide Messsysteme, SKM und SRT, haben jedoch bei groben Texturen Schwierigkeiten, die durch das mehr gleitende und weniger überrollende Passieren der Messstrecke bedingt sind. Der genaue Nachweis kann hier jedoch nicht geführt werden.

Des Weiteren ergibt sich die Fragestellung, ob die Messsysteme SKM und SRT-Pendel und Ausflussmesser unterschiedlich ausgeprägte Polierzustände erfassen können. Diese Fragestellung gilt es noch zu beantworten.

6.2.2 Erkennung unterschiedlicher Polierzustände mit dem Messsystem SKM

Um zu untersuchen, ob zwischen einem unpolierten OPA und einem polierten OPA messtechnisch mit dem System SKM ein Unterschied ersichtlich ist, werden an diversen OPA-Strecken Messungen über den Querschnitt durchgeführt. Für diese Untersuchung können Strecken mit offenporigen Belägen, die eine längere Liegedauer und somit eine polierte Rollspur aufweisen, herangezogen werden. Auf den Fahrbahnen erfolgen aufgrund des Fahrverhaltens der Straßennutzer unterschiedliche Anzahlen an Überrollungen über den Querschnitt. Daher wird die Strecke vom Seitenstreifen bis zur Rollspur unterschiedlich belastet. Die Polierungen einer Strecke und somit ihre Griffigkeit sind demnach über den Querschnitt unterschiedlich.

6.2.3 Versuchsaufbau

Im Rahmen der bereits durchgeführten SKM-Messungen wurde beginnend von der Seitenmarkierung die Griffigkeit in 10 cm bis 20 cm-Abständen bis hin zur Rollspur gemessen.

Es wurden Messungen über den Querschnitt auf der BAB A3 bei Oberhausen sowie der BAB A2 bei Hannover durchgeführt. Auf diesen beiden Strecken sind aufgrund der längeren Liegedauer unterschiedliche Griffigkeitsverteilungen über den Querschnitt zu erwarten. In Tabelle 13 liegen die Daten für diese Strecken vor.

Zur Beurteilung des Griffigkeitsverlaufs der SKM-Messungen auf offenporigen Asphalt können die Daten aus Untersuchungen der Fa. IWS Messtechnik herangezogen werden (SCHMIDT, J.; 2003; 2004). In diesen Untersuchungen wurde der Griffigkeitsverlauf über die Fahrbahn von Asphalt- und Betonstrecken untersucht. Die dort ermittelten Werte können somit mit den Messungen auf den o.g. OPA-Strecken

ins Verhältnis gesetzt werden, so dass eine qualitative Beurteilung der Bewertung der Griffigkeit auf OPA möglich wird.

Tab. 13: Streckendaten BAB A3 und BAB A2

BAB	Stationierung	Baujahr	DTV	DTV ^(sv)	Gestein
A3	71,000	2001	85.000	13.081	Andesit
A2	195,3 – 197,0	1998/1999			Gabbro

6.2.4 Versuchsergebnis

Bei den mit dem Messsystem SKM untersuchten OPA-Strecken ist ersichtlich, dass innerhalb einer Fahrspur unterschiedliche Griffigkeiten vorliegen (Abnahme der Griffigkeit in der Rollspur). So sind folgende Griffigkeitsverteilungen über den Querschnitt ermittelt worden (Abbildung 21).

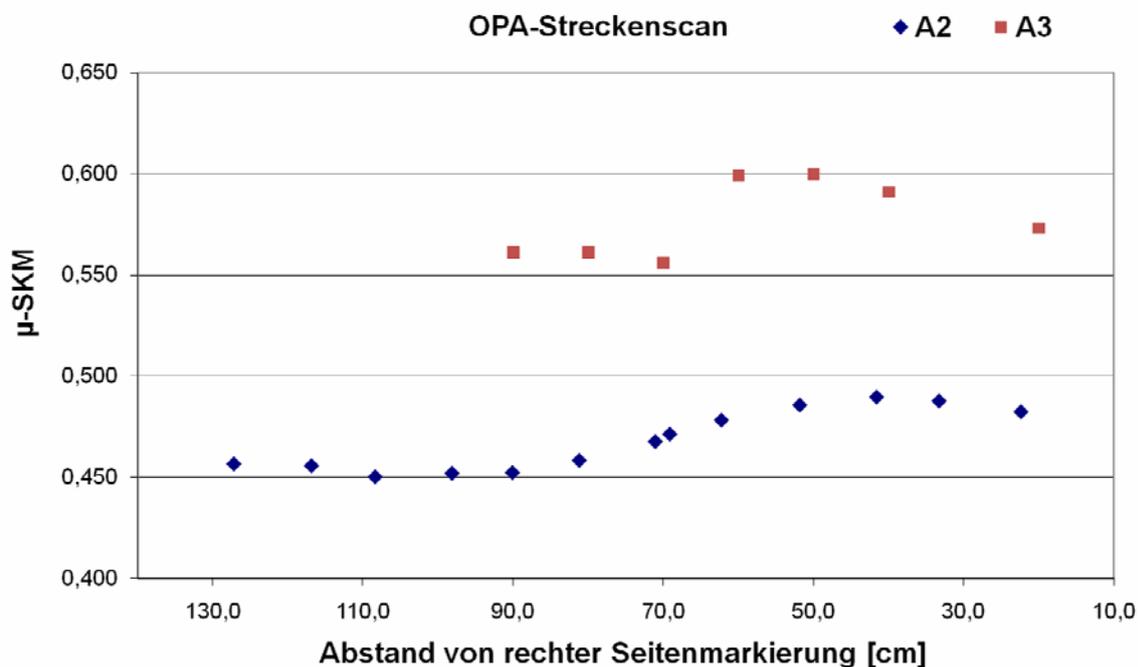


Abbildung 21: OPA-Streckenscan BAB A3 und BAB A2

Das Messsystem SKM kann nach diesen ersten Untersuchungen eine Spreizung zwischen höher und niedriger polierten offenporigen Asphalten anzeigen.

Die Spreizung der Griffigkeit bei den untersuchten OPA-Strecken liegt bei 0,04 bis 0,05 μ_{SKM} über den Querschnitt. Im Vergleich zu den im Rahmen der durch die Fa. IWS durchgeführten Griffigkeitsmessungen über den Querschnitt (SCHMIDT, J.;

2003, 2004) fällt die Spreizung geringer aus. Hier lag die Spreizung innerhalb der Asphalt- und Betonstrecken bei 0,08 bis 0,1 μ_{SKM} .

Zusammenfassend ist zu sagen, dass auch bei Strecken mit offenporigen Asphalten die SKM-Messungen eine Spreizung der Griffigkeit über den Fahrbahnquerschnitt aufweisen, diese jedoch verglichen mit den Regelbauweisen niedriger ist.

6.3 SRT-Messungen (in situ und auf Bohrkern)

Hinsichtlich der Ergebnisse zu Messungen mit dem SRT-Pendel wurde zum einen auf bereits vorhandene Daten zurückgegriffen, zum anderen wurden teilweise auch, wo möglich, eigene Messungen in situ durchgeführt. Zur Erweiterung der damit vorhandenen, jedoch recht geringen, Datenbasis, sowie um zusätzliche Beurteilungsmöglichkeiten zu erhalten, wurden darüber hinaus an sämtlichen entnommenen Bohrkernen SRT-Messungen im Labor durchgeführt, was aufgrund des großen Durchmessers der Kerne (\varnothing 225 mm) möglich war. Da die Bohrkern bei der Entnahme jedoch nicht hinsichtlich der Fahrtrichtung gekennzeichnet worden waren, war es erforderlich, je Kern Messungen in vier verschiedene Richtungen durchzuführen (Abbildung 22), aus deren Ergebnissen im Weiteren der Mittelwert gebildet wurde. Darüber hinaus wurden hierzu zunächst Betrachtungen hinsichtlich der Genauigkeit dieser Messungen angestellt, um die Zulässigkeit der Mittelwertbildung und somit der Verwendbarkeit der Ergebnisse zu beurteilen. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt.

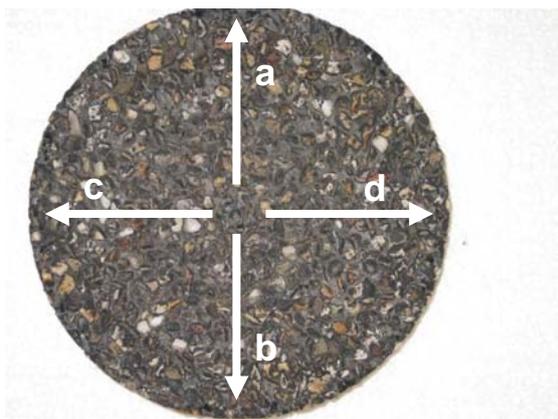


Abbildung 22: SRT-Messung, eingespannter Bohrkern mit vier Messrichtungen

6.3.1 Präzision der gemessenen SRT-Werte

Abbildung 23 zeigt zunächst exemplarisch SRT-Mittelwerte, die an Bohrkernen aus dem Standstreifen der BAB A5 gemessen wurden. Dargestellt sind für fünf unterschiedliche Felder die an drei Bohrkernen je Kilometrierung gemittelten Werte MW1 und MW2 (Mittelwerte von gegenüberliegenden Pendelmessungen) sowie der gesamte Mittelwert aus allen vier Pendelmessungen.

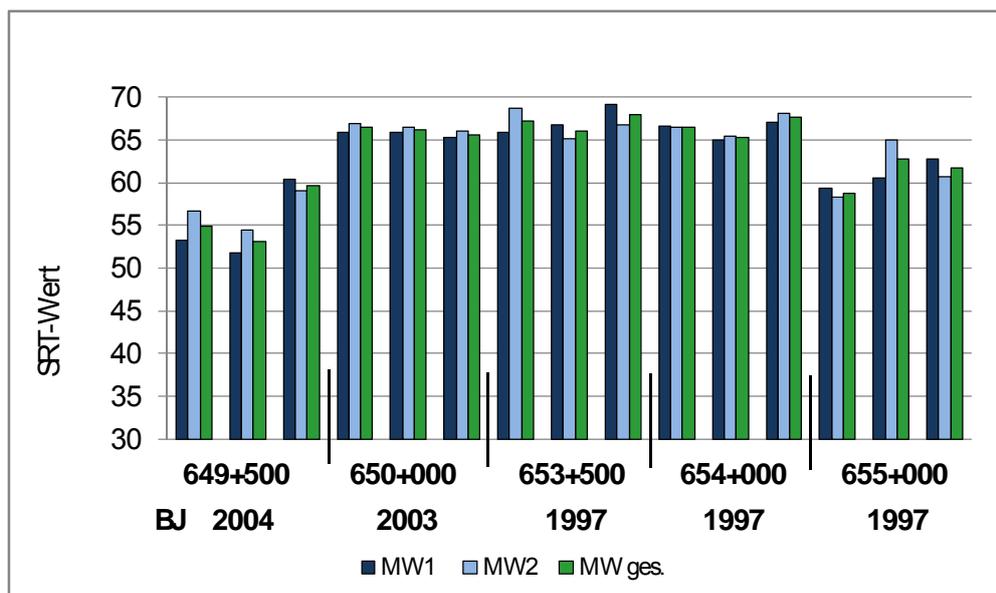


Abbildung 23: SRT-Mittelwerte Bohrkern Standstreifen BAB A5

Es wird deutlich, dass die Spannweiten der Werte je Bohrkern von minimal 2 bis maximal 8 Einheiten reichen, mit einem Schwerpunkt bei ca. 4 Einheiten. Vergleichbare Ergebnisse liefern die SRT-Messungen an allen anderen Bohrkernen.

Werden sämtliche an den Bohrkernen ermittelten Spannweiten von SRT-Messungen als Häufigkeitsverteilung aufgetragen (Abbildung 24), bestätigt sich dieser Zusammenhang: Das gesamte Spektrum an Spannweiten reicht dann zwar von einer Einheit bis zu, im Einzelfall, 11 Einheiten, bewegt sich aber im Wesentlichen im Bereich von ca. 4 bis 6 Einheiten. Das Maximum verringert sich noch auf weniger als 8 Einheiten, wenn nur die Fahrstreifen betrachtet werden. Verglichen mit einer Messgenauigkeit von 3 Einheiten für eine einzelne Messung (FGSV-TP GRIFF, SRT, 2004), sind die Werte als für die vorzunehmenden Auswertungen ausreichend genau anzusehen und damit verwendbar.

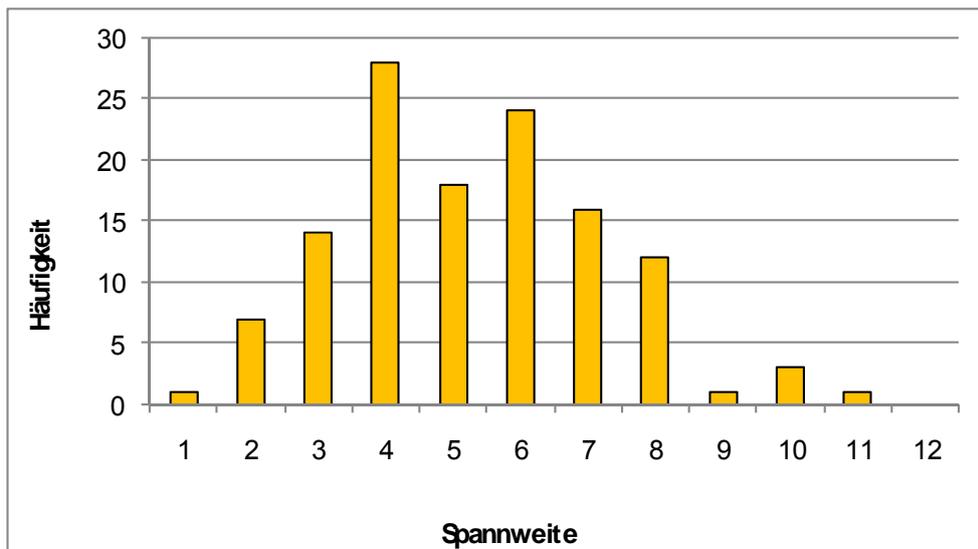


Abbildung 24: Spannweite aller an Bohrkernen gemessenen SRT-Werte

6.3.2 Zusammenhänge zwischen SRT-Werten, PSV und SKM-Werten

Zur weiteren Auswertung werden die ermittelten SRT-Werte den PSV der eingesetzten Gesteine gegenübergestellt (siehe Tabelle 11). In Abbildung 25 sind die SRT-Werte von je drei Bohrkernen aus dem 1. Fahrstreifen in der rechten Rollspur der unterschiedlichen Strecken dargestellt. Von den Werten des Feldes mit EOS auf der BAB A5 abgesehen, folgt die Reihung der SRT-Werte auch nach unterschiedlich vielen Jahren der Verkehrsbelastung gut den PSV der eingesetzten Gesteine. Auch hier wird deutlich, dass, auch bei sehr unterschiedlichen Beanspruchungen aus Verkehr und Umwelt, die Polierresistenz des Gesteins für die resultierende Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche eine zentrale Rolle spielt (vergleiche Kapitel 6.2).

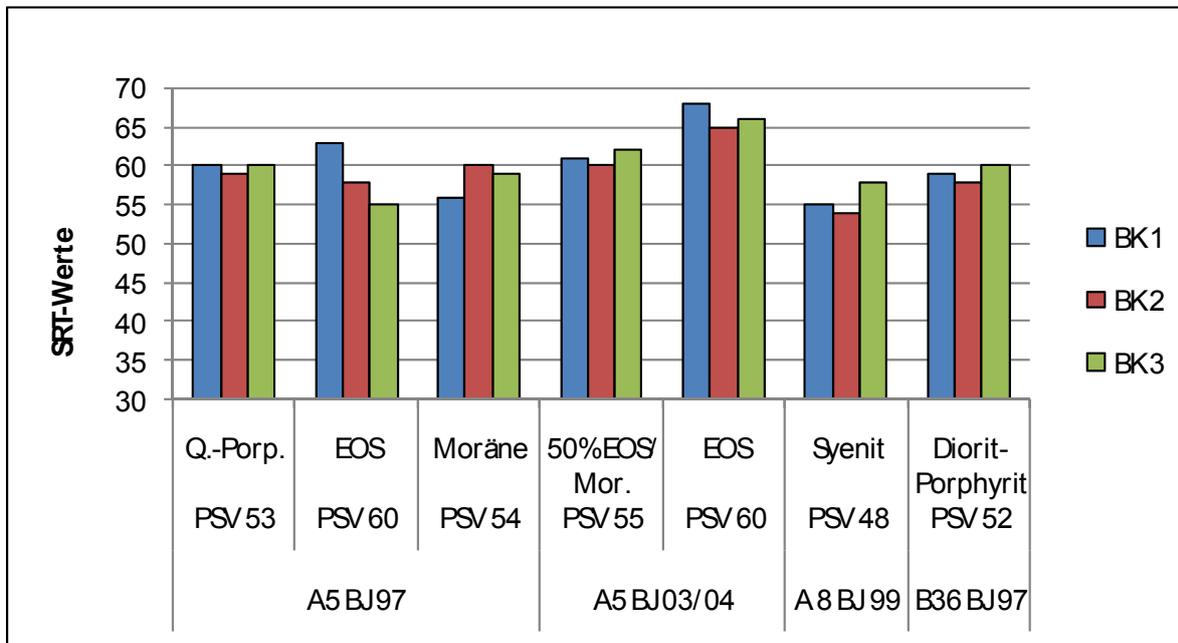


Abbildung 25: SRT-Werte je Bohrkern auf dem 1. Fahrstreifen in der rechten Rollspur von der BAB A5, A8 und B36

Ungeachtet der prinzipiell möglichen Aussagen aus den an Bohrkernen ermittelten SRT-Werten muss dennoch berücksichtigt werden, dass die verfügbaren Daten zu SRT-Messungen in situ mit den Ergebnissen auf den Bohrkernen nur sehr unzureichend übereinstimmen. Deutlich wird dies in Abbildung 26, in der die unterschiedlichen SRT-Werte für die BAB A5, A8 sowie für die B36 einander gegenübergestellt werden. Weiterhin aufgeführt sind hier die SKM-Werte sowie wiederum die PSV der Gesteine.

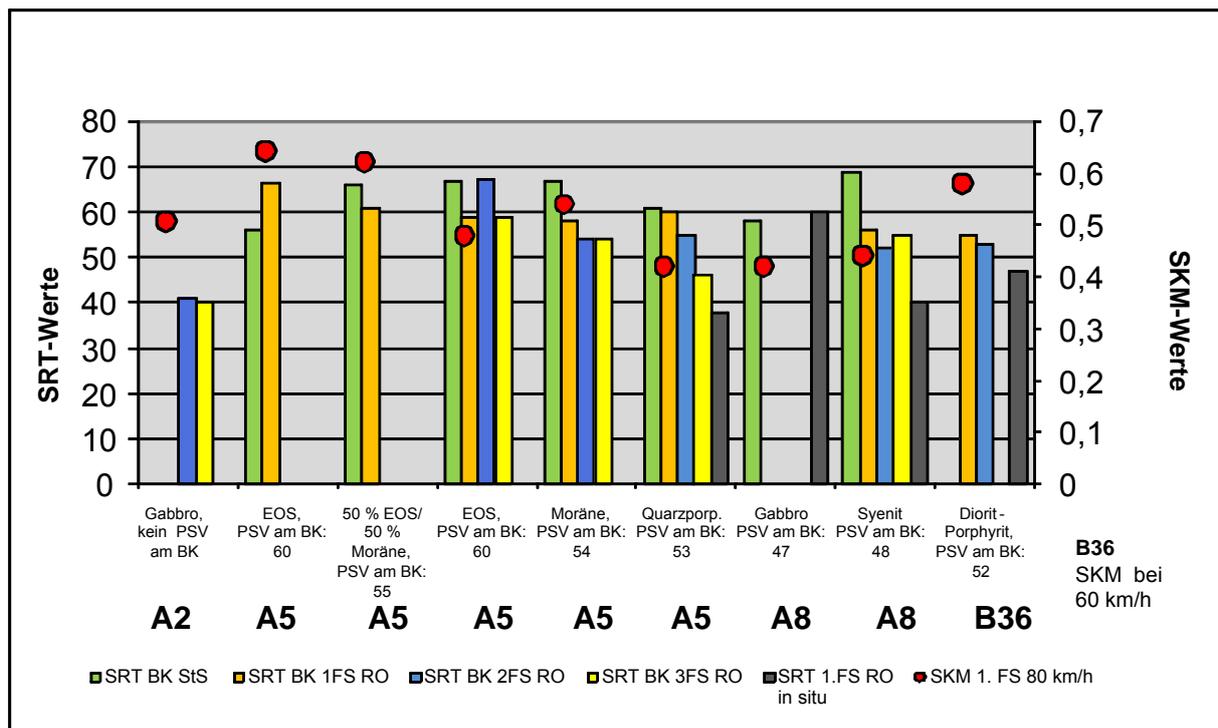


Abbildung 26: SRT-Mittelwerte (am Bohrkern) auf Fahrstreifen bezogen von den BAB A2, A5 und A8 und der Bundesstraße B36

Neben dem bereits genannten Zusammenhang zwischen dem SRT-Wert am Bohrkern und dem PSV ist hier im Weiteren die deutliche Tendenz einer Verringerung der SRT-Werte vom Standstreifen hin zu den Fahrstreifen zu erkennen, was aufgrund der Verkehrsbeanspruchung folgerichtig ist. Die weitere Entwicklung der Werte vom 1. Fahrstreifen über den 2. Fahrstreifen hin zum 3. Fahrstreifen, in der Rollspur gemessen, ist weniger einheitlich und zeigt auch nur vereinzelt die eher erwartete Tendenz einer Erhöhung der Werte vom 1. zum 3. Fahrstreifen hin aufgrund der stärkeren Verkehrsbelastung durch Schwerverkehr auf dem 1. Fahrstreifen. Die SKM-Werte schließlich, auf dem 1. Fahrstreifen gemessen, zeigen nur geringe Übereinstimmung mit den SRT-Werten und passen noch am besten zu den (wenigen) SRT-Werten, die in situ gemessen wurden.

In Abbildung 27 sind ergänzend noch SRT-Messungen in situ auf dem 1. Fahrstreifen der BAB A2, A5, A8 und der B 36 dargestellt. Hier wurden unterschiedliche, teils sehr niedrige SRT-Werte gemessen, was unter anderem teilweise auch zur Entscheidung für den Ausbau einzelner Teilstücke beigetragen hat. Auf der BAB A8 bei Kilometer 263,500 wurde zur Verbesserung der Straßenoberfläche über den ganzen Querschnitt der Straße ein sogenanntes „Grinding“ durchgeführt. Hierbei wird die Oberfläche mittels Diamantscheiben gezielt abgefräst und dabei aufgeraut. Die Messwerte vorher, im Anschluss an die Maßnahme und einen Monat später verdeutlichen, dass

sich die Mikrorauheit der Oberfläche durch das „Grinding“ nur kurzzeitig verbessert hat.

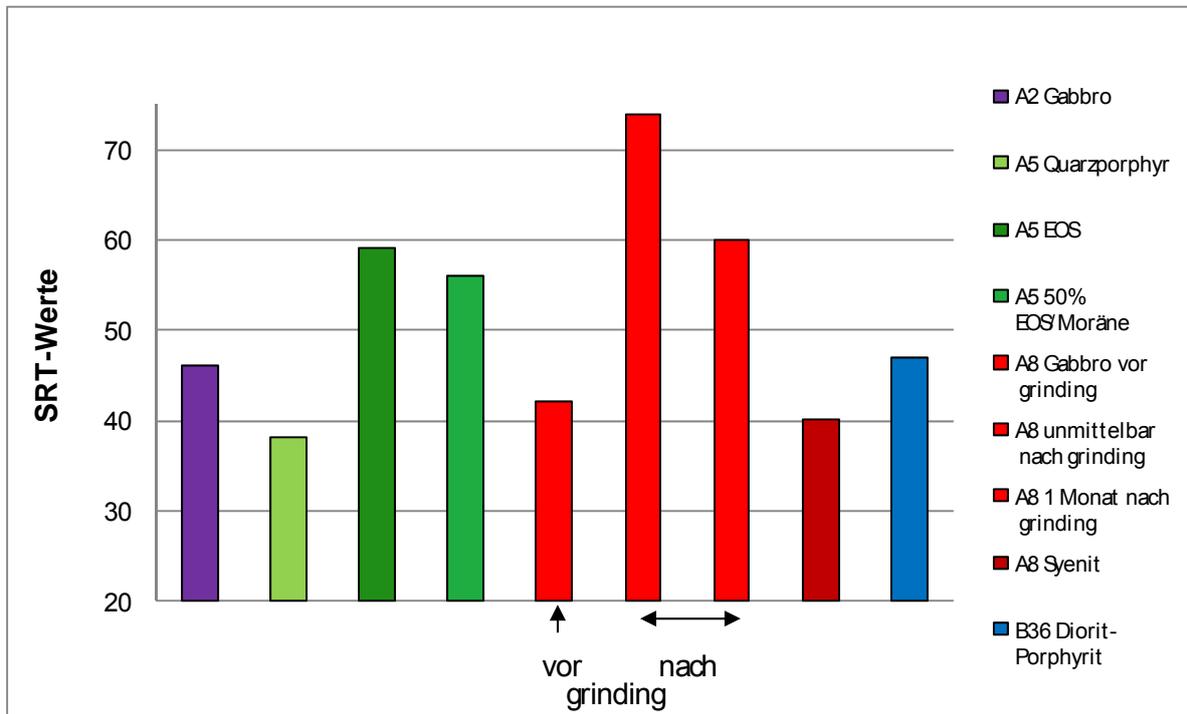


Abbildung 27: SRT-Messungen in situ auf dem 1. Fahrstreifen der BAB A2, A5, A8 und der B 36

6.3.3 Korrelation zwischen SRT-Werten und SKM-Werten

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen SKM- und SRT-Werten schließlich ist in Abbildung 28 nochmals eine Gegenüberstellung aller gemessenen SKM- und SRT-Werte (in situ) dargestellt. Es wird deutlich, dass ein prinzipieller Zusammenhang besteht, auch wenn die Korrelation noch nicht als gut zu bezeichnen ist.

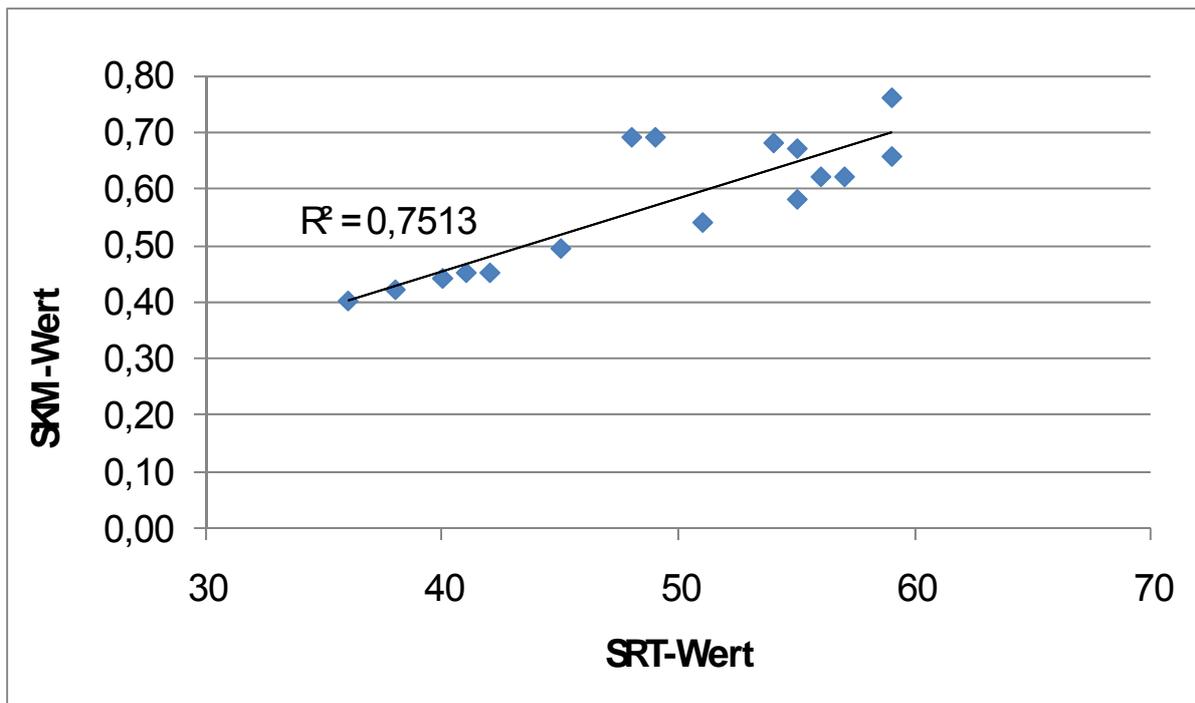


Abbildung 28: Gegenüberstellung aller gemessenen SKM- und SRT(in situ)-Werte

Insgesamt betrachtet sind die bestimmten SRT-Werte als gutes Hilfsmittel zum Vergleich der unterschiedlichen Oberflächen, insbesondere vor dem Hintergrund des begrenzten Datenumfangs, anzusehen. Ihre generelle Aussagekraft ist jedoch gegenüber den übrigen Bewertungsmöglichkeiten als eher gering einzustufen.

6.4 Texturmessungen (im Labor: T3D)

Für die Texturaufnahme mit dem optischen T3D-Messsystem (kleines Messfeld, siehe Abbildung 15), welches der dreidimensionalen Messung von Oberflächenstrukturen im Bereich der Mikro- und Makrorauheit dient, wurden OPA-Oberflächen mit unterschiedlichen Gesteinen ausgewählt. Von der BAB A5 „Baden Baden“, Fahrtrichtung Karlsruhe wurden auf dem Moräne- und auf dem Quarzporphyr- Abschnitt, je 2 Bohrkerne vom Standstreifen, dem 1., 2. und 3. Fahrstreifen erfasst. Die Messungen wurden vom Referat S3 „Betonbauweisen/Lärmindernde Texturen“ durchgeführt. Das Ziel der Messungen war es, die Makro- und die Mikrorauigkeit der Proben aufzunehmen und quantitativ zu beschreiben.

Die Lage aller Messpositionen wurde visuell festgelegt.

Die Ergebnisse der 3d- Messungen werden in standardisierten Darstellungen der nachfolgenden Texturkenngößen präsentiert:

- mittlere Profiltiefe „MPDr“ (in Anlehnung an ISO 13473, da die ausgewerteten Profile kleiner als 100 mm sind) mit der Standardabweichung „Smpd“,
- geschätzte Texturtiefe „ETDr“ (in Anlehnung an ISO 13473) mit der Standardabweichung „Setd“,
- maximale Amplitude des Wellenlängenspektrums "Amax" mit der Standardabweichung "Samax",
- dem Amax- Wert entsprechende Wellenlänge "Wmax",
- gemittelte Rautiefe „Rz“ (nach ISO 4287) bezogen auf der Makro- und Mikrotextur mit der Standardabweichung „Srz“,
- maximale Rautiefe „Rmax“ (nach ISO 4287) bezogen auf der Makro- und Mikrotextur mit der Standardabweichung „Srmx“,
- arithmetischer Mittenrauwert „Ra“ (nach ISO 4287) bezogen auf der Makro- und Mikrotextur mit der Standardabweichung „Sa“;
- der Gestaltfaktor „g“ ([1], s. Anlage 1) mit der Standardabweichung "Sg",
- die Gestaltlänge „gL“ ([1], s. Anlage 1),
- die Profilordinaten $Z_{5\%}$, $Z_{35\%}$, $Z_{65\%}$ und $Z_{95\%}$, die auf dem Texturprofil einem 5%, 35%, 65% und 95%- Summenhäufigkeitswert entsprechen werden aus der Materialanteilkurve (Abbottkurve) berechnet nach Müller I., 2003.

Für die Bewertung der geometrisch relevanten Oberflächeneigenschaften der Bohrkernproben stehen die Abbildung 29 bis Abbildung 32 zur Verfügung.

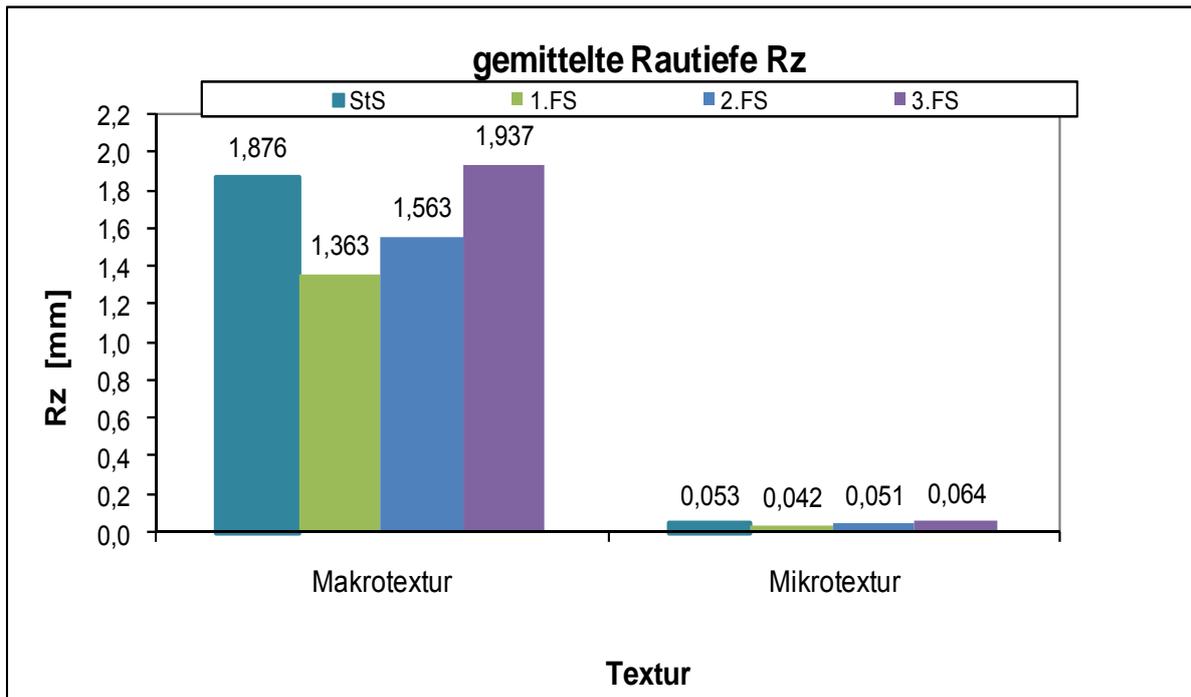


Abbildung 29: Gemittelte Rautiefe (Rz) bezogen auf die Makro- und Mikrotextur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Moräne

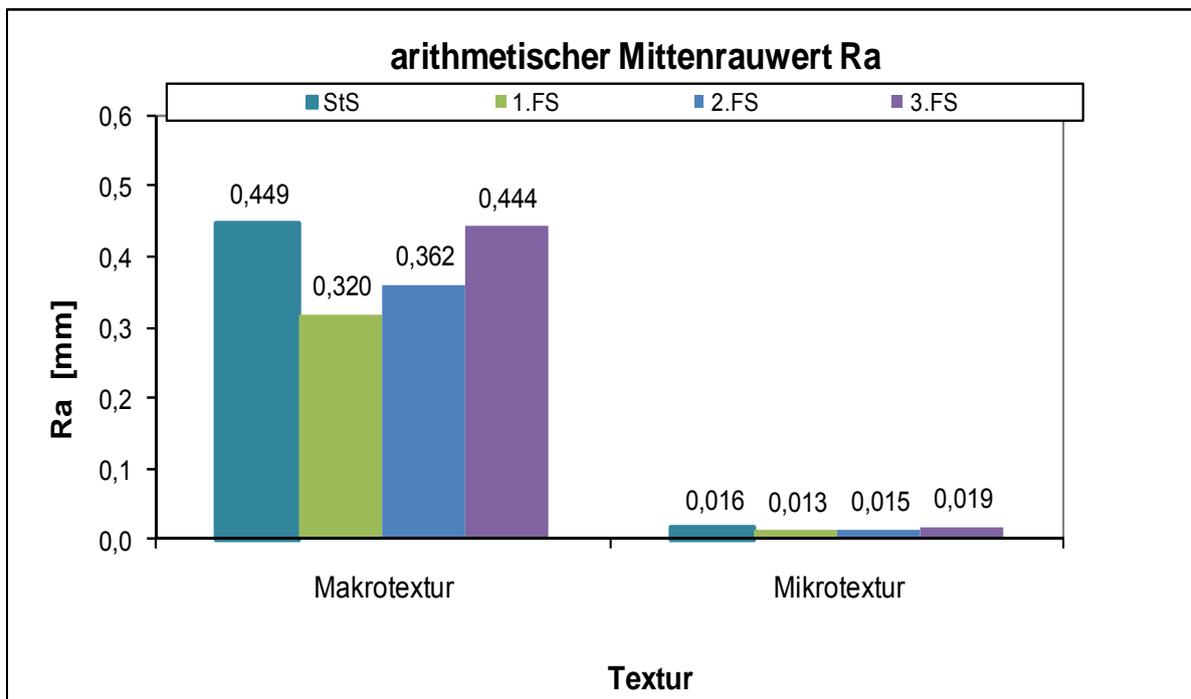


Abbildung 30: Arithmetischer Mittenrauwert (Ra) bezogen auf die Makro- und Mikrotextur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Moräne

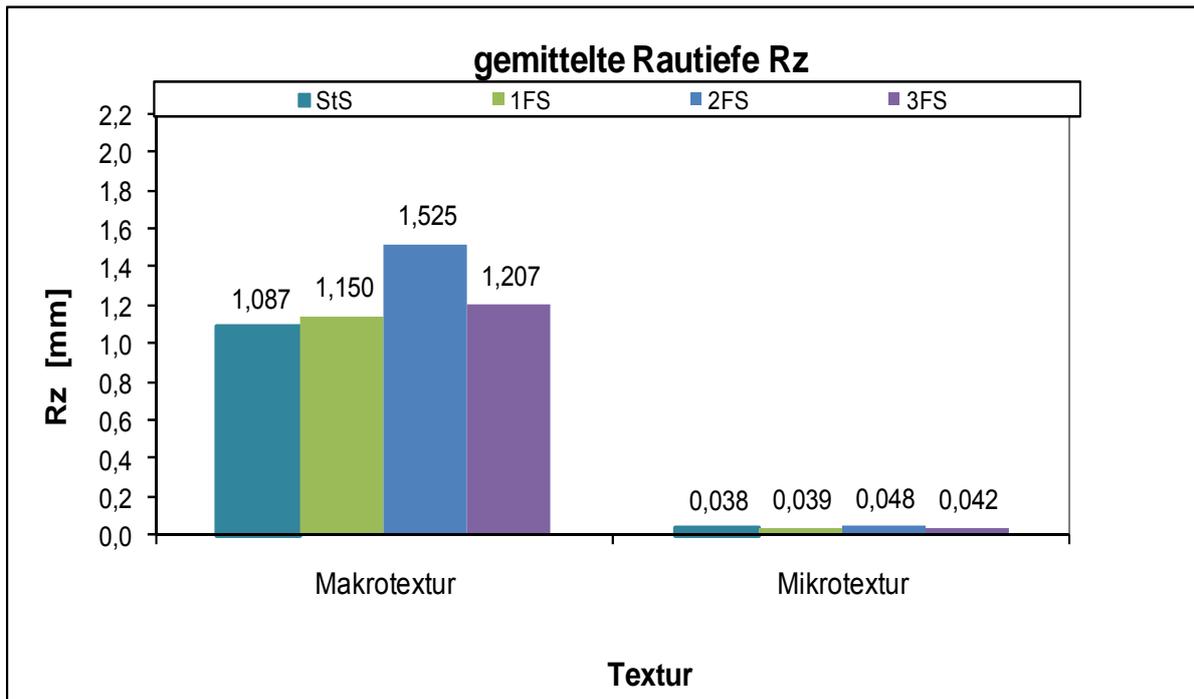


Abbildung 31: Gemittelte Rautiefe (Rz) bezogen auf die Makro- und Mikrotextur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Quarzporphyr

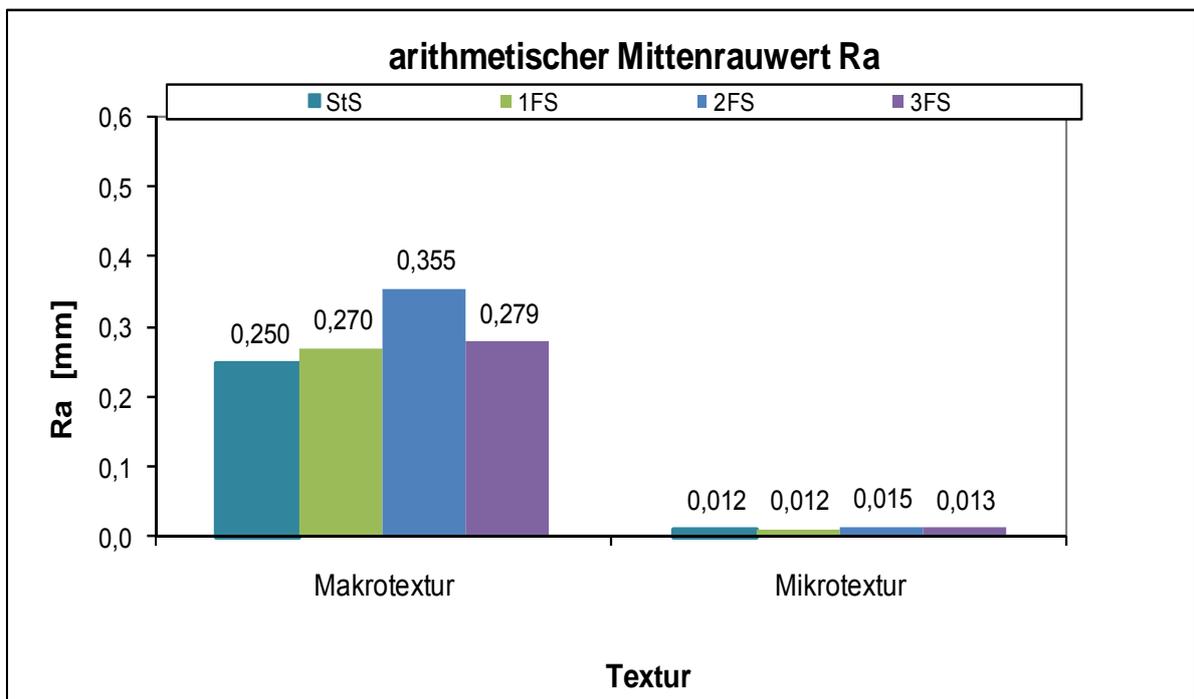


Abbildung 32: Arithmetischer Mittenrauwert (Ra) bezogen auf die Makro- und Mikrotextur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Quarzporphyr

Weitere Ergebnisse, wie die geschätzte Texturtiefe und der Gestaltfaktor sowie die Zusammenfassung der berechneten Kenngrößen für Makro- und Mikrotextur sind dem Anhang 08 zu entnehmen.

Die Makrorauhigkeit aller Proben ist unterschiedlich. Die Mikrorauhigkeit weist im Vergleich dazu keine signifikanten Unterschiede auf.
Die Auswerteprotokolle sind im Anhang 09 zu finden.

6.5 Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze

Zur Griffigkeitsprognose wurde eine Reihe unterschiedlicher Untersuchungen durchgeführt, um die einzelnen Arbeitsschritte genauer festlegen zu können. Wie in Kapitel 4.1.4 ausgeführt, lassen sich die in den verschiedenen bisherigen Forschungsprojekten gewählten Vorgehensweisen nur teilweise auf offenporigen Asphalt übertragen. Das prinzipiell gewählte, aus den bisherigen Erfahrungen resultierende, Vorgehen wird in Kapitel 5.3.1 näher beschrieben.

6.5.1 Präzision der gemessenen PWS-Werte

Um eine Aussage über die Präzision der auf den Bohrkernen gemessenen PWS-Werte zu erhalten, wurde eine Häufigkeitsverteilung der Spannweiten, vergleichbar zum Vorgehen bei der Auswertung der SRT-Werte (vergleiche Abbildung 24), erstellt. Wie aus Abbildung 33 ersichtlich, liegen die Spannweiten von jeweils drei zueinander gehörenden Bohrkernen im Wesentlichen in einem Bereich $< 0,04$. Präzisionsdaten für Messungen auf Oberflächen mit der Wehner/Schulze-Anlage liegen bislang nicht vor, die Werte sind aber in Anbetracht des vorliegenden Untersuchungsgegenstandes sowie auch verglichen mit Präzisionsdaten, die aus den bisherigen Forschungsprojekten bekannt sind, als ausreichend genau anzusehen.

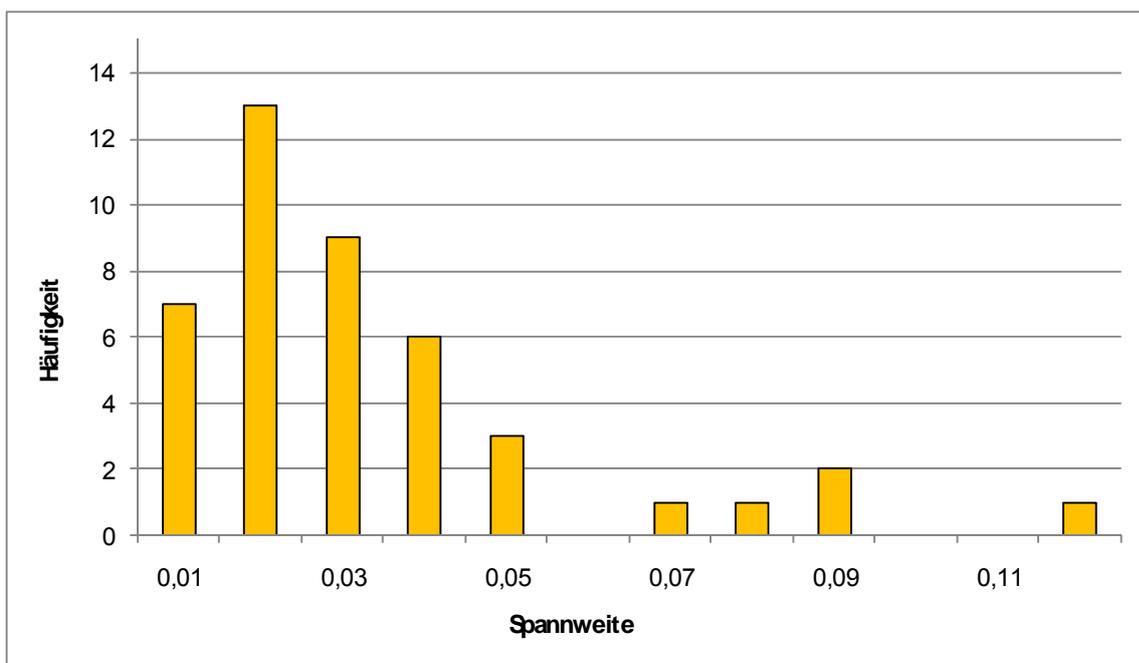


Abbildung 33: Spannweite aller an Bohrkernen gemessenen PWS-Werte

6.5.2 Zusammenhänge zwischen PWS-Werten, SKM-Werten, SRT-Werten und PSV

Zur weiteren Auswertung werden die ermittelten PWS-Werte den SKM- und den SRT-Werten (in situ gemessen) sowie den PSV der eingesetzten Gesteine (siehe Tabelle 11) gegenübergestellt. Hierzu sind in Abbildung 34 zunächst PWS-, SKM- und SRT-Mittelwerte zu den Strecken BAB A5, BAB A8 und B36 zusammenfassend dargestellt, wobei die PWS-Werte je gemessenem Fahrstreifen unterteilt werden in Messungen in der rechten Rollspur und Messungen zwischen den Rollspuren. Die Strecken lagen zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme 5 bis 7 Jahre unter Verkehr. Beim Vergleich der SKM-Werte untereinander ist zu berücksichtigen, dass die SKM-Messungen auf BAB mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h und auf Bundesstraßen mit 60 km/h durchgeführt werden (siehe hierzu auch Kapitel 6.2).

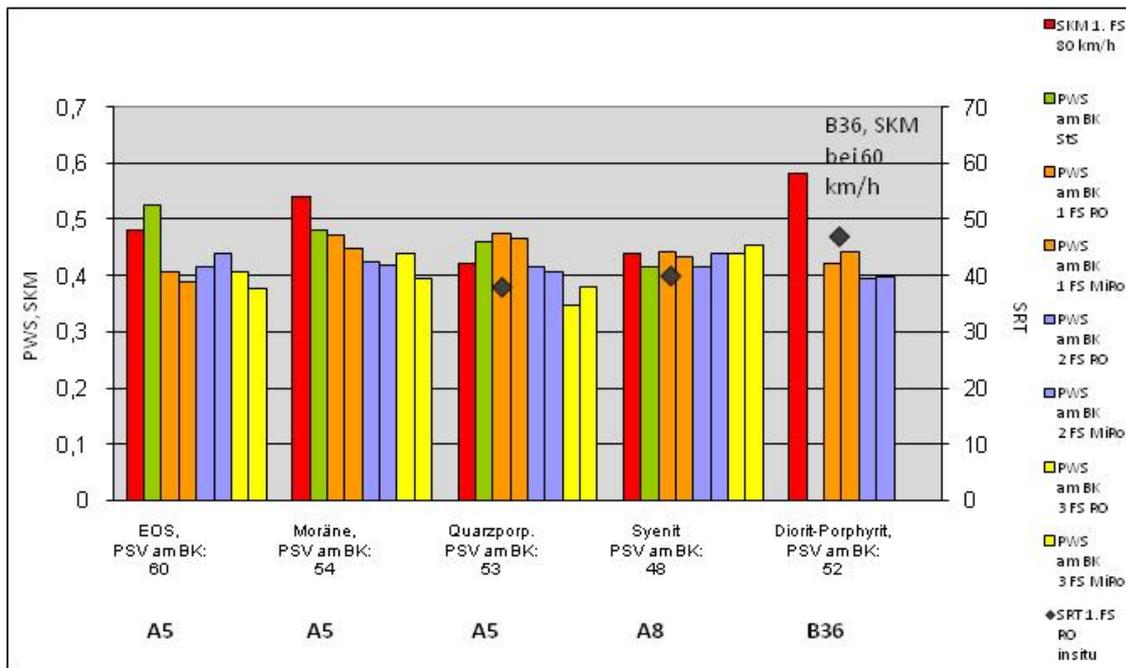


Abbildung 34: PWS-, SKM- und SRT-Werte von Strecken der A5, A8 und B36, die 5 bis 7 Jahre unter Verkehr lagen

Der Vergleich der Ergebnisse aus den Messungen in der rechten Rollspur und den Messungen zwischen den Rollspuren zeigt ein uneinheitliches Verhalten. Eine eindeutige Tendenz, beispielsweise hinsichtlich generell niedriger liegender Werte in der Rollspur, ist hier nicht zu erkennen. Die absoluten Unterschiede sind hierbei jedoch generell niedrig, so dass eher von gering ausgeprägten Rollspuren und somit über den Fahrstreifen gleichmäßiger Polierbeanspruchung ausgegangen werden kann.

Zur weiteren Auswertung sind in Abbildung 35, vergleichbar zu Abbildung 34, die PWS-, SKM- und SRT-Mittelwerte aller im Rahmen des ersten Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ untersuchten Strecken zusammenfassend dargestellt. Bei den PWS-Werten wurden hier, der Übersichtlichkeit halber, nur die in der rechten Rollspur gemessenen Werte dargestellt. Ebenso wie in Abbildung 34 ist auch hier beim Vergleich der SKM-Werte untereinander zu berücksichtigen, dass die SKM-Messungen auf BAB mit einer Geschwindigkeit von 80 km/h und auf Bundesstraßen mit 60 km/h durchgeführt werden. Soweit vorhanden, wurden die PSV der zum Einsatz gekommenen Gesteine ebenfalls mit aufgenommen.

Die niedrigen PWS-Werte auf dem Standstreifen des Abschnittes mit EOS der BAB A5 erklären sich daraus, dass die Strecke zum Messzeitpunkt noch recht neu war (Baujahr 2004), sich somit noch ein deutlicher Bitumenfilm an der Oberfläche, vor allem des Standstreifens, befand.

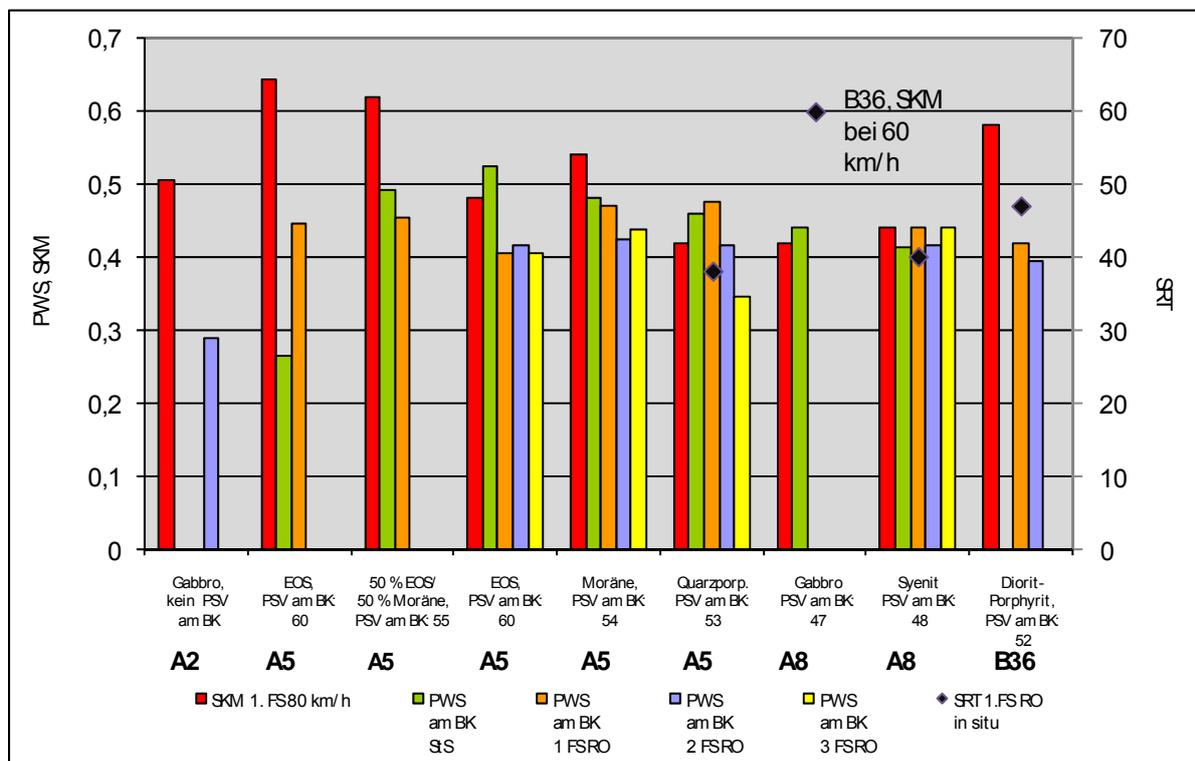


Abbildung 35: PWS-Werte (gemessen bei 60km/h), SKM- und SRT-Mittelwerte der Rollspuren von allen Strecken des Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“

Der Vergleich der PWS-Werte mit den PSV der eingesetzten Gesteine zeigt, von den Werten des Feldes mit EOS auf der BAB A5 abgesehen, bei dem dies nur auf die Ergebnisse der Bohrkerne aus dem Standstreifen zutrifft, eine deutlich erkennbare, den PSV entsprechende Reihung. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus der Auswertung der SRT-Werte (vergleiche Kapitel 6.3).

Da die SKM-Werte auf dem 1. Fahrstreifen gemessen wurden, ist ein Vergleich im Wesentlichen mit den entsprechenden PWS-Werten der Bohrkerne ebenfalls aus dem 1. Fahrstreifen angebracht. Abgesehen von den Feldern mit Quarzporphyr auf der BAB A5 sowie mit Syenit auf der BAB A8 folgen die SKM-Werte ebenso wie die PWS-Werte (1. FS) der gleichen Reihung, wenn auch die Größenordnung der Unterschiede variiert. Eine umfassende Beurteilung ausschließlich aufgrund dieser Ergebnisse ist jedoch noch nicht möglich.

Der Vergleich der PWS-Werte vom Standstreifen mit denen der Fahrstreifen sowie der Ergebnisse der Fahrstreifen untereinander zeigt ein recht uneinheitliches Verhalten. Auch wenn in einzelnen Abschnitten gewisse Zusammenhänge durchaus erkennbar sind, kann ohne weitere Daten an dieser Stelle noch keine Bewertung erfolgen.

Der Vergleich der PWS-Werte des 1. Fahrstreifens mit den SRT-Werten (in situ) schließlich zeigt kaum eine nachvollziehbare Abhängigkeit, bezieht sich jedoch auf nur vier Werte und damit auf eine sehr geringe Datengrundlage.

Im Rahmen eines weiteren Vergleichs der SKM-Werte mit PWS-Werten (1. FS) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten 80 km/h, 60 km/h und 40 km/h gemessen, sind etwas bessere Zusammenhänge bei 40 km/h zu beobachten (siehe Abbildung 36). Der PWS-Wert selbst wird üblicherweise bei 60 km/h gemessen (siehe Kapitel 5.3.1). Allerdings gilt auch hier, wie bereits zuvor ausgeführt, dass die Zusammenhänge nicht für alle Daten gelten sowie auch von der Größenordnung her nicht tragfähig sind so dass hier noch keine umfassende Beurteilung möglich ist. Die Notwendigkeit einer Änderung der Auswertung, um eine bessere Übereinstimmung mit den SKM-Werten zu erhalten, ist somit ebenfalls nicht abzuleiten.

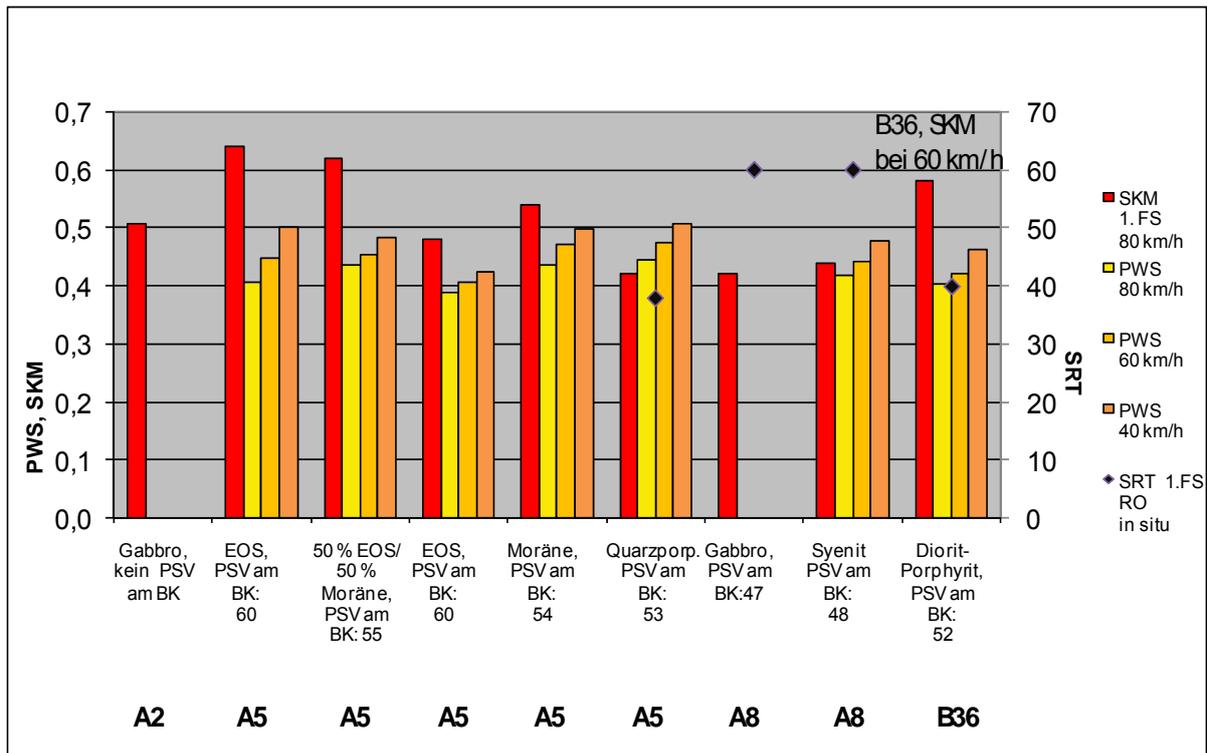


Abbildung 36: PWS-Werte (gemessen am BK 1. FS Rollspur bei 80 km/h, 60 km/h und 40 km/h), SKM- und SRT-Mittelwerte von allen Strecken des Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“

6.5.3 Griffigkeitsprognose

Wie in Kapitel 4.1.5 bereits ausgeführt, ist es bei den Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose hinsichtlich einer Übertragung der ermittelten Werte auf die Ergebnisse in situ erforderlich, die realen Verkehrsbelastungszahlen der untersuchten Strecken einzubeziehen. Da davon ausgegangen wird, dass vor allem die polierende Wirkung des Schwerverkehrs die Griffigkeit beeinflusst, ist neben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke DTV vor allem der Schwerverkehrsanteil $DTV^{(sv)}$ von hoher Bedeutung. Im Weiteren wird eine Aussage über die Verteilung des Schwerverkehrs über die Fahrstreifen zur Beurteilung der Ergebnisse benötigt (siehe Kapitel 4.1.5).

In Tabelle 14 sind demzufolge zu den Untersuchungsstrecken des Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ die Werte für den DTV sowie für den $DTV^{(sv)}$ je Strecke fahrfstreifengenau wiedergegeben. Weiterhin sind die Liegedauern bei SKM-Messung sowie bei Bohrkernentnahme aufgeführt.

Bei den Strecken, bei denen die Zählstelle nicht direkt im untersuchten dreistreifigen Abschnitt sondern zuvor im zweistreifigen Bereich lag, wurden die Daten unter Annahme einer Verteilung des Schwerverkehrs von ca. 80 % auf dem ersten Fahrstreifen

fen, ca. 20 % auf dem zweiten Fahrstreifen und ca. 0,7 % auf dem dritten Fahrstreifen umgerechnet (siehe Kapitel 4.1.5).

Tab. 14: Verkehrsbelastung (DTV, DTV^(sv), Erhebung 2004), Liegedauer bei SKM-Messung sowie bei Bohrkernentnahme

BAB	Stationierung (km)	DTV 1.FS	DTV 2.FS	DTV 3.FS	DTV ^(sv) 1.FS	DTV ^(sv) 2.FS	DTV ^(sv) 3.FS	Liegedauer bei SKM-Messung	Liegedauer bei Bohrkernentnahme
A2	250,350	11.358	15.344	12.913	6.827	2.041	65	9	9
A5	649,500	9.803	13.184	10.818	6.094	1.523	49	1	1
A5	650,000	9.565	12.864	10.555	5.600	1.400	53	1	2
A5	653,500	9.565	12.864	10.555	5.600	1.400	53	7	8
A5	654,000	9.565	12.864	10.555	5.600	1.400	53	7	8
A5	655,000	9.565	12.864	10.555	5.600	1.400	53	7	8
A8	263,500	11.107	14.938	12.256	4.889	1.222	43	6	7
A8	245,000	11.107	14.938	12.256	4.889	1.222	43	5	6
B36	2,000	3418	4350		275	9		7	8

(A2 Daten von Zählstelle, A5, A8 Messstelle 3-spurig, Zählstelle 2-spurig, B36 Verkehr Richtungsangabe, die Verkehrsbelastung 2-spurig ist angenommen)

Die in Tabelle 14 aufgeführten Daten wurden zur weiteren Auswertung über die Liegedauer bis zur Bohrkernentnahme aufsummiert. In Tabelle 15 sind die resultierenden Werte für den gesamten Verkehr (Ges VB) sowie für den gesamten Schwerverkehr (Ges VB^(sv)), jeweils auf die einzelnen Fahrstreifen bezogen, dargestellt.

Tab. 15: Abschätzung der gesamten Verkehrsbelastung (Ges VB) je Fahrstreifen zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme

BAB	Stationierung (km)	Ges VB 1.FS	Ges VB 2.FS	Ges VB 3.FS	Ges VB ^(sv) 1.FS	Ges VB ^(sv) 2.FS	Ges VB ^(sv) 3.FS
A2	250,350	37.311.030	50.405.040	42.419.205	22.426.695	6.704.685	213.525
A5	649,500	3.578.095	4.812.160	3.948.570	2.224.310	555.895	17.885
A5	650,000	6.982.450	9.390.720	7.705.150	4.088.000	1.022.000	38.690
A5	653,500	27.929.800	37.562.880	30.820.600	16.352.000	4.088.000	143.080
A5	654,000	27.929.800	37.562.880	30.820.600	16.352.000	4.088.000	143.080
A5	655,000	27.929.800	37.562.880	30.820.600	16.352.000	4.088.000	143.080
A8	263,500	28.378.385	38.166.590	31.314.080	12.491.395	3.122.210	109.865
A8	245,000	24.324.330	32.714.220	26.840.640	10.706.910	2.676.180	94.170
B36	2,000	9.980.560	12.702.000		803.000	26.280	

Die in Tab. 15 ermittelten Ergebnisse werden im Weiteren in Verbindung mit den PWS-Werten der einzelnen Fahrstreifen den auf den Bohrkernen mittels der Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze ermittelten PWS-Werten und den zugehörigen Überrollungen gegenübergestellt.

In Abbildung 37 sind zunächst für einen Abschnitt mit EOS der BAB A5 die Ergebnisse der Prognoseprüfungen an den Bohrkernen aus dem Standstreifen sowie der PWS-Messungen an den Bohrkernen aus den drei Fahrstreifen in Verbindung mit den zugehörigen Verkehrsbelastungszahlen für den gesamten Schwerverkehr je Fahrstreifen (Ges VB^(sv)) dargestellt. Die Skalierung der Achse für die Verkehrsbelastungszahlen repräsentiert dabei keinen direkten Zusammenhang mit den Überrollungen. Sie ist aus darstellerischen Gründen (leichte Zuordnung zu den Überrollungen) in dieser Form gewählt worden.

Hinsichtlich der Messwerte der Prognoseprüfungen der einzelnen Bohrkerns ist eine gute Übereinstimmung untereinander festzustellen, was für eine gute Präzision des Verfahrens spricht. Bei den weiteren Auswertungen wird daher nur eine einzelne Kurve, gebildet aus den gemittelten Einzelergebnissen der Prognoseprüfungen, dargestellt.

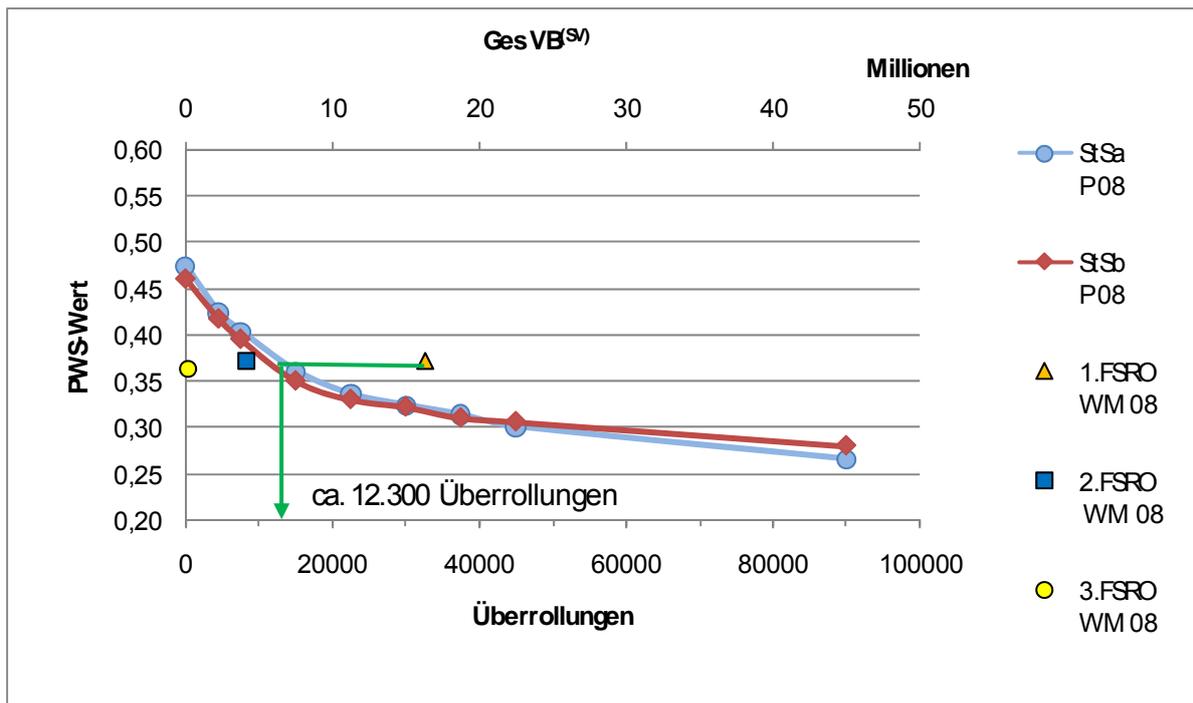


Abbildung 37: BAB A5, EOS, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung

Wie aus Abbildung 37 ersichtlich, liegt der PWS-Wert des 1. Fahrstreifens nach 8 Jahren Verkehrsbelastung (entspricht in diesem Fall ca. 16 Mio. Fahrzeugen des Schwerverkehrs), verglichen mit den Werten aus der Prognose bei ca. 12.300 Überrollungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze. Dieser Zusammenhang entspricht vom Grundsatz her dem in bisherigen Forschungsprojekten ermittelten Ergebnis, dass die Polierwirkung durch die Polieranlage Wehner/Schulze so stark ist, dass bereits nach einigen tausend oder zehntausend Überrollungen die Polierwirkung durch den Verkehr nach mehreren Jahren erreicht wird (siehe auch Kapitel 4.1.4). Da die PWS-Werte des 2. sowie des 3. Fahrstreifens in vergleichbarer Höhe zum 1. Fahrstreifen ermittelt wurden, ist aus diesen Ergebnissen eine Unterstützung dieser Aussage, was die absoluten Zahlenwerte betrifft, nicht möglich.

Bei der Auswertung generell zu berücksichtigen ist jedoch, dass die aus Verkehrszählungen über die Liegedauern aufsummierten Werte für die Verkehrsbelastungszahlen für den gesamten Schwerverkehr je einzelnen Fahrstreifen ($Ges\ VB^{(sv)}$) abgeleitet wurden. Die absoluten Werte für $Ges\ VB^{(sv)}$ vor allem des 3. Fahrstreifens sind jedoch, verglichen mit dem 1. Fahrstreifen, sehr gering, was in Verbindung mit der Vorstellung des Schwerverkehrs als griffigkeitsrelevantem Verkehr die Aussagekraft dieser Werte verringert. Hinzu kommt, dass bei den BAB A5 und A8, wie ausgeführt, die Verteilung von zwei auf drei Fahrstreifen umgerechnet werden musste, da die Zählstellen nicht im Bereich der Messstellen lagen.

Generell ist somit die Aussagekraft der Zusammenhänge aus den 1. Fahrstreifen am höchsten einzuschätzen, da hier die höchste Verkehrsbelastung aus dem Schwerverkehr vorliegt, die Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich der Ermittlung der aufsummierten Werte für den gesamten Schwerverkehr je Fahrstreifen (Ges VB^(sv)) somit am kleinsten sind. Demzufolge bezieht sich die wesentliche Auswertung im Weiteren auf die zu den 1. Fahrstreifen ermittelten Ergebnissen.

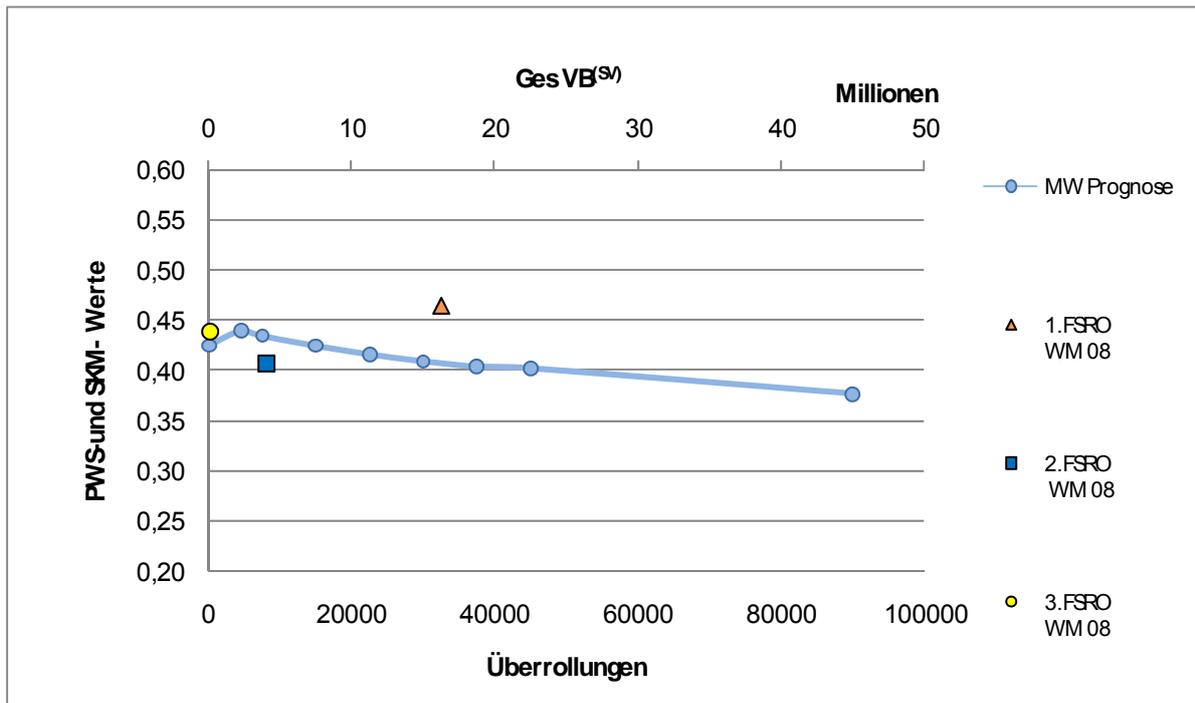


Abbildung 38: BAB A5, Moräne, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung

Die Ergebnisse aus der Prognoseprüfung und den PWS-Messungen an Bohrkernen für den Abschnitt mit Moräne in der BAB A5 (Abbildung 38) zeigen, dass eine direkte Zuordnung des PWS-Wertes des 1. Fahrstreifens nicht möglich ist, da der Wert oberhalb der Prognose liegt. Unter Einbezug der Messgenauigkeit ist dennoch eine grobe Einordnung in den Bereich der ersten paar tausend Überrollungen, vergleichbar zu der Einordnung beim Abschnitt mit EOS der BAB A5 (siehe Abbildung 37) möglich.

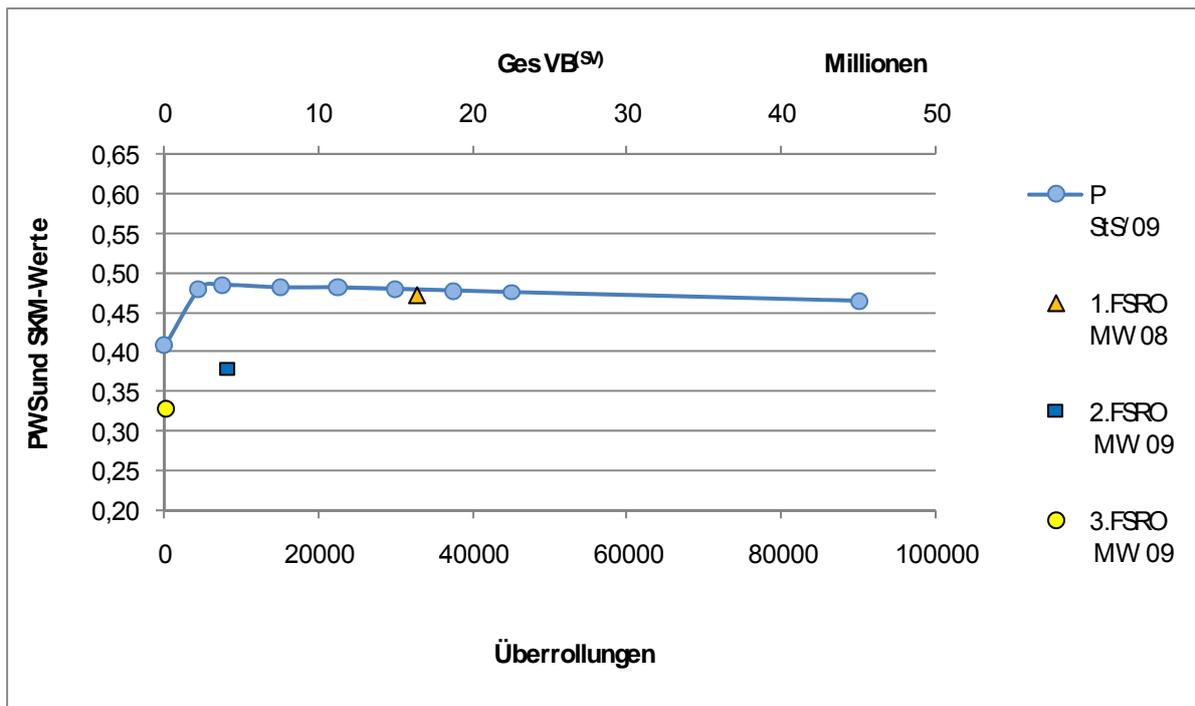


Abbildung 39: BAB A5, Quarzporphyr, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung

Hinsichtlich der in Abbildung 39 dargestellten Ergebnisse aus der Prognoseprüfung und den PWS-Messungen an den Bohrkernen der drei Fahrstreifen des Abschnittes mit Quarzporphyr der BAB A5 fällt auf, dass der PWS-Wert des 1. Fahrstreifens zwar im Bereich der Prognosewerte liegt, die Prognose selbst jedoch einen sehr flachen Verlauf aufweist. Eine genaue Zuordnung des PWS-Wertes zu den Überrollungen ist damit schwierig. Dennoch deuten die Werte auch hier auf eine mögliche Zuordnung im Bereich der ersten paar tausend oder zehntausend Überrollungen hin. Auch die PWS-Werte des 2. sowie des 3. Fahrstreifens liegen prinzipiell korrespondierend zur Prognose, was insbesondere vor dem Hintergrund interessant ist, dass die Werte der drei Fahrstreifen nicht der ursprünglich eher erwarteten Reihung (niedrigster Wert beim 1. Fahrstreifen, höchster Wert beim 3. Fahrstreifen; siehe auch Kapitel 6.5.2) folgen. Insgesamt muss bei diesen Ergebnissen jedoch die bereits diskutierte geringere Aussagekraft der Ergebnisse aus dem 2. und dem 3. Fahrstreifen berücksichtigt werden (siehe oben).

Eine weitere Auswertungsmöglichkeit wäre der Einbezug nicht nur der Verkehrsbelastungszahlen aus dem Schwerverkehr, sondern aus dem gesamten Verkehr. Für die Abschnitte der BAB A5 (EOS: Abbildung 37, Moräne: Abbildung 38, Quarzporphyr: Abbildung 39) liegen diese Werte bei 28 Mio. Fahrzeugen für den 1. Fahrstreifen, 37 Mio. Fahrzeugen für den 2. Fahrstreifen und 31 Mio. Fahrzeugen für den

3. Fahrstreifen. Die ermittelten PWS-Werte der Abschnitte mit EOS sowie mit Moräne liefern hierzu plausible Zusammenhänge, der Abschnitt mit Quarzporphyr demgegenüber nicht.

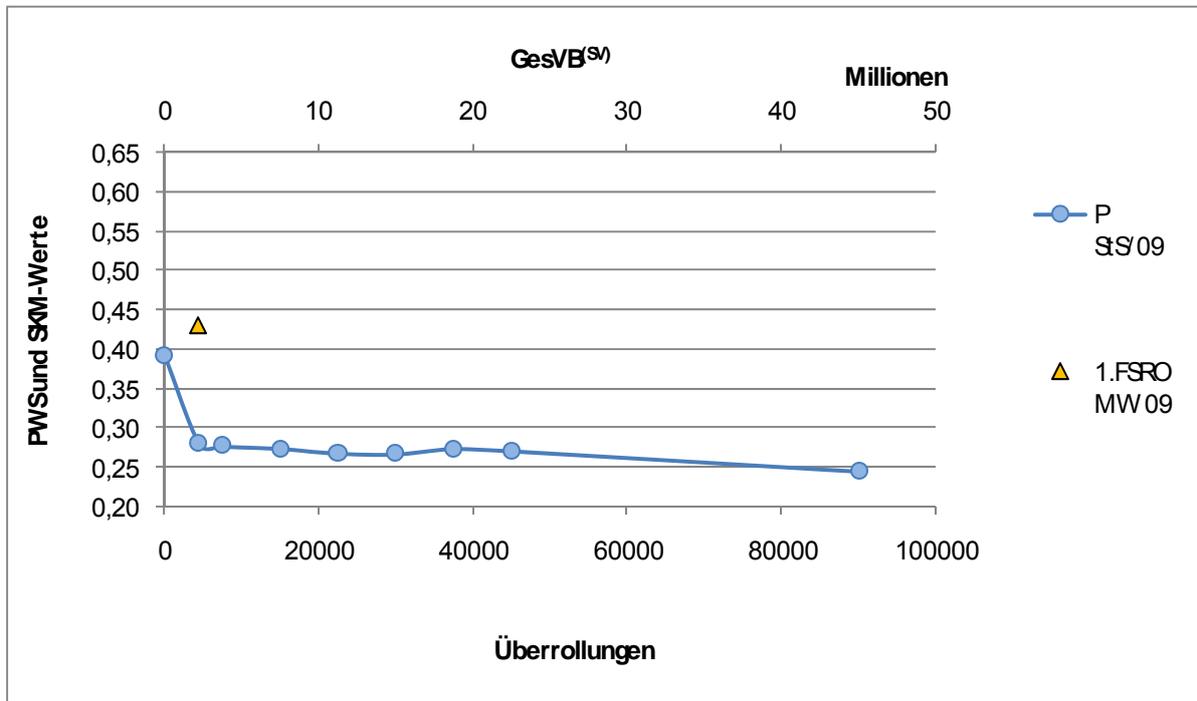


Abbildung 40: BAB A5, EOS, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkern des 1. Fahrstreifens nach einem Jahr Verkehrsbelastung

Bei den in Abbildung 40 dargestellten Zusammenhängen zum Abschnitt mit EOS der BAB A5 fällt zunächst auf, dass der PWS-Wert des 1. Fahrstreifens (wie schon beim Abschnitt mit Moräne der BAB A5 (Abbildung 38), oberhalb der Prognosewerte und damit auch des Anfangswertes liegt, wobei letzteres sich noch im Rahmen der Messgenauigkeit befindet. Aus den Ergebnissen kann zum einen die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Verkehrsbelastung nach einem Jahr noch zu gering ist für einen aussagekräftigen Vergleich mit den Prognosewerten. Zum anderen fallen die vergleichsweise niedrigen Werte aus der Prognose auf, die hier jedoch noch nicht weiter interpretiert werden, da es sich lediglich um die Ergebnisse eines einzelnen Bohrkernes handelt.

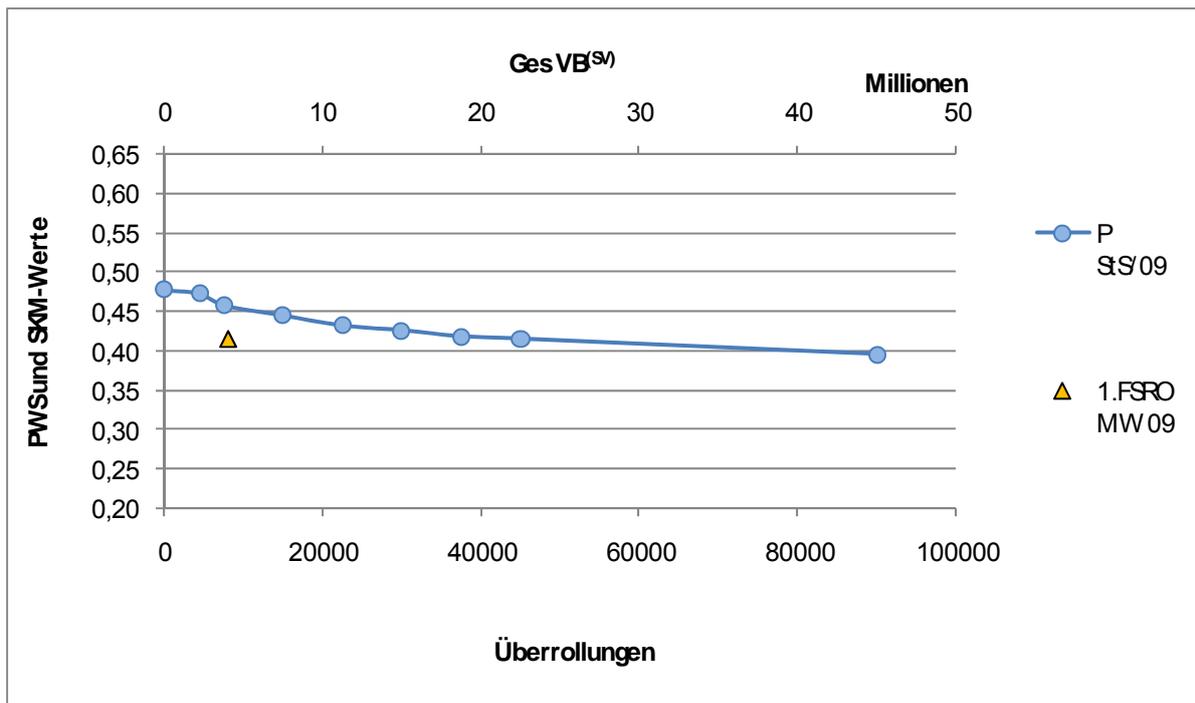


Abbildung 41: BAB A5, 50% EOS und 50% Moräne, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkern des 1. Fahrstreifens nach zwei Jahren Verkehrsbelastung

Die beiden in Abbildung 40 und Abbildung 41 behandelten Abschnitte liegen aufeinander folgend in der BAB A5, der Abschnitt mit 50 % EOS und 50 % Moräne (Abbildung 41) bei Bohrkernentnahme jedoch, da ein Jahr früher gebaut, schon seit zwei Jahren. Vergleichbar zu den Inhalten der Abbildung 40, handelt es sich bei den in Abbildung 41 dargestellten Zusammenhängen wiederum um die Ergebnisse aus der Prognoseprüfung eines einzelnen Bohrkernes. Der prinzipielle Verlauf der Prognoseprüfungen ist ähnlich wobei der Abschnitt mit EOS und Moräne keinen vergleichbar starken Abfall zu Beginn der Prognose aufweist. Da gleichzeitig jedoch die PWS-Werte des ersten Fahrstreifens in vergleichbarer Höhe liegen, ist hier eine Zuordnung zu den Überrollungen mittels der Prognose möglich. Die direkte Zuordnung ergibt einen Wert von ca. 40.000 Überrollungen, was aufgrund der bisherigen Ergebnisse sowie der nur zweijährigen Verkehrsbelastung recht hoch ist. Demgegenüber muss jedoch der flache Verlauf der Prognose berücksichtigt werden, so dass schon ein geringfügig höherer, und noch im Rahmen der Messgenauigkeit liegender, PWS-Wert zu deutlich geringeren Überrollungszahlen führte. Schlussendlich muss auch hier noch die bei Bohrkernentnahme relativ kurze Liegezeit Berücksichtigung finden.

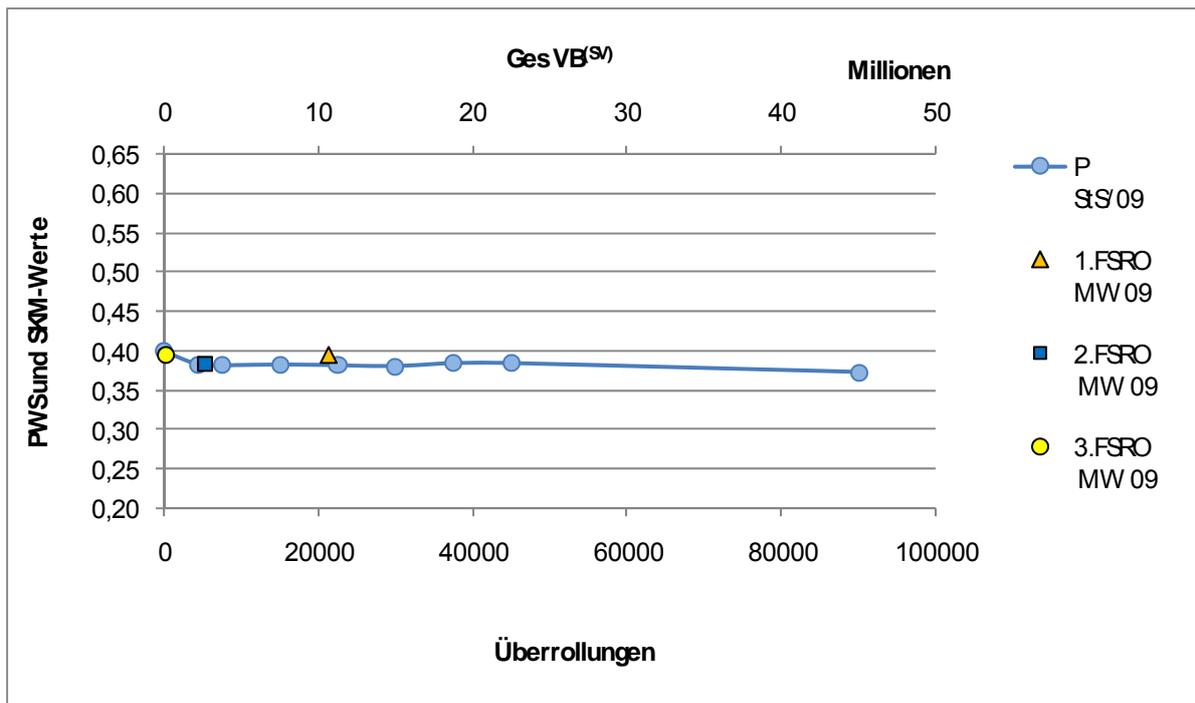


Abbildung 42: BAB A8, Syenit, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach sechs Jahren Verkehrsbelastung

Die Ergebnisse aus der Prognoseprüfung und den PWS-Messungen für die drei Fahrstreifen des Abschnittes mit Syenit der BAB A8, in Abbildung 42 dargestellt, machen eine genaue Zuordnung der PWS-Werte zu den Überrollungen aufgrund des sehr flachen Verlaufs der Prognose schwierig. Eine grundsätzliche Einordnung der Ergebnisse im Bereich der ersten paar zehntausend Überrollungen ist jedoch möglich.

Eine Korrelation der Überrollungen aus dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze mit den zugehörigen Verkehrsbelastungszahlen für den gesamten Schwerverkehr je Fahrstreifen ($\text{Ges VB}^{(sv)}$) ist aufgrund des zu geringen Datenumfangs nicht zielführend.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die vorhandene Datenbasis zur Feststellung definitiver Zusammenhänge zwar noch zu gering ist, grundsätzliche Zusammenhänge jedoch formuliert werden können. So deuten die Ergebnisse eindeutig darauf hin, dass mehrere Jahre Verkehrsbelastung bzw. mehrere Millionen Fahrzeuge des Schwerverkehrs einer Anzahl an Überrollungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze von mehreren Tausend bis wenigen Zehntausend Überrollungen entsprechen. Auch wenn an dieser Stelle eine genaue Zuordnung nicht möglich ist, ergeben sich hieraus dennoch deutliche Hinweise auf die notwendige maximale Überrollungsanzahl für eine Griffigkeitsprognose. Bereits bei einer Griffigkeitsprognose bis zu 90.000 Überrollungen werden demnach Ergebnisse erzielt, die deutlich jenseits der Beanspruchungen aus Verkehrsbelastung der hier untersuchten, bis zu acht

Jahre alten, Strecken liegen. Demzufolge ist davon auszugehen, dass eine maximale Überrollungsanzahl von 180.000 Überrollungen für eine Griffigkeitsprognose in jedem Fall ausreichend sein sollte.

6.5.4 Geschwindigkeitsabhängigkeit bei PWS-Messungen

Abbildung 43 zeigt beispielhaft PWS-Werte einzelner Bohrkerne in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Mit diesen separat durchgeführten Auswertungen wurde eine potenzielle Geschwindigkeitsunabhängigkeit des OPA bei Griffigkeitsmessungen, vergleichend zu den Ergebnissen der SKM-Messungen (siehe Kapitel 6.2.1), untersucht. Das in Abbildung 43 dargestellte Verhalten ist charakteristisch und bei der überwiegenden Anzahl der gemessenen Bohrkerne in gleicher oder ähnlicher Form, wenn auch teilweise schwächer ausgeprägt, zu finden.

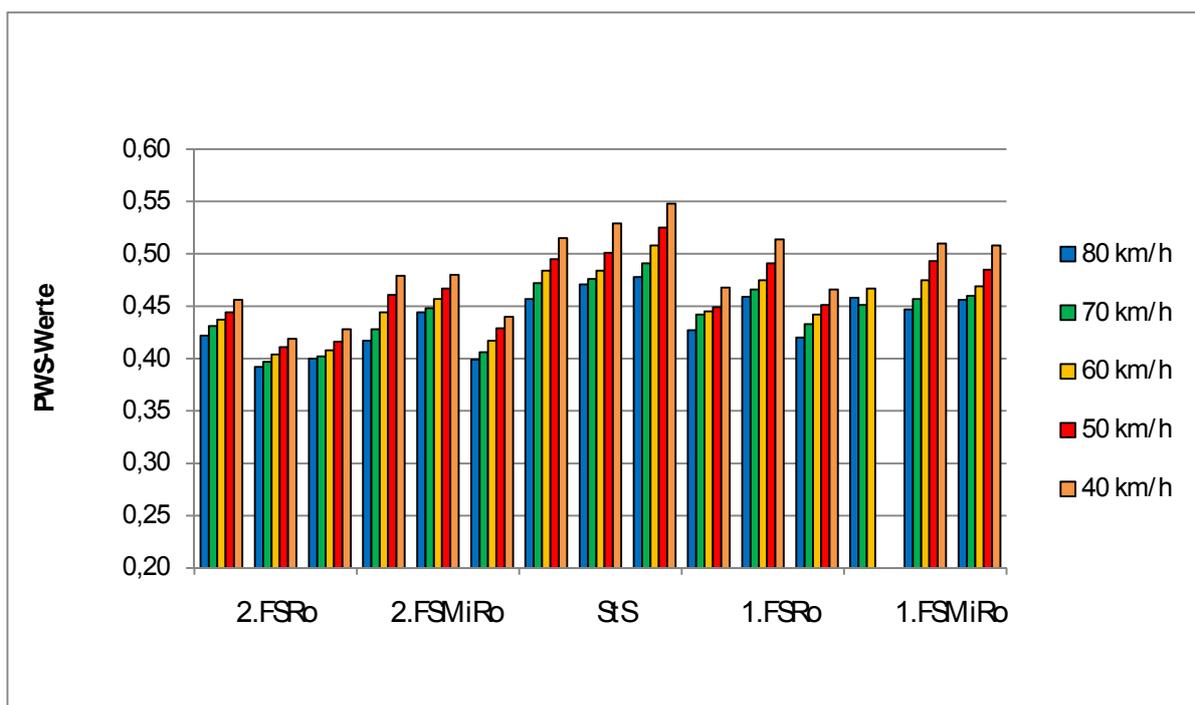


Abbildung 43: PWS-Werte einzelner Bohrkerne in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Es wird deutlich, dass die bei Messungen der Griffigkeit in situ beobachtete Geschwindigkeitsunabhängigkeit bzw. nur geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit des OPA durch die PWS-Werte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Bohrkerne nicht bestätigt werden kann. Die Werte steigen mit geringerer Geschwindigkeit an, vergleichbar zum Verhalten von dichten Asphalten (siehe auch Abbildung 44).

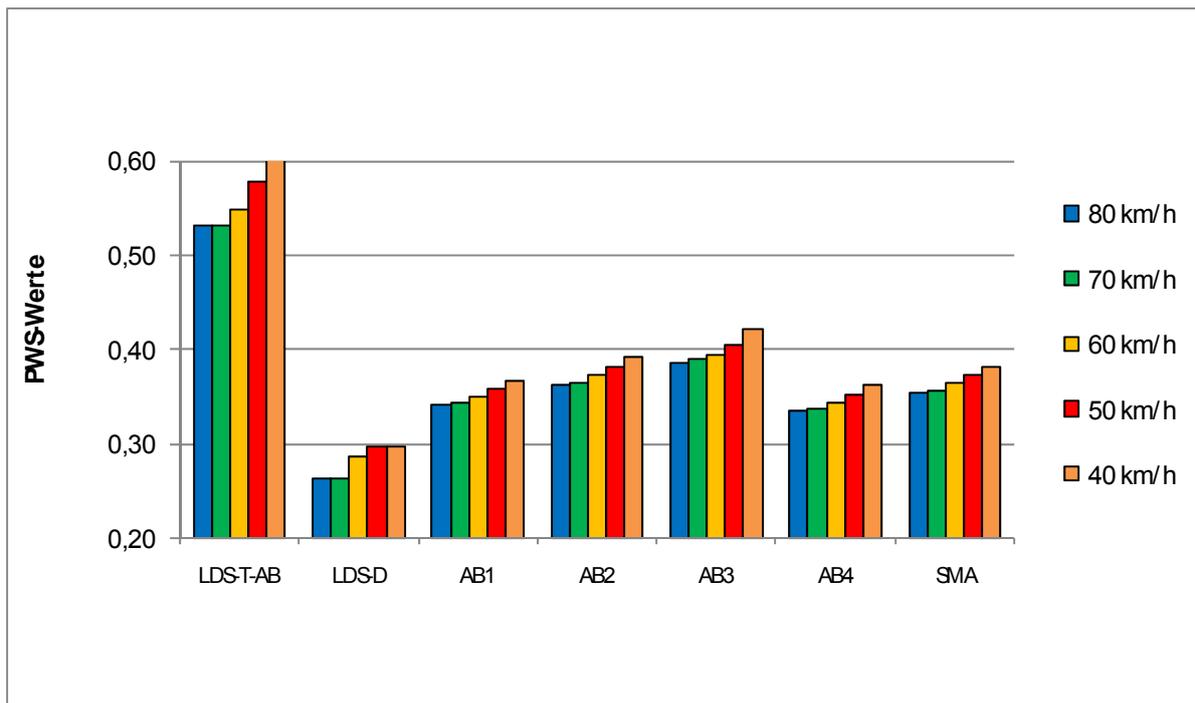


Abbildung 44: PWS-Werte von dichten Asphaltbelägen: Bohrkerne mit unterschiedlichen Schlacken, Walzsegmentplatten (Asphaltbeton, Splittmastixasphalt) nach 90.000 Überrollungen gemessen

Allerdings zeigen demgegenüber auch die ergänzend in Abbildung 45 dargestellten SKM- und PWS-Werte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für die BAB A8 einen, wenn auch geringer ausfallenden, Anstieg der Werte mit geringerer Geschwindigkeit, was die in Kapitel 6.2.1 dargestellten Ergebnisse der SKM-Messungen bestätigt. Daraus könnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Geschwindigkeitsunabhängigkeit des OPA bei Griffigkeitsmessungen nicht so ausgeprägt ist, wie bisher angenommen. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass bei der Messung in situ mit dem SKM kein Wasserfilm vergleichbar zur Messung auf dichten Belägen erzeugt wird, so dass sich die bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten gemessenen Werte stark annähern oder sogar gleich sind. Bei der Messung mit der Wehner/Schulze-Anlage hingegen wird ein deutlich größerer Wasserüberschuss erzeugt, wodurch die Werte, ähnlich zum Verhalten bei dichten Belägen, mit geringerer Geschwindigkeit ansteigen.

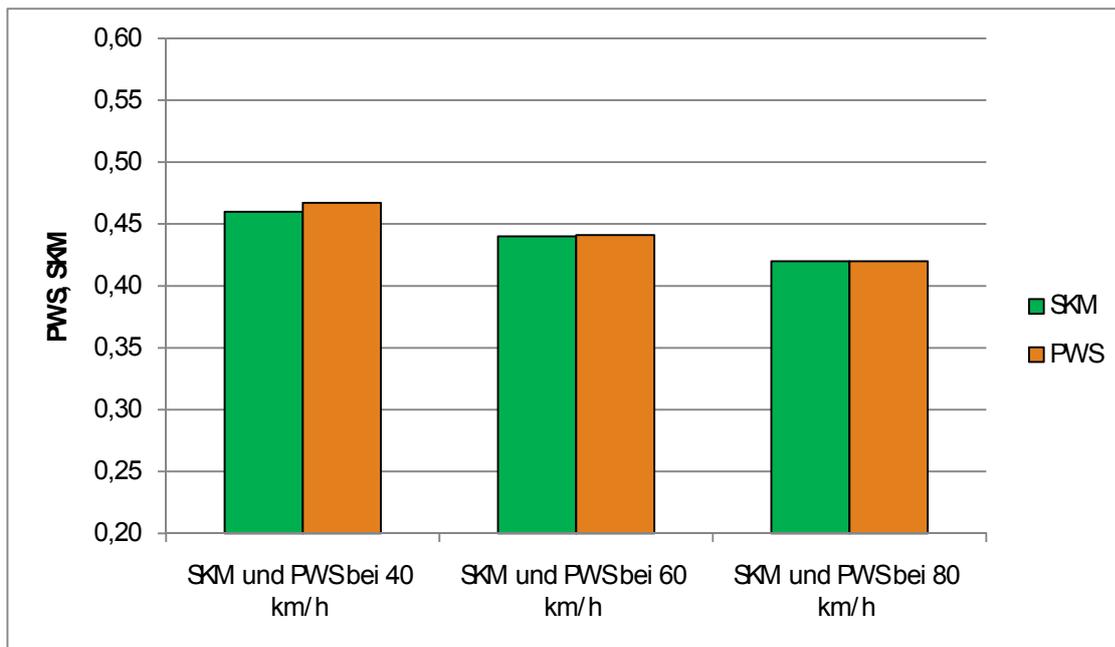


Abbildung 45: SKM- und PWS-Werte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (BAB A8)

6.5.5 Auswertungen hinsichtlich weiterer Parameter

Auswertungen hinsichtlich der Bauweise bzw. des Größtkorns der unterschiedlichen offenporigen Asphalte (OPA 0/8 und OPA 0/11) sowie hinsichtlich der Bindemittelart konnten aufgrund der mangelnden Variationsbreite der Daten für die hier untersuchten Strecken nicht durchgeführt werden.

6.6 Fahruntersuchungen

6.6.1 Messaufgabe

Zur Ergänzung der vorhandenen straßenbautechnischen Messverfahren wurden realistische Bremsversuche mit einem modernen Pkw auf verschiedenen Prüffeldern der BAST auf dem Versuchsgelände in Sperenberg sowie auf der mit OPA erneuerten Landesstraße L94 bei Melle in Niedersachsen durchgeführt (Referat F3 „Fahrzeug/Fahrbahn“). Über die dabei gemessenen Verzögerungswerte konnten somit die Reibkoeffizienten μ ermittelt werden.

Während die Messungen in Sperenberg auf nicht unter Verkehr liegenden Geräuschmessstrecken der BAST durchgeführt werden konnten, musste die Strecke in Melle durch die zuständige Straßenmeisterei gesichert werden. Dies erfolgte durch eine mobile Lichtsignalanlage (LSA), die während der Einrichtzeit der Messstrecke den Verkehr nur in einer Richtung freigab und während den Messungen die Straße zeitweise komplett sperrte. In Abbildung 46 ist die zu vermessende Strecke dargestellt.



Abbildung 46: Bereich der L94 mit einem Teil der Neubaustrecke, auf der die Bremsversuche durchgeführt wurden

6.6.2 Durchführung der Bremsversuche

Für die Durchführung von Nassbremsversuchen zur Bestimmung des Reibungskoeffizienten von Straßenoberflächen existieren keine Vorschriften. Zu beachten sind evtl. Vorgaben, die in anderen Regelungen gemacht werden, z. B. der ECE-R13 (Bremsanlagen) und der ECE-R117, mit der die Nassbremseigenschaften von Reifen geprüft werden.

6.6.2.1 Versuchsablauf in Melle

Als Versuchsfahrzeug wurde ein handelsüblicher BMW 520 mit ABV-Bremssystem verwendet. Die Erstzulassung des Fahrzeuges erfolgte am 18.07.2006. Eine Kopie der Zulassungsbescheinigung ist im Anhang 09.1 beigefügt.

Das Fahrzeug war mit Sommerreifen (ohne Notlaufeigenschaften) ausgerüstet. Die Reifenbezeichnung lautet „Michelin Pilot Primacy“ mit der Reifengröße 225/55 R16 95 W.

Zur Messung der Fahrzeuggeschwindigkeit wurde ein auf dem Global Positioning System (GPS) basierendes Messsystem eingesetzt, das außer der Befestigung der GPS-Antenne und der Spannungsversorgung über einen Adapter für den Zigarettenanzünder, keine weitere Verbindung zum Fahrzeug benötigt. Für die Ansteuerung und Datenspeicherung des GPS-Systems wurde ein Laptop eingesetzt, der mit der entsprechenden Software (Datenerfassung- und Speicherprogramm) versehen war.

Die Annässung der Fahrbahnoberfläche wurde mittels 5 handelsüblicher Beregner durchgeführt, die über einen Verteiler und einem Schlauch mit C-Rohranschluss an einem Hydranten angeschlossen waren. Das System ist so ausgelegt, dass auf einer geschlossenen Fahrbahndecke ein Wasserfilm von mindestens 1 mm erreicht wird. Auf der offenporigen Oberfläche wurde mit diesem System lediglich eine gleichmäßig nasse Oberfläche erreicht. Durch die gute Drainage der Fahrbahn bildete sich kein geschlossener Wasserfilm. Die Bilder in Abbildung 47 zeigen die angenässte Fahrbahn mit dem bremsenden Versuchsfahrzeug.



Abbildung 47: Ansichten der nassen Fahrbahn mit Versuchsfahrzeug (siehe dazu auch das Bild im Anhang 09.2)

Es sollten mindestens 10 Messungen durchgeführt werden. Für eine Messung wurde das Fahrzeug auf eine Geschwindigkeit von deutlich mehr als 80 km/h beschleunigt. Nach Erreichen des Messfeldes wurde die Vollbremsung eingeleitet und bis zum Stillstand ausgeführt. Die Messwerterfassung wurde automatisch bei 80 km/h gestartet und bei 10 km/h beendet. Für diesen stets gleichen Geschwindigkeitsbereich wurden die Daten gespeichert. Ein Beispiel für den Verlauf des Weges, der Geschwindigkeit und der Verzögerung über der Zeit ist in Abbildung 48 dargestellt.

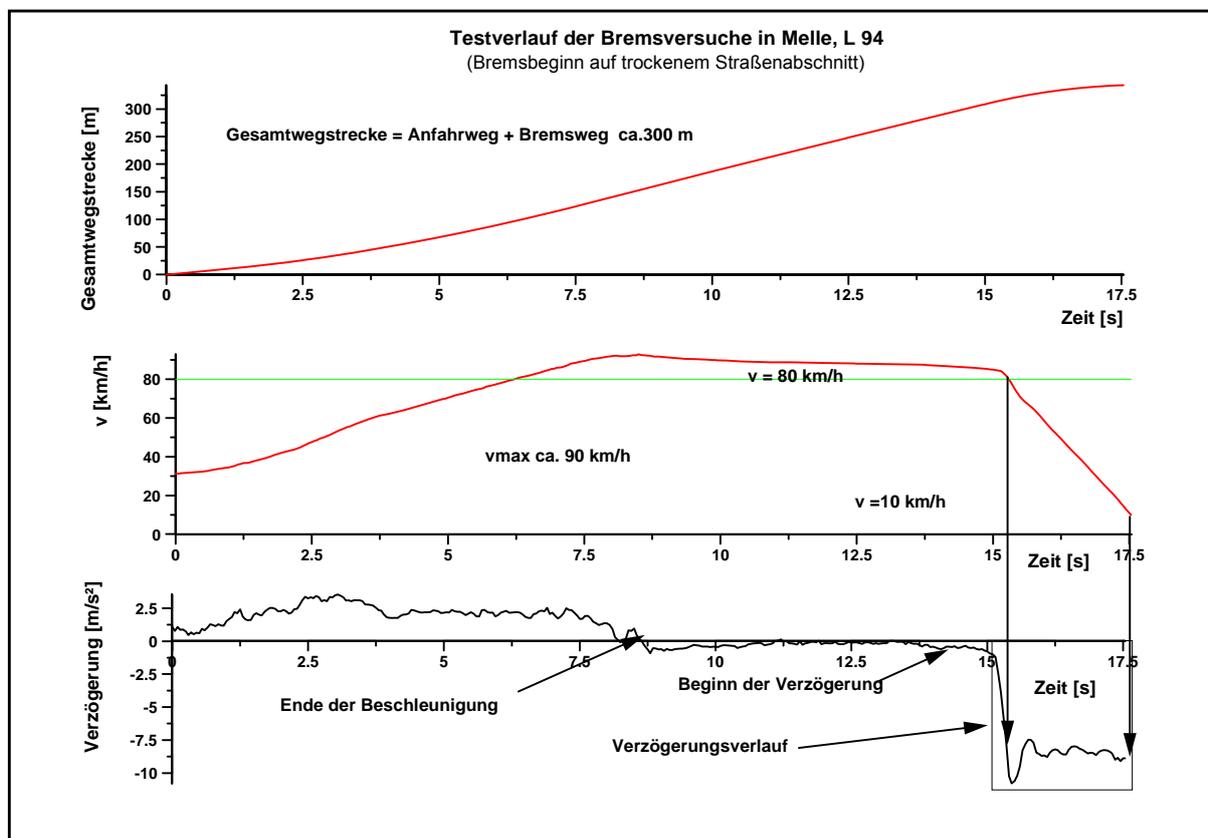


Abbildung 48: Darstellung von Weg, Geschwindigkeit und Verzögerung während eines Versuchslaufs

6.6.2.2 Versuchsablauf in Sperenberg

Als Versuchsfahrzeug wurde ein DaimlerChrysler E200 CDI aus dem Fuhrpark der BAST eingesetzt. Die technischen Daten sind der Kopie des Fahrzeugbriefes zu entnehmen, der als Anhang 10.1 beiliegt. Das Fahrzeug wurde mit eingeschaltetem ABV gebremst.

Für die Ermittlung der Nassbremswerte wurden folgende Straßenoberflächen ausgewählt:

- dichter Asphaltbeton AB 0/8, entsprechend ISO 10844, Feld A4,
- Gussasphalt mit Abstreuerung 2/3, Feld GA5,
- offenporiger Asphalt OPA 4/8, Feld A1¹,
- Splittmastixasphalt SMA 0/8, Feld A10, A9,
- offenporiger Betonbelag, Feld B17.

Für die Datenerfassung wurde eine Messkette eingesetzt, deren Weg- bzw. Geschwindigkeitsmessung auf den Positionssignalen des Global Positioning Systems (GPS) basiert. Für eine Messung müssen mindestens 7 Satellitensignale empfangen werden.

Der Versuchsablauf wurde in Anlehnung an die ECE-R13 „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Pkw hinsichtlich der Bremsen“ geplant, siehe Anhang 10.2 Die Annässung der Bremsstrecken wurde mit Hilfe der örtlichen Feuerwehr ausgeführt. Zur Durchführung der Annässung wurden drei Schläuche mit C-Rohranschluss eingesetzt, die von Hand geführt, eine Strecke von ca. 25 m annässten.

Es wurden pro Messfeld mindestens 10 Messungen durchgeführt. Für eine Messung wurde das Fahrzeug auf eine Geschwindigkeit von ca. 100 km/h beschleunigt. Nach Erreichen des Messfeldes wurde die Vollbremsung eingeleitet und bis zum Stillstand ausgeführt. Die Messwerterfassung wurde automatisch bei 80 km/h gestartet und bei 10 km/h beendet. Für diesen stets gleichen Geschwindigkeitsbereich wurden die Daten gespeichert.

6.6.3 Ergebnisse

6.6.3.1 Ergebnisse L94 „Melle“

Die Bestimmung der Griffigkeit mittels realer Bremsversuche wurden durch eine Messung mit dem SRT-Pendel ergänzt. Bei dieser Messung wird ein Gummiklotz

¹ Die Feldbezeichnungen beziehen sich auf die Definitionen zum Gelände Sperenberg in Heft 847, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Anhang 10.3

mittels eines Pendels über die zu messende Oberfläche bewegt (siehe auch Kapitel 5.2.2). Von der Rauheit der Oberfläche ist der Verlust der Bewegungsenergie abhängig, der über die Ausschwinghöhe des Pendels bestimmt wird. Das Ergebnis wird in SRT-Einheiten ausgedrückt. Diese SRT-Einheiten sind willkürlich gewählt und korrelieren mit keiner entsprechenden Messgröße, wie z. B. einem Reibungskoeffizienten. Der Wert einer griffigen Straßenoberfläche sollte größer 60 SRT-Einheiten sein. Bei den Messungen auf dem OPA-Belag auf der L94 wurden nur 57 Einheiten gemessen. Bei einem OPA ist das ein „normaler“ Wert, weil die offenporige Oberfläche dem Gummiklotz nicht genügend Reibfläche bietet. Das Messprotokoll liegt im Anhang 09.3 bei.

Auf der Prüfstrecke mit offenporigem Asphalt wurden 12 Bremsungen durchgeführt, von denen 8 Bremsungen ausgewertet werden konnten. In der nachfolgenden Tabelle 16 sind die typischen Bremswerte dargestellt.

Tab. 16: Typische Bremswerte auf dem OPA-Belag der L94

Versuchsbezeichnung	Bremsweg [m]	Bremsdauer [s]	mittlere Verzögerung* a_{Fz} [m/s ²]		mittleres μ_{ISO} des Bremsvorganges**	
			\bar{a}	s	μ	s
Melle 02	29,42	2,31	-8,30	1,028	0,85	0,10
Melle 04	27,39	2,23	-8,53	0,813	0,87	0,08
Melle 06	29,53	2,31	-8,48	0,506	0,86	0,05
Melle 08	29,11	2,36	-8,53	0,327	0,87	0,03
Melle 10	28,61	2,28	-8,46	0,757	0,86	0,08
Melle 12	28,91	2,26	-8,63	0,489	0,88	0,05
Melle 13	28,59	2,28	-8,59	0,527	0,88	0,05
Melle 15	29,62	2,35	-8,36	0,432	0,85	0,04
Mittelwert	28,90	2,30	-8,49		0,86	
Standardabweichung	0,726	0,044	0,111		0,011	

* Mittelwert der gemessenen Verzögerungswerte, Abtastrate 10 Hz

**

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad F_R = m \times a \quad F_N = m \times g$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

6.6.3.2 Ergebnisse Versuchsgelände „Sperenberg“

Dichter Asphaltbeton AB 0/8 (nach ISO 10844)

Auf dem dichten Asphaltbetonbelag wurden 11 Bremsungen durchgeführt. Die Einzelergebnisse können aus den Datenblättern und den Diagrammen im Anhang 10.4

entnommen werden. Die nachfolgende Tabelle 17 zeigt die gemessenen Werte für die Verzögerungszeit und den Bremsweg sowie die errechneten Werte für die mittlere Verzögerung und den dabei erreichten mittleren Reibungskoeffizienten μ_{ISO} .

Tab. 17: Typische Bremswerte auf einem AB 0/8-Belag (ISO 10844)

Versuchsbezeichnung	Bremsweg [m]	Bremsdauer [s]	mittlere Verzögerung* a_{Fz} [m/s ²]		mittleres μ_{ISO} des Bremsvorganges**	
			\bar{a}	σ	μ	σ
ISO 01	27,70	2,26	-8,51	1,341	0,867	0,137
ISO 02	27,00	2,18	-8,96	0,843	0,913	0,086
ISO 03	26,04	2,13	-9,08	0,958	0,926	0,098
ISO 04	26,10	2,11	-9,28	0,897	0,946	0,091
ISO 05	26,30	2,16	-9,25	0,775	0,943	0,079
ISO 06	25,82	2,11	-9,23	0,866	0,941	0,088
ISO 07	25,73	2,09	-9,22	0,179	0,940	0,048
ISO 08	24,57	2,01	-9,27	1,315	0,945	0,134
ISO 09	25,54	2,06	-9,35	0,604	0,953	0,061
ISO 10	25,65	2,11	-9,14	1,117	0,931	0,114
ISO 11	25,36	2,06	-9,41	0,825	0,959	0,084
Mittelwert	25,89	2,12	-9,15		0,933	
Standardabweichung σ	0,931	0,067	0,247		0,025	

* Mittelwert der gemessenen Verzögerungswerte, Abtastrate 10 Hz

**

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad F_R = m \times a \quad F_N = m \times g$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

Gussasphalt GA 2/3

Auf dem Gussasphaltbelag, der mit einem Quarzporphyrspplitt der Körnung 2/3 mm ab gestreut war, wurden 10 Bremsungen durchgeführt. Die Daten und Diagramme sind im Anhang 10.5 aufgeführt. In Tabelle 18 sind die typischen Bremswerte dargestellt.

Tab. 18: Typische Bremswerte auf einem GA 2/3-Belag

Versuchsbezeichnung	Bremsweg [m]	Bremsdauer [s]	mittlere Verzögerung* a_{Fz} [m/s ²]		mittleres μ_{ISO} des Bremsvorganges**	
			$\bar{\alpha}$	σ	μ	σ
GA01	24,88	2,05	-9,52	0,997	0,970	0,101
GA 02	25,63	2,10	-9,02	1,125	0,919	0,115
GA 03	26,91	2,14	-9,27	0,793	0,945	0,081
GA 04	26,66	2,13	-9,34	1,046	0,952	0,107
GA 05	26,30	2,16	-9,28	0,966	0,946	0,099
GA 06	25,36	2,09	-9,47	1,095	0,965	0,112
GA 07	26,62	2,16	9,17	0,801	0,935	0,082
GA 08	24,64	2,04	-9,54	1,028	0,972	0,105
GA 09	28,50	2,24	-8,98	1,229	0,915	0,125
GA 10	26,14	2,19	-9,19	1,554	0,937	0,158
Mittelwert	26,16	2,13	-9,28		0,946	
Standardabweichung σ	1,124	0,062	0,195		0,020	

* Mittelwert der gemessenen Verzögerungswerte, Abtastrate 10 Hz

**

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad F_R = m \times a \quad F_N = m \times g$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

Offenporiger Asphalt OPA 4/8

Auf der Prüfstrecke mit offenporigem Asphalt wurden 12 Bremsungen durchgeführt. Die entsprechenden Daten und Diagramme werden im Anhang 10.6 gezeigt. In der nachfolgenden Tabelle 19 sind die typischen Bremswerte dargestellt.

Tab. 19: Typische Bremswerte auf einem OPA 4/8-Belag

Versuchsbezeichnung	Bremsweg [m]	Bremsdauer [s]	mittlere Verzögerung* a_{Fz} [m/s ²]		mittleres μ_{ISO} des Bremsvorganges**	
			$\bar{\alpha}$	σ	μ	σ
OPA 01	28,91	2,31	-8,57	0,914	0,874	0,093
OPA 02	29,06	2,36	-8,28	1,024	0,844	0,104
OPA 03	28,72	2,31	-8,48	0,506	0,864	0,052
OPA 04	29,39	2,36	-8,38	0,861	0,854	0,088
OPA 05	29,01	2,36	-8,40	0,915	0,856	0,093
OPA 06	28,72	2,32	-8,45	1,040	0,861	0,106
OPA 07	28,66	2,31	-8,52	0,939	0,869	0,096
OPA 08	29,63	2,34	-8,40	1,134	0,856	0,116
OPA 09	29,59	2,39	-8,28	1,206	0,844	0,123
OPA 10	29,21	2,31	-8,57	1,070	0,874	0,109
OPA 11	27,86	2,31	-8,34	1,084	0,850	0,110
OPA 12	30,34	2,46	-7,84	0,927	0,799	0,094
Mittelwert	29,09	2,35	-8,38		0,854	
Standardabweichung	0,619	0,045	0,196		0,020	

* Mittelwert der gemessenen Verzögerungswerte, Abtastrate 10 Hz

**

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad F_R = m \times a \quad F_N = m \times g$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

Splittmastixasphalt SMA 0/8

Auf der Splittmastixasphalt-Prüfstrecke wurden ebenfalls 12 Bremsungen durchgeführt. Die entsprechenden Daten und Diagramme werden im Anhang 10.7 gezeigt. In der nachfolgenden Tabelle 20 sind die typischen Bremswerte dargestellt.

Tab. 20: Typische Bremswerte auf einem SMA 0/8-Belag

Versuchsbezeichnung	Bremsweg [m]	Bremsdauer [s]	mittlere Verzögerung* a_{Fz} [m/s ²]		mittleres μ_{ISO} des Bremsvorganges**	
			\bar{a}	σ	μ	σ
SMA 01	27,36	2,17	-8,98	0,541	0,915	0,055
SMA 02	26,39	2,10	-9,09	1,205	0,926	0,123
SMA 03	29,51	2,26	-8,40	1,393	0,856	0,142
SMA 04	29,28	2,30	-8,28	1,184	0,844	0,121
SMA 05	28,54	2,19	-8,58	1,822	0,875	0,186
SMA 06	28,31	2,20	-8,58	1,653	0,875	0,169
SMA 07	28,28	2,26	-8,34	1,548	0,851	0,158
SMA 08	26,88	2,10	-8,96	1,328	0,913	0,135
SMA 09	29,90	2,35	-8,11	1,641	0,827	0,167
SMA 10	29,52	2,30	-8,28	1,243	0,844	0,127
SMA 11	27,29	2,16	-8,78	0,899	0,895	0,092
SMA 12	27,97	2,17	-8,61	1,399	0,877	0,143
Mittelwert	28,35	2,21	-8,58		0,874	
Standardabweichung	1,093	0,080	0,316		0,319	

* Mittelwert der gemessenen Verzögerungswerte, Abtastrate 10 Hz

**

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad F_R = m \times a \quad F_N = m \times g$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

Offenporiger Betonbelag

Zum Vergleich mit den verschiedenen Asphaltbelägen wurde auch ein Betonbelag in die Messungen einbezogen. Auf dem Betonbelag wurden mangels Wasser zum Anrassen nur 7 Bremsungen durchgeführt, die nicht in gleicher Weise bewässert werden konnten, wie die Bremsversuche auf Asphalt. In der nachfolgenden Tabelle 21 sind die gemessenen Bremswerte für diesen Belag dargestellt.

Tab. 21: Auf einem offenporigen Beton-Belag gemessene und errechnete Bremswerte

Versuchsbezeichnung	Bremsweg [m]	Bremsdauer [s]	mittlere Verzögerung* a_{Fz} [m/s ²]		mittleres μ_{ISO} des Bremsvorganges**	
			\bar{a}	σ	μ	σ
OPB 01**	26,71	2,19	-8,69	0,803	0,886	0,082
OPB 02**	25,93	2,11	-8,95	0,890	0,912	0,091
OPB 03**	26,47	2,22	-8,20	1,629	0,836	0,166
OPB 04**	26,08	2,15	-8,97	0,730	0,915	0,074
OPB 05	27,80	2,26	-8,75	0,883	0,892	0,090
OPB 06	27,14	2,21	-8,83	0,540	0,900	0,055
OPB 07***	26,41	2,19	-8,89	0,589	0,906	0,068
Mittelwert	26,65	2,19	-8,75		0,890	
Standardabweichung	0,65	0,05	0,26		0,03	

* Mittelwert der gemessenen Verzögerungswerte, Abtastrate 10 Hz

**

$$\mu = \frac{F_R}{F_N} \quad F_R = m \times a \quad F_N = m \times g$$

$$\mu = \frac{a}{g}$$

6.6.4 Zusammenfassung

Die Bremsversuche auf einer nicht abgesperrten Landstraße L94 bei Melle konnten dank der mobilen Lichtsignalanlage in einem Zeitraum von zwei Stunden ohne Gefährdung des Verkehrs oder des Messteams durchgeführt werden. Auch das Gelände in Sperenberg ließ die Durchführung von Nassbremsversuchen auf unterschiedlichen Straßenoberflächen in idealer Weise zu. Es stand genügend Raum für Beschleunigen und Abbremsen des Versuchsfahrzeuges zur Verfügung. Die Bewässe-

rung der Strecken mit Hilfe der Feuerwehr war möglich, jedoch erwies sich die Annässung mittels der drei C-Schläuche als nicht ausreichend. In den Diagrammen im Anhang, in denen die Beschleunigung über der Zeit dargestellt ist, sind deutlich die Anstiege der Beschleunigung nach dem Passieren der Wasserlachen zu erkennen. Wie aus der Tabelle 16 ersichtlich, lagen die gemessenen Bremswege in Melle bei einem Minimum von 27,39 m und einem Maximum von 29,62 m. Der Streubereich betrug 2,23 m bzw. ca. 8 %. Die daraus errechnete Verzögerung erreichte Werte von 8,3 m/s² bis 8,6 m/s². Mit wenigen Ausnahmen wurden gleichmäßige Verzögerungen erreicht, wie an den Standardabweichungen der Verzögerungswerte ersichtlich ist. Besonders bei den ersten Bremsungen wurde die Bremsung bei etwas zu geringen Geschwindigkeiten oberhalb von 80 km/h durchgeführt. Das führte dazu, dass der Anstieg der Verzögerung noch innerhalb der Messzeit lag, die bei 80 km/h gestartet wurde. In Sperenberg wurden auf allen Belägen für die Bremsung des Versuchsfahrzeuges aus einer Geschwindigkeit von 80 km/h auf 10 km/h mittlere Beschleunigungen erreicht, die um 9 m/s² liegen (siehe Tabelle 22).

Tab. 22: Ergebnisse von Bremsversuchen mit einem serienmäßigen Pkw auf unterschiedlichen Straßenoberflächen

Messstelle	mittlerer Bremsweg [m]	mittlere Bremszeit [s]	mittlere Verzögerung [m/s ²]	errechneter mittlerer Reibungskoeffizient
Messung in Sperenberg				
Asphaltbeton 0/8	25,89	2,12	-9,15	0,933
Gussasphalt	26,16	2,13	-9,28	0,946
offenporiger Asphalt	29,09	2,35	-8,38	0,854
Splittmastixasphalt	28,35	2,21	-8,58	0,874
offenporiger Beton*	26,65	2,19	-8,75	0,890
Messung in Melle				
offenporiger Asphalt	28,90	2,30	-8,49	0,860

* eventueller Einfluss wegen ungenügender Annässung

Der Belag mit der geringsten Griffigkeit ist der offenporige Asphalt. Die errechneten mittleren Reibungskoeffizienten differieren zu diesem bis zu 10,8 %. Bei den dichten Asphaltbelägen ist eine deutliche Abhängigkeit der Griffigkeit von der Textur festzu-

stellen. Die Asphaltbeläge mit einem hohen Mörtelanteil wie der Gussasphalt und der dichte Asphaltbeton, die dem Reifen eine größere Berührungsfläche bieten, haben einen um ca. 10 % höheren Reibungskoeffizienten. Beim OPA und SMA, bei denen der Reifen vornehmlich über die Flächen des Größtkorns abrollt, sind die Berührungsflächen geringer und demzufolge die Reibungskräfte kleiner. Folgende Darstellung der Kontaktflächen eines Reifens auf verschiedenen Straßenbelägen verdeutlicht dies (Abbildung 49).



Abbildung 49: Flächenanteile der Reifenkontaktfläche bei unterschiedlichen Oberflächen

Vergleicht man die Ergebnisse der Bremsversuche auf dem offenporigen Asphalt bei Melle mit den Ergebnissen der Bremsversuche auf offenporigem Asphalt in Sperenberg, so kann eine sehr große Übereinstimmung festgestellt werden.

Die bislang durchgeführten Fahrversuche sind jedoch relativ wenige einzelne Messungen, die aber interessante Ergebnisse liefern. Um darüber hinaus eine aussagekräftige Bewertung der Fahrversuche machen zu können, ist es notwendig, auf weiteren Messstrecken reale Bremsversuche durchzuführen.

Daher wurde in der 3. Betreuungsausschusssitzung angeregt, in einem neuen Projekt bzw. bei neuen OPA-Streckenabschnitten vor der Verkehrsübergabe Bremsversuche und SKM-Messungen durchzuführen, wobei die Möglichkeit der Bewässerung der Strecke bestehen muss.

6.7 Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens

6.7.1 Vorbemerkung

Informationen über Veränderungen und spezielle Randbedingungen auf den untersuchten OPA- und Kontrollstrecken lagen nicht vor. Bei der Interpretation der Ergebnisse wurde daher davon ausgegangen, dass OPA- und Kontrollstrecken im zeitlichen Verlauf vergleichbare Entwicklungen bezüglich der Verkehrsstärke, der Verkehrszusammensetzung und baulicher Veränderungen (z. B. Fahrstreifenanzahl) erfahren haben.

6.7.2 Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken

In Tabelle 23 ist die Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken bei allen Witterungslagen dargestellt. Dabei wurden die im Zeitraum 1996 bis 2007 registrierten Unfälle auf BAB den OPA-Strecken zugeordnet und jährlich tabelliert. Anschließend wurde für jede Strecke der jeweilige Vorher-Nachher-Zeitraum definiert und die Unfälle für diese Zeitbereiche zusammengefasst.

Auf der A2 wurden zusammenhängende OPA-Bereiche zu längeren Strecken zusammengefasst. Ausgehend von den Einzelergebnissen der OPA-Teilstrecken einer BAB wurde auf BAB-Ebene und weiter auf alle OPA-Strecken aufsummiert.

Nach Zusammenfassung aller OPA-Strecken (Streckenlänge 97 km) ergibt sich ein Rückgang der „Unfälle mit Personenschaden“ (U (P)) und der „Schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinn“ (U (SS)) um rund 9% (vgl. Tabelle 23).

Tab. 23: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf OPA-Strecken mit jeweils individuellem Vorher-Nachher-Zeitraum

Entwicklung der U(P) und U(SS) vor und nach der Umrüstung mit OPA	Betrachtete Zeiträume	U(P) + U(SS)		
		Vorher	Nachher	Veränderung in %
- Alle OPA-Strecken		646	591	-9%
- A1 __ OPA-komplett		282	287	2%
1 Schwerte FR Köln 71,50- 67,45	97-99 vs. 01-03	148	167	13%
2 Schwerte FR Bremen 71,50- 67,45	98-00 vs. 02-04	38	48	26%
3 Schwerte FR Köln 67,45- 64,37	99-01 vs. 03-05	47	42	-11%
4 Schwerte FR Bremen 67,45- 64,37	00-02 vs. 04-06	49	30	-39%
- A2 __ OPA-komplett		296	220	-26%
1 Bad Nenndorf FR Dortmund 253,50-250,35	96-97 vs. 99-00	10	8	-20%
2 Bkm 199,1-189,8	verschiedene	144	89	-38%
3 Bkm 175,9-169,0	1996 vs. 1998	65	37	-43%
4 Bkm 140,5-136,0	96-97 vs. 00-01	27	30	11%
5 Bkm 134,15-129,18	96-97 vs. 99-00	50	56	12%
- A3 __ OPA-komplett		34	53	56%
1 OB-Holten - OB-West FR Passau 69,00- 71,00	98-00 vs. 02-04	16	39	144%
2 OB-West - OB-Holten FR Arnheim 71,00- 69,00	98-00 vs. 02-04	18	14	-22%
- A30 __ OPA-komplett		34	31	-9%
1 Hasbergen-Gaste- OS-Sutthausen FR B-Oeynhsn 67,08- 72,10	2005 vs. 2007	9	8	-11%
2 Kreuz OS-Süd - OS-Hellern FR Niederl. 76,21- 72,12	01-03 vs. 05-07	14	18	29%
3 OS-Sutthausen - Hasbergen-Gaste FR Niederl. 72,12- 67,18	03-04 vs. 06-07	11	5	-55%

U(P): Unfälle mit Personenschaden

U(SS): Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne

BAST-U2p-47/2008

Dieser Gesamtrückgang zeigt sich nicht auf allen Teilstrecken. Auf 8 der 14 Teilstrecken sind Rückgänge zu beobachten. Bezogen auf die einzelnen Untersuchungsstrecken fallen die Rückgänge überwiegend deutlicher aus als die Anstiege. Auf der A2 zeigt sich eine uneinheitliche Entwicklung. Während auf den Teilstrecken 1 und 2 deutliche Anstiege zu verzeichnen sind, hat sich in den anschließenden Teilbereichen 3 und 4 das Unfallgeschehen rückläufig entwickelt. Die Bautätigkeit fand auf den 4 Teilbereichen zwischen 2000 und 2003 statt. Klammert man den gesamten Zeitraum der Bautätigkeit für alle diese 4 Teilbereiche der A2 aus und betrachtet den Zeitraum 1997-99 gegenüber 2004-06, ergibt sich auf der OPA-Strecke ein Rückgang der Unfälle um 37%. Dieser Rückgang wird insbesondere durch die Teilstrecke 1 geprägt. Auf dieser Teilstrecke wurden in diesem veränderten Nachher-Zeitraum (2004-06) lediglich 40 Unfälle registriert (-73%). Zum Vergleich: Im Zeitraum direkt nach der Verkehrsfreigabe der OPA-Deckschicht 2001-03 ereigneten sich 167 Unfälle. Hier wird die besondere Bedeutung weiterführender Informationen zu den einzelnen Teilstrecken deutlich. Im vorliegenden Fall könnte dann möglicherweise der

deutliche Rückgang der Unfallzahlen erst 3 Jahre nach Einführung der OPA-Deckschicht erklärt werden.

6.7.3 Unfallentwicklung auf den Kontrollstrecken

Die im ersten Schritt festgelegten Kontrollstrecken wurden nach derselben Systematik ausgewertet wie die OPA-Strecken. Auch hier zeigen sich überwiegend Rückgänge (insgesamt -29%). Da jedoch nur eine der Kontrollstrecken von den Ländern bestätigt wurde und der mögliche Einfluss örtlicher Besonderheiten bei der vorliegenden Streckenlänge von rund 130 km Kontrollstrecke zu groß erschien, wurde ein neuer Ansatz für die Auswahl der Kontrollstrecken getroffen.

Es wurden die von der OPA-Einführung nicht betroffenen Bereiche der entsprechenden BAB im jeweiligen Bundesland ausgewählt. Dabei wurden auch die zunächst ausgewählten Kontrollstrecken - wegen ihrer räumlichen Nähe - aus diesem neuen erweiterten Kollektiv ausgeschlossen. Es ergeben sich insgesamt 4 "erweiterte" Kontrollstrecken, die für den Vergleich mit den OPA-Strecken herangezogen werden. Basierend auf den vorliegenden Zeiträumen der OPA-Streckenauswertung wurde für jede dieser Kontrollstrecken ein entsprechender Zeitbereich ausgewertet.

Auf den erweiterten Kontrollstrecken zeigt sich insgesamt ein ähnlicher Rückgang der U(P) und U(SS) im Vorher- und Nachher-Zeitraum (-13%). Auch die einzelnen Zeiträume treten bis auf zwei Ausnahmen durch Rückgänge hervor. Der direkte Vergleich der OPA-Strecken mit den Kontrollstrecken zeigt auf der A2 und der A30 stärkere Rückgänge auf den OPA-Strecken. Nur auf 2 Teilstrecken sind diese Rückgänge auch statistisch signifikant.

Insgesamt gesehen ist somit davon auszugehen, dass OPA-Deckschichten im Allgemeinen keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben. Im Einzelfall können sowohl Verbesserungen als auch Verschlechterungen auftreten. Hier zeigte die Auswertung der einzelnen OPA-Teilstrecken sehr heterogene Ergebnisse (vergleiche Tabelle 24).

Tab.24: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-Nachher-Zeitraum

Entwicklung der U(P) und U(SS) auf den erweiterten Kontrollstrecken im jeweiligen Vorher-/Nachher-Zeitraum	U(P) + U(SS)		
	Vorher	Nachher	Veränderung in %
- Alle Kontrollstrecken	15.368	13.337	-13%
- A1 __ in NW, Regierungsbezirk Arnsberg	4.175	3.697	-11%
1 Vorher: 1997-1999, Nachher: 2001-2003	995	1.008	1%
2 Vorher: 1998-2000, Nachher: 2002-2004	1.008	928	-8%
3 Vorher: 1999-2001, Nachher: 2003-2005	1.076	883	-18%
4 Vorher: 2000-2003, Nachher: 2004-2006	1.096	878	-20%
- A2 __ in Niedersachsen gesamt	9.219	7.674	-17%
1 Vorher: 1996-1997, Nachher: 1999-2000	1.117	775	-31%
2 verschiedene Zeiträume aggregiert	2.999	2.435	-19%
3 Vorher: 1996, Nachher: 1998	1.300	1.208	-7%
4 Vorher: 1996-1997, Nachher: 2000-2001	2.686	2.481	-8%
5 Vorher: 1996-1997, Nachher: 1999-2000	1.117	775	-31%
- A3 __ in NW, Regierungsbezirk Düsseldorf	1.698	1.697	0%
1 Vorher: 1998-2000, Nachher: 2002-2004	1.698	1.697	0%
2 Vorher: 1998-2000, Nachher: 2002-2004	1.698	1.697	0%
- A30 __ in NI, Landkreis+Stadtkreis Osnabrück	276	269	-3%
1 Vorher: 2005, Nachher: 2007	51	48	-6%
2 Vorher: 2001-2003, Nachher: 2005-2007	152	136	-11%
3 Vorher: 2003-2004, Nachher: 2006-2007	73	85	16%

U(P): Unfälle mit Personenschaden

U(SS): Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne

BAST-U2p-47/2008

6.7.4 Unfallentwicklung bei Nässe

In einem weiteren Schritt wurden - analog zur bisherigen Systematik - Unfälle auf nasser Fahrbahn ausgewertet (vergleiche Tabelle 25). Wegen der teilweise sehr kleinen Fallzahlen ist die Aussagekraft einzelner Teilstrecken eingeschränkt.

Auf den zusammengefassten OPA-Strecken ist die Anzahl der Nässeunfälle mit -25% deutlich stärker zurückgegangen als auf den erweiterten Kontrollstrecken (-7%, vergleiche Tabelle 25). Dieser Rückgang ist statistisch signifikant.

Die einzige OPA-Strecke, die keine Verbesserungen aufweist, ist die A3. Hier ist die Entwicklung bei Nässe sogar noch ungünstiger als auf trockener Fahrbahn. Auch eine Verlängerung des Untersuchungszeitraumes auf 5 Jahre zeigt keine bessere Entwicklung.

Tab. 25: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf nasser Fahrbahnoberfläche auf OPA- und den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-Nachher-Zeitraum

Entwicklung der U(P) und U(SS) auf NASSER Fahrbahn vor und nach der Umrüstung mit OPA	Betrachtete Zeiträume	Untersuchungsstrecke			Kontrollstrecke (sonstige Bereiche der BAB im entspr. Bundesland) (nicht OPA nicht VGL)		
		Vorher	Nachher	Veränderung in %	Vorher	Nachher	Veränderung in %
- Alle OPA-Strecken		211	159	-25%	5.526	5.132	-7%
- A1 __ OPA-komplett		118	96	-19%	1.860	1.565	-16%
1 Schwerte FR Köln 71,50- 67,45	97-99 vs. 01-03	64	44	-31%	443	427	-4%
2 Schwerte FR Bremen 71,50- 67,45	98-00 vs. 02-04	12	22	83%	463	408	-12%
3 Schwerte FR Köln 67,45- 64,37	99-01 vs. 03-05	29	25	-14%	462	364	-21%
4 Schwerte FR Bremen 67,45- 64,37	00-02 vs. 04-06	16	5	-69%	492	366	-26%
- A2 __ OPA-komplett		76	37	-51%	2.946	2.761	-6%
1 Bad Nenndorf FR Dortmund 253,50-250,35	96-97 vs. 99-00	3	1	-67%	337	265	-21%
2 Bkm 199,1-189,8	verschiedene	35	15	-57%	957	844	-12%
3 Bkm 175,9-169,0	1996 vs. 1998	15	10	-33%	471	408	-13%
4 Bkm 140,5-136,0	96-97 vs. 00-01	6	5	-17%	844	978	16%
5 Bkm 134,15-129,18	96-97 vs. 99-00	17	6	-65%	337	265	-21%
- A3 __ OPA-komplett		7	19	171%	653	720	10%
1 OB-Holten - OB-West FR Passau 69,00- 71,00	98-00 vs. 02-04	4	14	250%	653	720	10%
2 OB-West - OB-Holten FR Arnheim 71,00- 69,00	98-00 vs. 02-04	3	5	67%	653	720	10%
- A30 __ OPA-komplett		10	7	-30%	67	86	28%
1 Hasbergen-Gaste OS-Sutthausen FR B-Oeynhsn 67,08- 72,10	2005 vs. 2007	3	3	0%	11	15	36%
2 Kreuz OS-Süd - OS-Hellern FR Niederl. 76,21- 72,12	01-03 vs. 05-07	3	4	33%	40	41	2%
3 OS-Sutthausen - Hasbergen-Gaste FR Niederl. 72,12- 67,18	03-04 vs. 06-07	4	0	-100%	16	30	88%

U(P): Unfälle mit Personenschaden

U(SS): Schwere Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne

BAST-U2p-47/2008

Nach Verlegung der OPA-Deckschichten beträgt der Anteil der Nässeunfälle im Mittel 27% (vorher 33%). Die günstige Unfallentwicklung bei Nässe führt zu einer deutlichen Verbesserung des mittleren Anteils der Nässeunfälle. Auf den erweiterten Kontrollstrecken hingegen ist auf allen Bereichen - mit Ausnahme der A2 - ein Anstieg der Nässeunfälle eingetreten. Auch der mittlere Anteil ist damit von 36% auf 38% im Nachher-Zeitraum angestiegen (vergleiche Tabelle 26).

Tab. 26: Anteil der U(P) und U(SS) auf nasser Fahrbahnoberfläche auf OPA- und den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-Nachher-Zeitraum

Anteil der Unfälle auf NASSER Fahrbahnoberfläche an allen Unfällen	Betrachtete Zeiträume	Untersuchungsstrecke		Kontrollstrecke (sonstige Bereiche der BAB im entspr. Bundesland) (nicht OPA nicht VGL)	
		Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
- Alle OPA-Strecken		33%	27%	36%	38%
- A1 __ OPA-komplett		42%	33%	45%	42%
1 Schwerte FR Köln 71,50- 67,45	97-99 vs. 01-03	43%	26%	45%	42%
2 Schwerte FR Bremen 71,50- 67,45	98-00 vs. 02-04	32%	46%	46%	44%
3 Schwerte FR Köln 67,45- 64,37	99-01 vs. 03-05	62%	60%	43%	41%
4 Schwerte FR Bremen 67,45- 64,37	00-02 vs. 04-06	33%	17%	45%	42%
- A2 __ OPA-komplett		26%	17%	32%	36%
1 Bad Nenndorf FR Dortmund 253,50-250,35	96-97 vs. 99-00	30%	13%	30%	34%
2 Bkm 199,1-189,8	verschiedene	24%	17%	32%	35%
3 Bkm 175,9-169,0	1996 vs. 1998	23%	27%	36%	34%
4 Bkm 140,5-136,0	96-97 vs. 00-01	22%	17%	31%	39%
5 Bkm 134,15-129,18	96-97 vs. 99-00	34%	11%	30%	34%
- A3 __ OPA-komplett		21%	36%	38%	42%
1 OB-Holten - OB-West FR Passau 69,00- 71,00	98-00 vs. 02-04	25%	36%	38%	42%
2 OB-West - OB-Holten FR Arnheim 71,00- 69,00	98-00 vs. 02-04	17%	36%	38%	42%
- A30 __ OPA-komplett		29%	23%	24%	32%
1 Hasbergen-Gaste- OS-Sutthausen FR B-Oeynhsn 67,08- 72,10	2005 vs. 2007	33%	38%	22%	31%
2 Kreuz OS-Süd - OS-Hellern FR Niederl. 76,21- 72,12	01-03 vs. 05-07	21%	22%	26%	30%
3 OS-Sutthausen - Hasbergen-Gaste FR Niederl. 72,12- 67,18	03-04 vs. 06-07	36%	0%	22%	35%

U(P): Unfälle mit Personenschaden

U(SS): Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden im engeren Sinne

BAST-U2p-47/2008

6.7.5 Zusammenfassung der Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens

Im Rahmen der Unfallanalyse wurden knapp 97 km OPA-Strecke hinsichtlich der Entwicklung der Unfallanzahl vor und nach der Verkehrsfreigabe der OPA-Asphaltdeckschicht untersucht. Ausgewertet wurde die Anzahl der Unfälle mit Personenschaden sowie Schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden der Jahre 1996 bis 2007 insgesamt sowie bei Nässe. Die Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken wurde der Entwicklung auf ausgewählten Kontrollstrecken gegenübergestellt.

Sowohl auf den OPA-Strecken (-9%) als auch auf den Kontrollstrecken (-13%) ist eine rückläufige Unfallentwicklung eingetreten. Das Unfallgeschehen hat sich zwar nicht auf allen einzelnen OPA-Strecken rückläufig entwickelt, dennoch zeigt sich bei Zusammenfassung aller OPA-Strecken, dass diese Deckschichten in der Summe keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Demgegenüber zeigt die Analyse der Unfälle auf nasser Fahrbahnoberfläche einen stärkeren Rückgang von Nässeunfällen auf OPA-Strecken (-25%). Auf den Kontrollstrecken hat sich die Anzahl der Nässeunfälle lediglich um 7% verringert. Hierbei

sind jedoch die teilweise sehr kleinen Fallzahlen zu berücksichtigen sowie mögliche regionale Besonderheiten der Witterung.

Bei der Interpretation der Ergebnisse wurde davon ausgegangen, dass OPA- und Kontrollstrecken im zeitlichen Verlauf vergleichbare Entwicklungen bezüglich der Verkehrsstärke, der Verkehrszusammensetzung und baulicher Veränderungen (z. B. Fahrstreifenanzahl) erfahren haben. Informationen über entsprechende Randbedingungen auf den untersuchten OPA- und Kontrollstrecken lagen nicht vor.

6.7.6 Ausblick zu Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens

Eine Erweiterung des Untersuchungskollektivs und der Einflussgrößen ist anzustreben. Dadurch würden sich die Fallzahlen vergrößern und somit stabilere Ergebnisse - insbesondere bei den Nässeunfällen - liefern. Der Einfluss der Verkehrsbelastung wurde bisher nicht betrachtet. Durch die Einbeziehung von Fahrleistungen könnte das Unfallrisiko näher bestimmt werden. Weiterhin wären für die Erklärung von auffälligen Entwicklungen (vergleiche BAB A2) Informationen zu den baulichen Veränderungen und über Baumaßnahmen während der Betrachtungszeiträume besonders wertvoll.

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

7.1 Schlussfolgerungen

7.1.1 Seitenkraftmessverfahren (SKM)

Die zusätzlich durchgeführten Untersuchungen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen haben im Gegensatz zu den Ergebnissen der dichten Beläge bei den offenporigen Asphalten keine bzw. eine nur sehr geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit ergeben. Zur Erkennung unterschiedlicher Polierzustände mit dem Messsystem SKM ist zu sagen, dass auch bei Strecken mit offenporigen Asphalten die SKM-Messungen eine Spreizung der Griffigkeit über den Fahrbahnquerschnitt aufweisen, diese jedoch verglichen mit den Regelbauweisen niedriger ist.

7.1.2 SRT-Messungen (in situ und auf Bohrkernen)

Die vorab durchgeführte Auswertung zur Präzision der auf den Bohrkernen ermittelten SRT-Werte zeigt, dass die Werte als ausreichend genau anzusehen und damit verwendbar sind. Die Genauigkeit der SRT-Messungen auf OPA liegt insgesamt vergleichbar zu Messungen auf dichten Belägen.

Die Reihung der SRT-Werte folgt auch nach unterschiedlich vielen Jahren der Verkehrsbelastung gut den PSV der eingesetzten Gesteine. Hier wird somit deutlich, dass die Polierresistenz des Gesteins für die resultierende Griffigkeit der Fahrbohnoberfläche eine zentrale Rolle spielt.

Ungeachtet der prinzipiell möglichen Aussagen aus den an Bohrkernen ermittelten SRT-Werten muss dennoch berücksichtigt werden, dass die verfügbaren Daten zu SRT-Messungen in situ mit den Ergebnissen auf den Bohrkernen nur sehr unzureichend übereinstimmen.

Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen SRT-Werten und SKM-Werten wird deutlich, dass bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,75 ein prinzipieller Zusammenhang besteht, auch wenn die Korrelation nicht als gut zu bezeichnen ist.

Insgesamt betrachtet sind die ermittelten SRT-Werte als gutes Hilfsmittel zum Vergleich der unterschiedlichen Oberflächen, insbesondere vor dem Hintergrund des begrenzten Datenumfangs, anzusehen. Ihre generelle Aussagekraft ist jedoch gegenüber den übrigen Bewertungsmöglichkeiten als eher gering einzustufen.

7.1.3 Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze

Der Vergleich der PWS-Werte mit den PSV der eingesetzten Gesteine zeigt eine deutlich erkennbare, den PSV entsprechende Reihung. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus der Auswertung der SRT-Werte.

Ein weiterer Zusammenhang, wenn auch nicht durch alle Ergebnisse gestützt, ist in einer gleichartigen Reihung der Ergebnisse zwischen den SKM-Werten, die auf dem 1. Fahrstreifen gemessen wurden, im Vergleich mit den entsprechenden PWS-Werten der Bohrkerne, zu beobachten.

Im Rahmen eines weiteren Vergleichs der SKM-Werte mit PWS-Werten (1. FS) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten 80 km/h, 60 km/h und 40 km/h gemessen, sind etwas bessere Zusammenhänge bei 40 km/h zu beobachten, wobei hier noch keine umfassende Beurteilung möglich ist.

Hinsichtlich der Messwerte der Prognoseprüfungen der einzelnen Bohrkerne ist eine gute Übereinstimmung untereinander festzustellen, was für eine gute Präzision des Verfahrens spricht. Die vorhandene Datenbasis zu den Zusammenhängen zwischen Verkehrsbelastung in situ, vor allem durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs, und Überrollungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze erlaubt zunächst nur grundsätzliche, jedoch noch keine definitiven Schlussfolgerungen. Dennoch deuten die Ergebnisse eindeutig darauf hin, dass mehrere Jahre Verkehrsbelastung bzw. mehrere Millionen Fahrzeuge des Schwerverkehrs einer Anzahl an Überrollungen mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze von mehreren Tausend bis wenigen Zehntausend Überrollungen entsprechen. Auch wenn an dieser Stelle eine genaue Zuordnung nicht möglich ist, so ergeben sich hieraus dennoch deutliche Hinweise auf die notwendige maximale Überrollungsanzahl für eine Griffigkeitsprognose. Bereits bei einer Griffigkeitsprognose bis zu 90.000 Überrollungen werden demnach Ergebnisse erzielt, die deutlich jenseits der Beanspruchungen aus Verkehrsbelastung der hier untersuchten, bis zu acht Jahre alten, Strecken liegen. Demzufolge ist davon auszugehen, dass eine maximale Überrollungsanzahl von 180.000 Überrollungen für eine Griffigkeitsprognose in jedem Fall ausreichend sein sollte.

Die bei SKM-Messungen beobachtete Geschwindigkeitsunabhängigkeit bzw. nur geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit des OPA kann durch die PWS-Werte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Bohrkerne nicht bestätigt werden. Die Werte steigen mit geringerer Geschwindigkeit, vergleichbar zum Verhalten von dichten Asphaltan. Dies kann an dem gegenüber SKM-Messungen deutlich größeren Wasserüberschuss bei Messungen mit der Wehner/Schulze-Anlage liegen.

7.1.4 Fahruntersuchungen (Bremsversuche)

Die durchgeführten Bremsversuche auf unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen haben ergeben, dass der offenporige Asphalt einen mittleren Reibungskoeffizienten von 0,854 bzw. 0,860 aufweist. Im Vergleich zu diesem differieren die errechneten mittleren Reibungskoeffizienten bis 10,8 %. Bei den dichten Asphaltbelägen ist eine deutliche Abhängigkeit der Griffigkeit von der Textur festzustellen. Die Asphaltbeläge mit einem hohen Mörtelanteil wie der Gussasphalt und der dichte Asphaltbeton, die dem Reifen eine größere Berührungsfläche bieten, haben einen um ca. 10 % höheren Reibungskoeffizienten. Beim OPA und SMA, bei denen der Reifen vornehmlich über die Flächen des Größtkorns abrollt, sind die Berührungsflächen geringer und demzufolge die Reibungskräfte kleiner.

Vergleicht man die Ergebnisse der Bremsversuche auf dem offenporigen Asphalt bei Melle mit den Ergebnissen der Bremsversuche auf offenporigem Asphalt in Sperenberg, kann eine sehr große Übereinstimmung festgestellt werden.

Bei den bislang durchgeführten Bremsversuchen handelt es sich jedoch um relativ wenige einzelne Messungen. Um eine aussagekräftige Bewertung der Fahrbahnoberflächen hinsichtlich der Griffigkeit bei Nässe aus Bremsversuchen machen zu können, ist es notwendig, auf weiteren Messstrecken reale Bremsversuche durchzuführen.

7.1.5 Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens

Sowohl auf den untersuchten OPA-Strecken als auch auf den zum Vergleich ausgewählten Kontrollstrecken ist eine rückläufige Unfallentwicklung der Gesamtzahl an Unfällen eingetreten. Das Unfallgeschehen hat sich zwar nicht auf allen OPA-Strecken rückläufig entwickelt, dennoch zeigt sich bei Zusammenfassung aller OPA-Strecken, dass diese Deckschichten in der Summe keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Demgegenüber zeigt die Analyse der Unfälle auf nasser Fahrbahnoberfläche einen stärkeren Rückgang von Nässeunfällen auf OPA-Strecken (-25 %). Auf den Kontrollstrecken hat sich die Anzahl der Nässeunfälle lediglich um 7 % verringert. Hierbei sind jedoch die teilweise sehr kleinen Fallzahlen zu berücksichtigen sowie mögliche regionale Besonderheiten der Witterung.

7.2 Ausblick

Der zweite Teil „Neue Baumaßnahmen“ des Projektes „Griffigkeitsprognose an offenen Asphalt (OPA)“ ist in Teilen bereits durchgeführt, beispielsweise die Fortführung der Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose, Messungen der Textur an Bohrkernen sowie Wiederholungsmessungen in situ und weitere SKM-Messungen. Wesentlicher Teil der Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose sind weitere PWS-Messungen an jährlich bis zweijährlich entnommenen Bohrkernen aus den Untersuchungsstrecken. Vereinfachend kann sich in diesem Rahmen der zukünftige Einsatz einer mobilen Wehner/Schulze-Anlage auswirken. Schließlich wird die Auswertung der Versuchsergebnisse fortgeführt und erweitert. Eine Verbesserung des Zusammenhangs zwischen SRT-Werten und SKM-Werten und somit eine Erhöhung des Korrelationskoeffizienten könnte bei weiteren Auswertungen unter Umständen durch die Berücksichtigung zusätzlicher Parameter erreicht werden. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Verkehrsbelastung in situ, vor allem durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs, und Überrollungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner Schulze wäre für weitere Untersuchungen eine genaue(re) Kenntnis der Verkehrsbelastung aus Gesamtverkehr und Schwerverkehr je Fahrstreifen sehr hilfreich, da hiermit Unsicherheitsfaktoren bei der Auswertung minimiert werden könnten. In Verbindung mit den Ergebnissen weiterer Oberflächenuntersuchungen wäre damit auch ein tatsächlicher gesteinsbezogener Vergleich möglich.

Hinsichtlich des weiteren Vorgehens zur Griffigkeitsprognose ist im Einzelnen vorgesehen, die Polierbeanspruchung, also die Anzahl der maximalen Überrollungen, auch vor dem Hintergrund einer „Endgriffigkeit“ (siehe Kapitel 5.3.1) festzulegen, zusätzliche SKM- und PWS-Messungen in die Auswertung aufzunehmen sowie das Sandstrahlen versuchsweise in den Beanspruchungsvorgang einzubeziehen. Im Weiteren werden Einflüsse durch Frost-Tau-Beanspruchung sowie Einflüsse durch Bewitterung mittels Außenlagerung untersucht. Schließlich soll auch eine weitere Auswertung externer Forschungsprojekte erfolgen.

Hinsichtlich der Fahruntersuchungen wurde angeregt, in einem neuen Projekt beziehungsweise bei neuen OPA-Streckenabschnitten vor der Verkehrsübergabe Bremsversuche und SKM-Messungen durchzuführen.

Die Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens betreffend ist eine Erweiterung des Untersuchungskollektivs anzustreben. Dadurch würden sich die Fallzahlen vergrößern und somit stabilere Ergebnisse – insbesondere bei den Nässeunfällen - liefern. Der Einfluss der Verkehrsbelastung wurde bisher nicht betrachtet. Durch die Einbeziehung von Fahrleistungen könnte das Unfallrisiko näher bestimmt

werden. Weiterhin wären für die Erklärung von auffälligen Entwicklungen Informationen zu den baulichen Veränderungen und über Baumaßnahmen während der Beobachtungszeiträume besonders wertvoll.

8 Zusammenfassung

Ziel des Projektes „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)“ ist die Weiterentwicklung und Optimierung der angewendeten Messverfahren sowie die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für offenporige Asphalte (OPA). Mit Ersterem sollen vor allem Erfahrungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) auf offenporigen Asphalten zur Definition und Verbesserung entsprechender bauvertraglicher Regelungen gewonnen werden, während die anderen Messverfahren dazu dienen, die Verhältnisse „ins Labor“ zu holen.

Im Rahmen des ersten Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ wurden Strecken zur Untersuchung ausgewählt, die bereits mehrere Jahre unter Verkehr lagen. Auf den Strecken wurden SKM-Messungen (Seitenkraftmessverfahren), SRT-Messungen (Skid Resistance Tester) sowie Messungen der Textur durchgeführt. Im Weiteren wurden Bohrkerne (\varnothing 225 mm) entnommen, an denen Messungen und Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren Wehner/Schulze sowie auch weitergehende Texturmessungen durchgeführt werden konnten. Der Vergleich der Ergebnisse aus den Prognosemessungen mit den Messergebnissen in situ erfolgte auch unter Berücksichtigung der Resultate von Fahruntersuchungen. Diese wurden auf dem Versuchsgelände der BAST in Sperenberg sowie auf der mit OPA erneuerten Landstraße L 94 bei Melle in Niedersachsen durchgeführt. Ergänzend zur messtechnischen Erfassung erfolgten auch Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens.

Die Analyse der Grundlagen und des Standes der Kenntnisse hinsichtlich des Vorgehens bei der Griffigkeitsprognose ergab vor allem, dass einerseits eine Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze grundsätzlich möglich ist, andererseits mit einer gewissen Sicherheit nur Endgriffigkeiten, nicht jedoch Griffigkeitsverläufe vergleichbar zum Verhalten in situ angegeben werden können. Dabei muss konstatiert werden, dass sich die in den unterschiedlichen Forschungsprojekten für dichte Straßenoberflächen gewählten Vorgehensweisen nur teilweise auf offenporigen Asphalt übertragen lassen.

Hinsichtlich der Ergebnisse der SRT-Messungen hat die Auswertung ergeben, dass die Reihung der SRT-Werte auch nach unterschiedlich vielen Jahren der Verkehrsbelastung gut den PSV der eingesetzten Gesteine folgt. Hier wird somit deutlich, dass die Polierresistenz des Gesteins für die resultierende Griffigkeit der Fahrbahnoberfläche eine zentrale Rolle spielt. Bezüglich des Zusammenhangs zwischen SRT-Werten und SKM-Werten wurde mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,75 ein

prinzipieller Zusammenhang ermittelt, auch wenn die Korrelation nicht als gut zu bezeichnen ist.

Die zusätzlich durchgeführten Untersuchungen zur Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen haben, im Gegensatz zu den Ergebnissen der dichten Beläge, bei den offenporigen Asphalten keine bzw. eine nur sehr geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit ergeben.

Auch bei den Ergebnissen der Griffigkeitsprognose mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze zeigt der Vergleich der PWS-Werte mit den PSV der eingesetzten Gesteine eine deutlich erkennbare, den PSV entsprechende Reihung. Hinsichtlich der Messwerte der Prognoseprüfungen der einzelnen Bohrkern ist eine gute Übereinstimmung untereinander festzustellen, was für eine gute Präzision des Verfahrens spricht. Die vorhandene Datenbasis zu den Zusammenhängen zwischen Verkehrsbelastung in situ, vor allem durch Fahrzeuge des Schwerverkehrs, und Überrollungen mit dem Prüfverfahren nach Wehner Schulze erlaubt zunächst nur grundsätzliche, jedoch noch keine definitiven Schlussfolgerungen. Dennoch deuten die Ergebnisse eindeutig darauf hin, dass mehrere Jahre Verkehrsbelastung bzw. mehrere Millionen Fahrzeuge des Schwerverkehrs einer Anzahl an Überrollungen mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze von mehreren Tausend bis wenigen Zehntausend Überrollungen entsprechen. Auch wenn an dieser Stelle eine genaue Zuordnung nicht möglich ist, so ergeben sich hieraus dennoch deutliche Hinweise auf die notwendige maximale Überrollungsanzahl für eine Griffigkeitsprognose. Bereits bei einer Griffigkeitsprognose bis zu 90.000 Überrollungen werden demnach Ergebnisse erzielt, die deutlich jenseits der Beanspruchungen aus Verkehrsbelastung der hier untersuchten, bis zu acht Jahre alten, Strecken liegen. Demzufolge ist davon auszugehen, dass eine maximale Überrollungsanzahl von 180.000 Überrollungen für eine Griffigkeitsprognose in jedem Fall ausreichend sein sollte.

Die bei SKM-Messungen beobachtete Geschwindigkeitsunabhängigkeit bzw. nur geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit des OPA kann durch die PWS-Werte bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf den Bohrkernen nicht bestätigt werden. Die Werte steigen mit geringerer Geschwindigkeit, vergleichbar zum Verhalten von dichten Asphalten an. Dies kann an dem gegenüber SKM-Messungen deutlich größeren Wasserüberschuss bei Messungen mit der Wehner/Schulze-Anlage liegen.

Die durchgeführten Fahruntersuchungen (Bremsversuche) haben ergeben, dass der Belag mit der geringsten Griffigkeit in diesem Vergleich der offenporige Asphalt ist. Die errechneten mittleren Reibungskoeffizienten differieren zu diesem bis zu 10,8 %. Bei den Asphaltbelägen ist eine deutliche Abhängigkeit der Griffigkeit von der Textur festzustellen. Die Asphaltbeläge mit einem hohen Mörtelanteil wie der Gussasphalt und der dichte Asphaltbeton, die dem Reifen eine größere Berührungsfläche bieten,

haben einen um ca. 10 % höheren Reibungskoeffizienten. Beim OPA und SMA, bei denen der Reifen vornehmlich über die Flächen des Größtkorns abrollt, sind die Berührungsf lächen geringer und demzufolge die Reibungskräfte kleiner.

Um über die relativ wenigen einzelnen Messungen hinaus eine aussagekräftige Bewertung der Fahrversuche machen zu können, ist es notwendig auf weiteren Messstrecken reale Bremsversuche durchzuführen.

Bei den Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens ist sowohl auf den untersuchten OPA-Strecken als auch auf den zum Vergleich ausgewählten Kontrollstrecken eine rückläufige Unfallentwicklung eingetreten. Das Unfallgeschehen hat sich zwar nicht auf allen OPA-Strecken rückläufig entwickelt, dennoch zeigt sich bei Zusammenfassung aller OPA-Strecken, dass diese Deckschichten in der Summe keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Demgegenüber zeigt die Analyse der Unfälle auf nasser Fahrbahnoberfläche einen stärkeren Rückgang von Nässeunfällen auf OPA-Strecken (-25 %). Auf den Kontrollstrecken hat sich die Anzahl der Nässeunfälle lediglich um 7 % verringert. Hierbei sind jedoch die teilweise sehr kleinen Fallzahlen zu berücksichtigen sowie mögliche regionale Besonderheiten der Witterung.

Der zweite Teil „Neue Baumaßnahmen“ des Projektes „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)“ ist in Teilen bereits durchgeführt, beispielsweise die Fortführung der Untersuchungen zur Griffigkeitsprognose, Messungen der Textur an Bohrkernen sowie Wiederholungsmessungen in situ und weitere SKM-Messungen.

Auch weitere Fahruntersuchungen sowie eine Erweiterung des Untersuchungskollektivs für stabilere Ergebnisse die Untersuchungen zur Entwicklung des Unfallgeschehens betreffend sind geplant.

9 Verzeichnisse

Literatur

Beckenbauer, °T.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, FE 03.293/1995/MRB, 2001.

DIN EN 1097-8: Deutsches Institut für Normung: Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 8: Bestimmung des Polierwertes. Berlin, 2000.

FGSV M OPA: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für den Bau Offenporiger Asphaltdeckschichten, Ausgabe 1998.

FGSV - SRT, AM: Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Arbeitsanweisung für kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessung mit dem Pendelgerät und dem Ausflussmesser. Ausgabe 1972.

FGSV - TL GESTEIN-STB 04: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004.

FGSV - TP GESTEIN TEIL 5.4.2: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Teil 5.4.2: Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze. Ausgabe 2008

FGSV - TP GRIFF, SKM: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil Seitenkraftmessverfahren (SKM), TP Griff-StB (SKM). Ausgabe 2007.

FGSV - TP GRIFF, SRT: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Griffigkeitsmessungen im Straßenbau, Teil Messverfahren SRT, TP Griff-StB (SRT). Ausgabe 2004.

FGSV - ZTV ASPHALT: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt - StB 01). Köln 2001.

HIRSCH, V.; RIPKE, O.: Lernen von Straßen - Offenporige Asphalte. Straße und Autobahn 1/2008.

HUSCHEK, S.; BÖCK, M. et al: Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch- Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens. BMVBS, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 963, 2007.

KAMPLADE: Erfassen und Bewerten der Fahrbahngriffigkeit mit den Messverfahren SRM und SCRIM; Bergisch Gladbach 1984.

MAURER, Peter: Aspekte der Fahrbahngriffigkeit und ihr Einfluss auf erreichbare Pkw-Bremsverzögerungen; Heft 564 Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung; Wien 2007.

MÜLLER, I.; Bartolomaeus, W.: Erfassung und Bewertung der Texturen von Fahrbahnoberflächen; AP 03.330/S3, 2003.

SCHMIDT, Jürgen, Untersuchung geeigneter Messtrecken für die Bestimmung von Gerätefaktoren im Rahmen der jährlichen Betriebszulassung von SCRIM-Messfahrzeugen; Hambühren 2004.

SCHMIDT, Jürgen: Untersuchungen zur Griffigkeit auf besonderen Fahrbahnoberflächen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten; Hambühren 2003.

STEINAUER, B.; UECKERMANN, A.; MEYER, A.; SCHULZE, C.: BMBF Verbundprojekt Nachhaltiger Straßenbau, Teil II: Entwurfs- und Prognoseinstrumentarium für die Griffigkeit von Fahrbahndecken aus Asphalt. Schlussbericht, 2008.

TU BERLIN: Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner/Schulze. 2001.

WÖRNER, T.; WENZL, P.: Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose. Schlussbericht, 2008.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Oberfläche OPA	3
Abbildung 2: Oberfläche SMA	3
Abbildung 3: Messsystem SKM	20
Abbildung 4: Lage der OPA-Strecken, Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“	25
Abbildung 5: SKM BAST, Messeinrichtung	27
Abbildung 6: SKM BAST, Messbildschirm	27
Abbildung 7: SRT-Pendelgerät	28
Abbildung 8: SRT-Pendelgerät in situ	28
Abbildung 9: Ausflussmesser	29
Abbildung 10: Texturmessfahrzeug TMF der BAST	29
Abbildung 11: Funktionsprinzip der Rauheitssonde	30
Abbildung 12: Prüfeinrichtung nach Wehner/Schulze (BAST)	32
Abbildung 13: Polierkopf Wehner/Schulze	33
Abbildung 14: Messkopf Wehner/Schulze	33
Abbildung 15: Stationäres T3D-Messsystem der BAST	34
Abbildung 16: PSV-Probekörper	36
Abbildung 17: Polierprinzip PSV-Versuch	36
Abbildung 18: Schnellpoliermaschine PSV-Versuch	36
Abbildung 19: Streckenskizze BAB 3 inkl. Beläge	43
Abbildung 20: Geschwindigkeitsabhängigkeit der SKM-Werte für unterschiedliche Fahrbahnbeläge	44
Abbildung 21: OPA-Streckenscan BAB A3 und BAB A2	46
Abbildung 22: SRT-Messung, eingespannter Bohrkern mit vier Messrichtungen	47
Abbildung 23: SRT-Mittelwerte Bohrkern Standstreifen BAB A5	48
Abbildung 24: Spannweite aller an Bohrkernen gemessenen SRT-Werte	49
Abbildung 25: SRT-Werte je Bohrkern auf dem 1. Fahrstreifen in der rechten Rollspur von der BAB A5, A8 und B36	50
Abbildung 26: SRT-Mittelwerte (am Bohrkern) auf Fahrstreifen bezogen von den BAB A2, A5 und A8 und der Bundesstraße B36	51
Abbildung 27: SRT-Messungen in situ auf dem 1. Fahrstreifen der BAB A2, A5, A8 und der B 36	52
Abbildung 28: Gegenüberstellung aller gemessenen SKM- und SRT(in situ)- Werte	53
Abbildung 29: Gemittelte Rautiefe (Rz) bezogen auf die Makro- und Mikrotextur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Moräne	55

Abbildung 30: Arithmetischer Mittenrauwert (Ra) bezogen auf die Makro- und Mikrotextrur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Moräne	55
Abbildung 31: Gemittelte Rautiefe (Rz) bezogen auf die Makro- und Mikrotextrur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Quarzporphyr	56
Abbildung 32: Arithmetischer Mittenrauwert (Ra) bezogen auf die Makro- und Mikrotextrur, an Bohrkernen von der A5, Gestein Quarzporphyr	56
Abbildung 33: Spannweite aller an Bohrkernen gemessenen PWS-Werte	58
Abbildung 34: PWS-, SKM- und SRT-Werte von Strecken der A5, A8 und B36, die 5 bis 7 Jahre unter Verkehr lagen.....	59
Abbildung 35: PWS-Werte (gemessen bei 60km/h), SKM- und SRT-Mittelwerte der Rollspuren von allen Strecken des Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“	60
Abbildung 36: PWS-Werte (gemessen am BK 1. FS Rollspur bei 80 km/h, 60km/h und 40 km/h), SKM- und SRT-Mittelwerte von allen Strecken des Teilprojektes „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“	62
Abbildung 37: BAB A5, EOS, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung.....	65
Abbildung 38: BAB A5, Moräne, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung	66
Abbildung 39: BAB A5, Quarzporphyr, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach acht Jahren Verkehrsbelastung	67
Abbildung 40: BAB A5, EOS, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkern des 1. Fahrstreifens nach einem Jahr Verkehrsbelastung	68
Abbildung 41: BAB A5, 50% EOS und 50% Moräne, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkern des 1. Fahrstreifens nach zwei Jahren Verkehrsbelastung.....	69
Abbildung 42: BAB A8, Syenit, Prognoseprüfung an Bohrkern aus Standstreifen und PWS-Messung an Bohrkernen der drei Fahrstreifen nach sechs Jahren Verkehrsbelastung	70
Abbildung 43: PWS-Werte einzelner Bohrkern in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit	71
Abbildung 44: PWS-Werte von dichten Asphaltbelägen: Bohrkern mit unterschiedlichen Schlacken, Walzsegmentplatten	

(Asphaltbeton, Splittmastixasphalt) nach 90.000 Überrollungen gemessen.....	72
Abbildung 45: SKM- und PWS-Werte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (BAB A8)	73
Abbildung 46: Bereich der L94 mit einem Teil der Neubaustrecke, auf der die Bremsversuche durchgeführt wurden.....	74
Abbildung 47: Ansichten der nassen Fahrbahn mit Versuchsfahrzeug (siehe dazu auch das Bild im Anhang 09.2).....	76
Abbildung 48: Darstellung von Weg, Geschwindigkeit und Verzögerung während eines Versuchslaufs.....	76
Abbildung 49: Flächenanteile der Reifenkontaktfläche bei unterschiedlichen Oberflächen.....	85

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einflüsse auf die Griffigkeit	5
Tab. 2: Untersuchungsverfahren zur Griffigkeitsprognose; Projekt „Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit“	7
Tab. 3: Untersuchungsverfahren zur Griffigkeitsprognose; Projekt „Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose“	10
Tab. 4: Untersuchungsverfahren zur Griffigkeitsprognose; Projekt „Nachhaltiger Straßenbau“	14
Tab. 5: Kraftfahrzeug- und Schwerverkehrsanteil auf dem 1. und 2. Fahrstreifen von Autobahnen am Beispiel der BAB A93 und der BAB A5 (Basis: automatische Zählstelle 2004).....	19
Tab. 6: Kraftfahrzeug- und Schwerverkehrsanteil auf dem 1., 2. und 3. Fahrstreifen von Autobahnen am Beispiel der BAB A2 (Basis: automatische Zählstelle 2004)	19
Tab. 7: Ausgewählte OPA-Strecken Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“.....	24
Tab. 8: Entnahmestellen und Anzahl der Bohrkerne OPA-Strecken Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“.....	26
Tab. 9: Standardprogramm für Griffigkeitsprognose TU Berlin	33
Tab. 10: OPA-Untersuchungsstrecken auf BAB (grau gedruckte Strecken wurden nicht ausgewertet).....	40
Tab. 11: OPA-Strecken Projektteil „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“, Gesteine und PSV	41

Tab. 12: Zusammenstellung der Messergebnisse (Messungen aus 2005).....	44
Tab. 13: Streckendaten BAB A3 und BAB A2.....	46
Tab. 14: Strecken Teilprojekt „Bestand“: Verkehrsbelastung (DTV, DTV ^(sv) , Erhebung 2004), Liegedauer bei SKM-Messung sowie bei Bohrkernentnahme	63
Tab. 15: Strecken Teilprojekt „Bestand“: Abschätzung der gesamten Verkehrsbelastung (Ges VB) je Fahrstreifen zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme	64
Tab. 16: Typische Bremswerte auf dem OPA–Belag der L94.....	78
Tab. 17: Typische Bremswerte auf einem AB 0/8-Belag (ISO 10844)	79
Tab. 18: Typische Bremswerte auf einem GA 2/3-Belag	80
Tab. 19: Typische Bremswerte auf einem OPA 4/8-Belag.....	81
Tab. 20: Typische Bremswerte auf einem SMA 0/8-Belag.....	82
Tab. 21: Auf einem offenporigen Beton-Belag gemessene und errechnete Bremswerte.....	83
Tab. 22: Ergebnisse von Bremsversuchen mit einem serienmäßigen Pkw auf unterschiedlichen Straßenoberflächen	84
Tab. 23: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf OPA-Strecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum	87
Tab. 24: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum.....	89
Tab. 25: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf nasser Fahrbahnoberfläche auf OPA- und den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum	90
Tab. 26: Anteil der U(P) und U(SS) auf nasser Fahrbahnoberfläche auf OPA- und den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher- /Nachher-Zeitraum.....	91

10 Anhang

Verzeichnis Anhang

- Anhang 1: Strecken und Gesteinsarten OPA BAB A5
- Anhang 2: Bohrkernentnahmestellen BAB A2
- Anhang 3: Bohrkernentnahmestellen BAB A5
- Anhang 4: Bohrkernentnahmestellen BAB A8
- Anhang 5: Bohrkernentnahmestellen Bundesstraße B36
- Anhang 6: Technische Daten des Texturmessfahrzeuges (TMF)
- Anhang 7: Technische Daten des stationären T3D-Messsystems (T3D)
- Anhang 8: Auswertung Texturmessung
- Anhang 9: Messbericht Melle
- Anhang 10: Messbericht Sperenberg

OPA- Strecken BAB A 5 Rastatt und Baden-Baden
Übersicht über die eingesetzten Gesteinsarten

FDE im Juni **2003** (50:50 = EOS : Moräne)
 FDE im Okt. **2004** (100% EOS)
 BJ 1996 bis 1997 (verwendete Gesteine siehe Skizze)

Km	Fahrtrichtung Basel ↓	Fahrtrichtung KA ↑	
648+000			"OPA Rastatt" (ursprünglich Bj. 1993/94)
648+500			
649+000			
649+500			
650+000			
650+500			
651+000			
651+500			
652+000			
652+500			
653+000		Moräne	
653+500	Quarzporphyr	EOS	
654+000		Moräne	
654+500			
655+000		Quarzporphyr	
655+500	Moräne		
656+000			

hier Süden (Seite Basel)

Bohrkernentnahmeplan A2 - Bad Nenndorf

Beispiel für Bohrkernbezeichnung:
 1.FS MIRO 18a
 FR Dortmund



km 251,00

StS

1.5 m

1.FS

(1) Rollspur [RO]

2.FS

Mitte Rollspur
MIRO1

3.FS

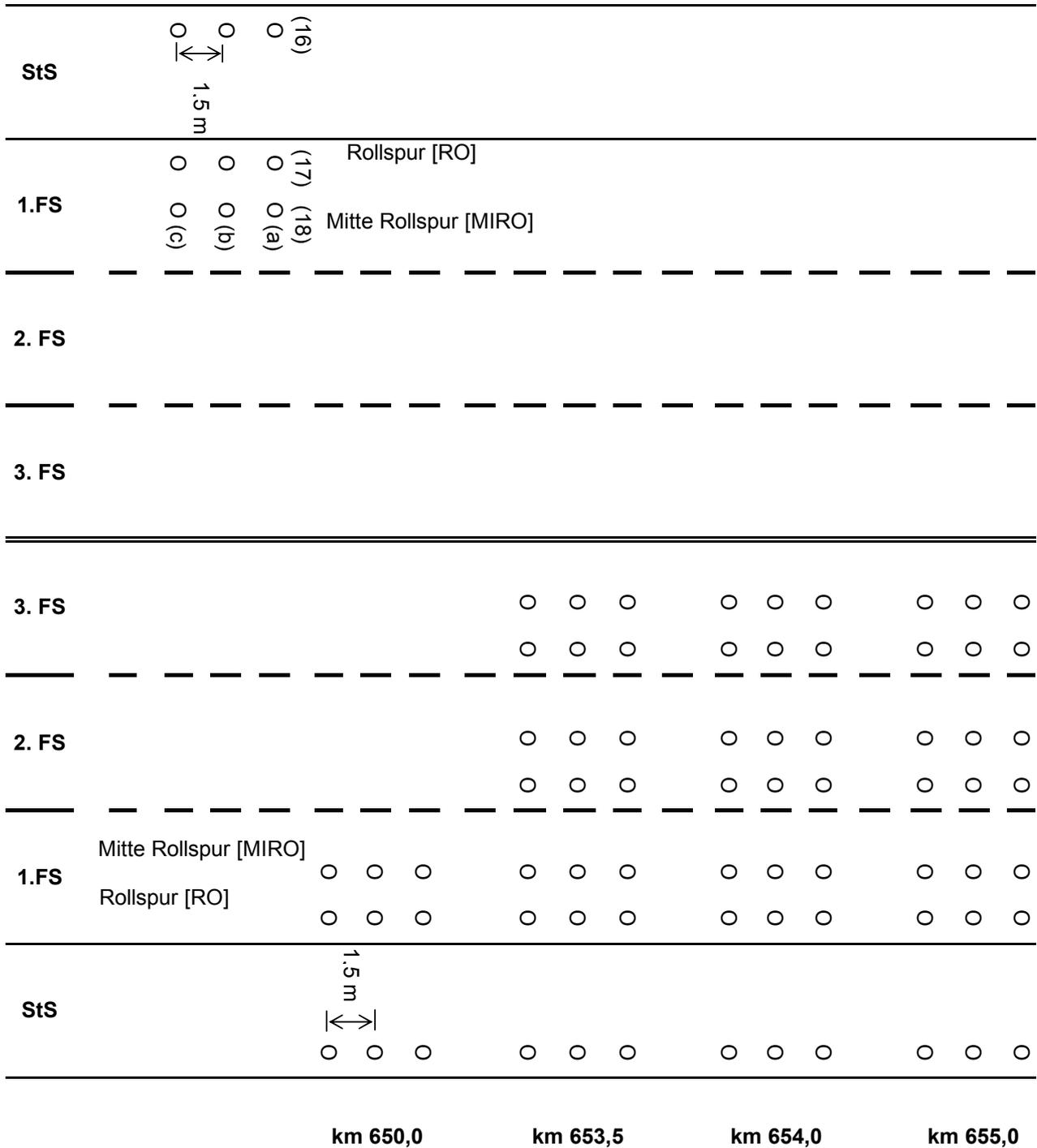
(2) O (a)
 (3) O (a)
 (4) O (a)

Beispiel für Bohrkernbezeichnung:
1.FS MIRO 18a

FR Basel



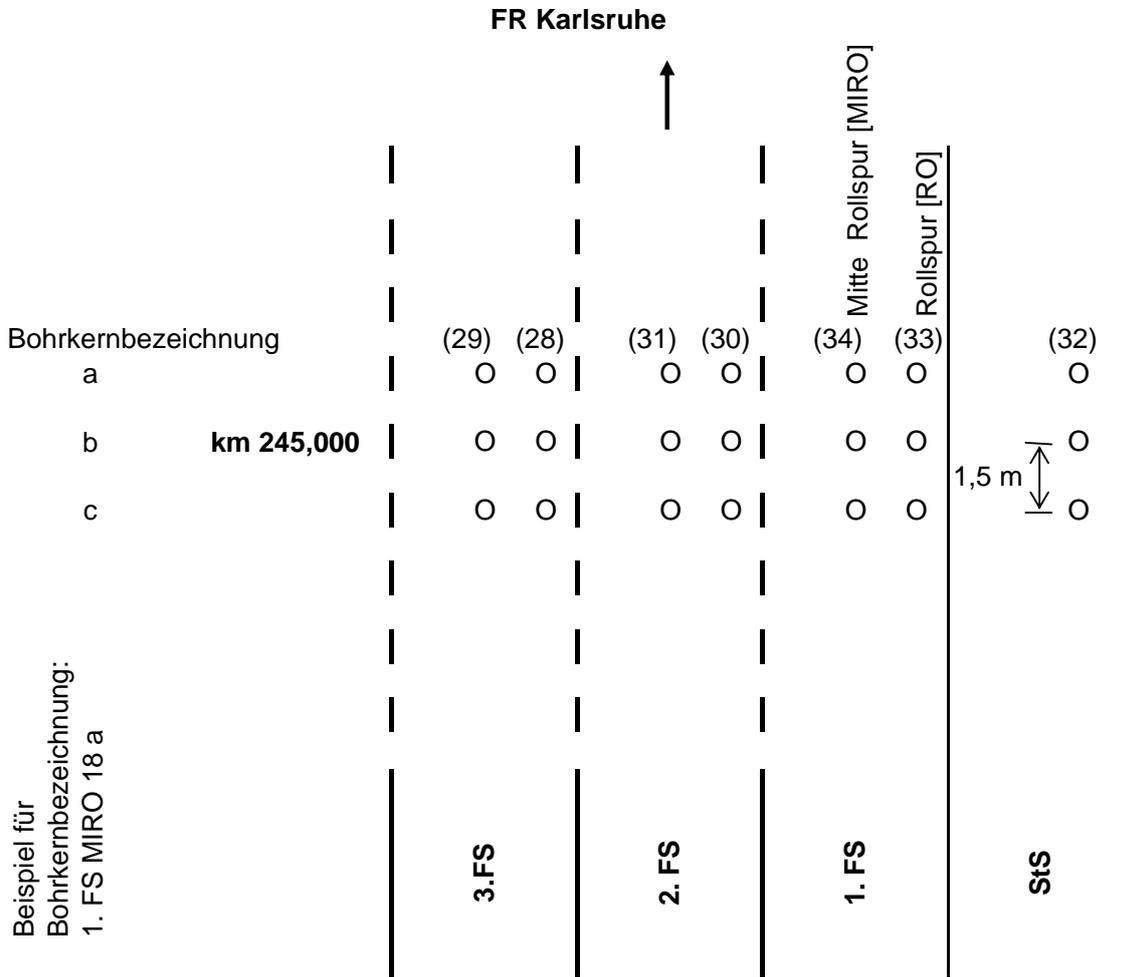
km 649,5



FR Karlsruhe

Anhang 4

Bohrkernentnahme A8 - Bereich Pforzheim



Bohrkernentnahmeplan B36 - Rheinstetten

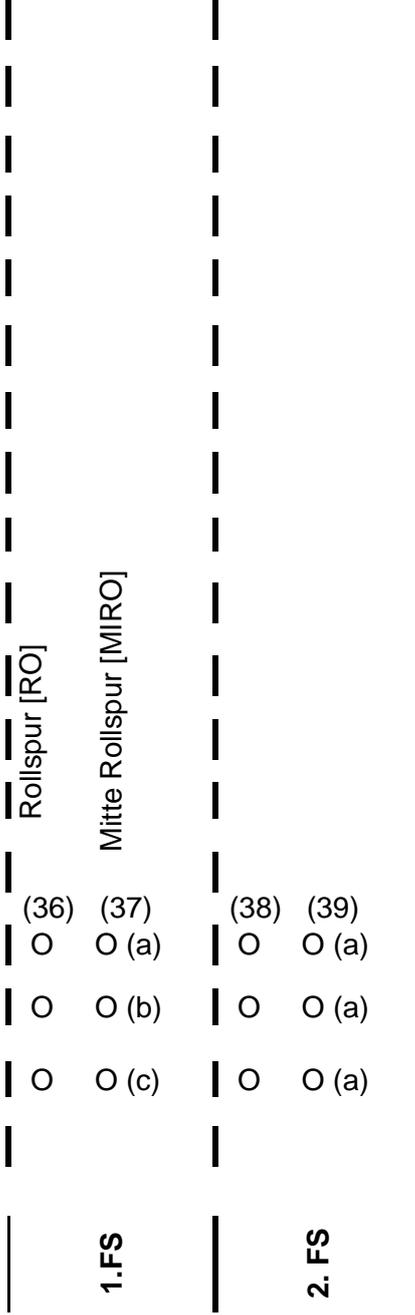
Beispiel für Bohrkernbezeichnung:
1.FS MIRO 38a

FR Rastatt



km 2,000

1,5 m



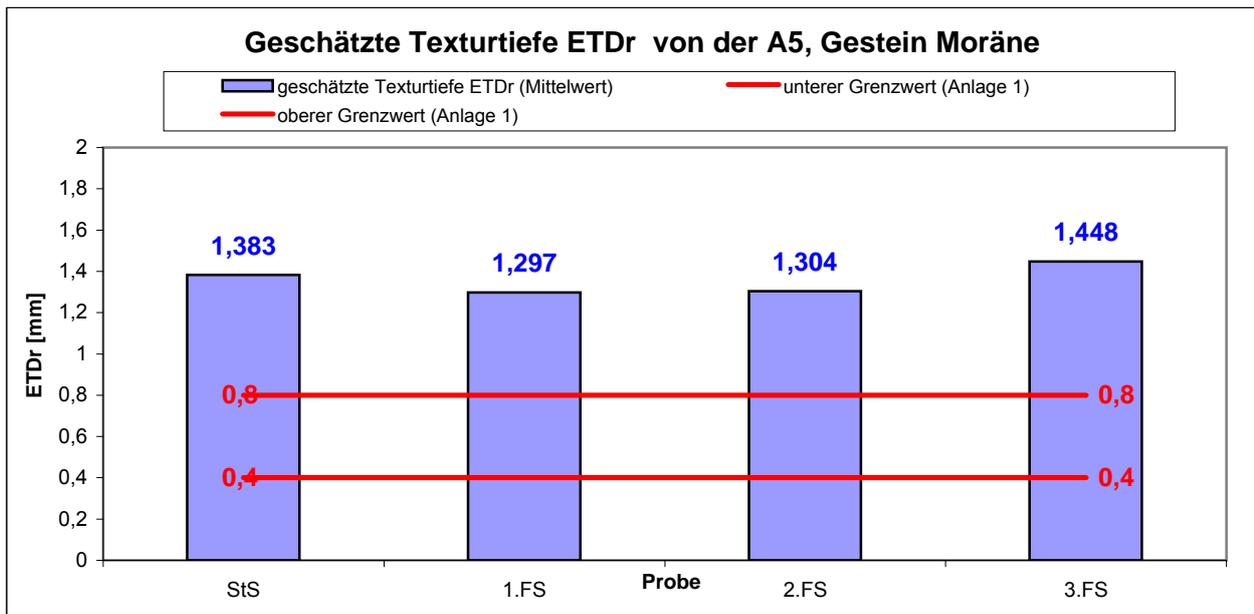
Technische Daten des TEXTUR-MESS-FAHRZEUGES TMF

Anwendungsbereich:	mobile, berührungslose 2D-Messdatenerfassung von Oberflächenstrukturen auf den rechten Radspuren der Straßen
Messgeschwindigkeit:	60 – 85 km/h
Typ:	BMW 318 Compact
Leistung:	103 kW
Messprinzip:	Triangulation mit impulsgesteuerten Lasersonden
Anzahl Lasersonden:	3
Texturwellenlängenbereich:	5 bis 500 mm
Messintervall weggesteuert:	0,5 mm
Arbeitsbereich der Lasersonden:	± 25 mm
Abstand von Lasersonden bis zur Fahrbahnoberfläche:	110 mm
Abstand von der Aluminiumplatte bis zur Fahrbahnoberfläche:	85 mm
vertikale Auflösung:	0,01 mm
horizontaler Messbereich:	abhängig von der Festplattenkapazität (ca. 10 km)
horizontale Auflösung:	0,2 mm

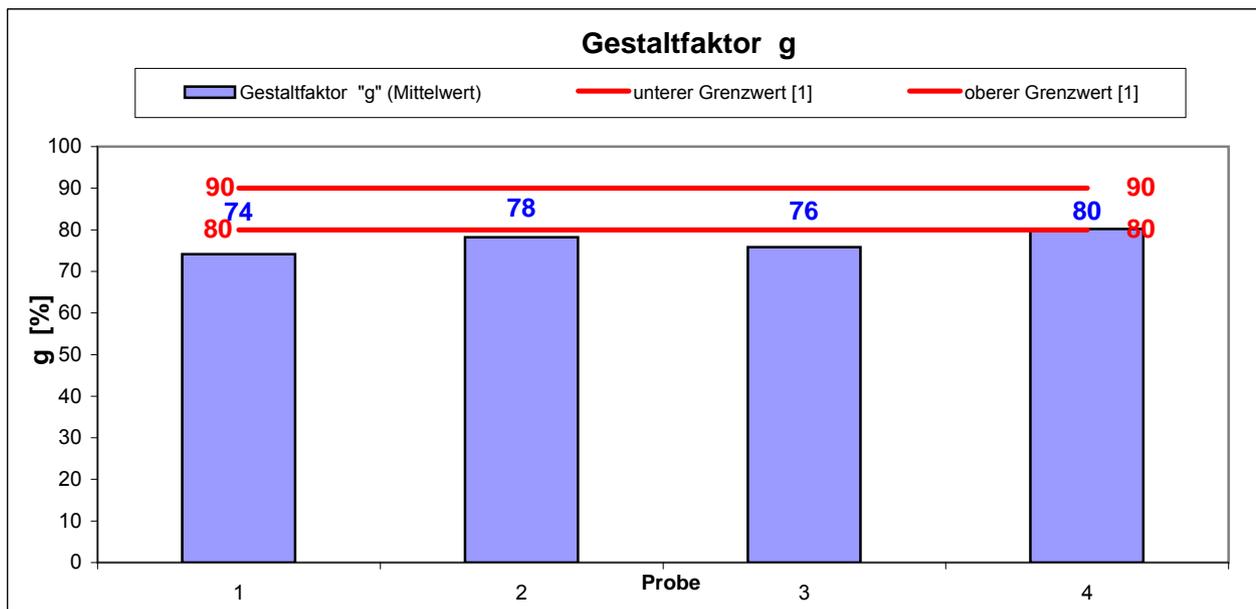
Auswertung Texturmessung / OPA-Bohrkernproben

Messreihe 1 (Februar 2008) / T3Dk

Probe	StS	1.FS	2.FS	3.FS
mittlere Profiltiefe MPDr (Mittelwert)	1,479	1,371	1,380	1,560
geschätzte Texturtiefe ETDr (Mittelwert)	1,383	1,297	1,304	1,448
unterer Grenzwert (Anlage 1)	0,4	0,4	0,4	0,4
oberer Grenzwert (Anlage 1)	0,8	0,8	0,8	0,8



Probe	StS	1.FS	2.FS	3.FS
Gestaltfaktor "g" (Mittelwert)	74,1	78,2	75,8	80,2
unterer Grenzwert [1]	80	80	80	80
oberer Grenzwert [1]	90	90	90	90



Zusammenfassung von im BATex- Auswertprogramm berechneten Kenngrößen für Makro- und Mikrotextur
(T3Dk, Auswerteabschnitt von 40 mm Länge)

Belag: OPA-Bohrkernproben von der A5, km 654.000, Gestein Moräne

Nr. der Probe	Name der Probe	Texturkenngrößen, mm																						
		Makrotextur										Mikrotextur												
		in Anlenung an ISO 13473					ISO 4287 ($\lambda=8$ mm)					vom oWLS					von der Materialteilkurve					ISO 4287 ($\lambda=0,5$ mm)		
MPDr	ETDr	Ra	Rz	Rmax	Amax	Wmax	g	gL	Max.	5%	35%	65%	95%	Min.	Rz	Rmax	Ra							
1	5A	1,774	1,619	0,498	2,085	3,198	0,437	10,0	76,0	1,260	0,871	0,312	-0,129	-1,231	-2,04	0,065	0,146	0,019						
2	5B	1,346	1,277	0,389	1,789	3,068	0,339	10,0	84,3	1,084	0,679	0,243	-0,032	-1,069	-2,09	0,062	0,138	0,018						
	MW.	1,560	1,448	0,444	1,937	3,133	0,388		80,2	801,5	1,172	0,278	-0,081	-1,150	-2,064	0,064	0,142	0,019						
	Stabwn.	0,303	0,242	0,0771	0,2093	0,0919	0,069		5,9	0,1245	0,1358	0,0488	0,0686	0,1146	0,030	0,002	0,0057	0,001						
3	7B	1,519	1,415	0,406	1,729	2,702	0,398	10,0	71,9	1,109	0,731	0,262	-0,073	-1,007	-1,71	0,054	0,112	0,016						
4	7C	1,240	1,192	0,317	1,397	2,203	0,288	6,3	79,6	0,798	0,536	0,204	-0,066	-0,810	-1,49	0,048	0,099	0,014						
	MW.	1,380	1,304	0,3615	1,563	2,4525	0,343		75,8	608,5	0,9535	0,634	-0,233	-0,909	-1,600	0,051	0,1055	0,015						
	Stabwn.	0,197	0,158	0,0629	0,2348	0,3528	0,078		5,4	156,27	0,220	0,1379	0,041	0,0049	0,139	0,160	0,004	0,0092	0,001					
5	22A	1,423	1,338	0,456	1,868	2,839	0,414	10,0	72,6	1,204	0,810	0,273	-0,114	-1,130	-1,75	0,055	0,121	0,017						
6	22B	1,535	1,428	0,441	1,883	2,780	0,404	8,0	75,6	1,124	0,778	0,268	-0,081	-1,115	-1,81	0,050	0,109	0,015						
	MW.	1,479	1,383	0,449	1,876	2,810	0,409		74,1	665,5	1,164	0,794	-0,081	-0,098	-1,123	0,053	0,115	0,016						
	Stabwn.	0,079	0,064	0,0106	0,011	0,042	0,007		2,1	86	0,057	0,023	-1,115	-1,814	0,011	0,044	0,004	0,008	0,001					
7	23B	1,299	1,240	0,305	1,330	2,163	0,248	6,3	79,4	0,770	0,525	0,192	-0,082	-0,785	-1,475	0,042	0,082	0,013						
8	23C	1,442	1,353	0,335	1,396	2,207	0,331	6,3	76,9	0,881	0,574	0,207	-0,063	-0,861	-1,4	0,041	0,085	0,013						
	MW.	1,371	1,297	0,320	1,363	2,185	0,290		78,2	488,5	0,8255	0,550	-0,073	-0,823	-1,439	0,042	0,0835	0,013						
	Stabwn.	0,101	0,080	0,0212	0,0467	0,031	0,059		1,8	11	0,0785	0,035	0,0106	0,0134	0,0537	0,001	0,0021	0,0						

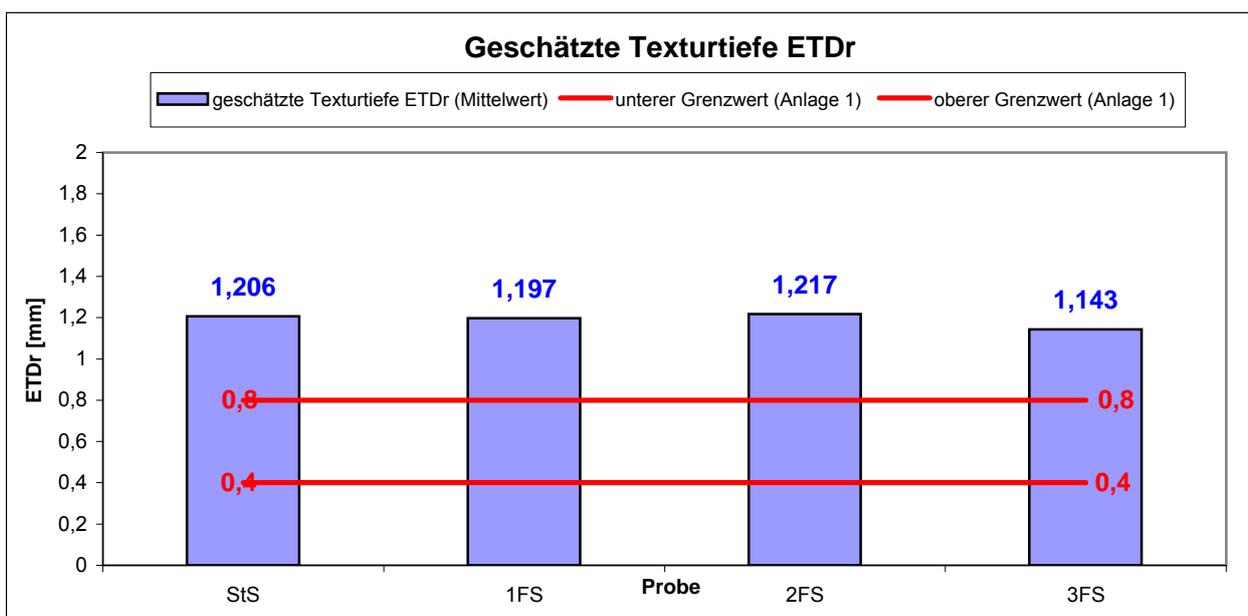
Bemerkungen: Die Beschreibung des Auswertverfahrens für die Texturkenngrößen "g" und "gL" ist im Bericht Beckenbauer^o T., 2001 dargestellt

Die Beschreibung des Auswertverfahrens für die Texturkenngrößen "Amax", "Wmax", "Max", "5%", "35%", "65%", "95%" und "Min" ist im Bericht Müller,^ol., 2003 dargestellt:

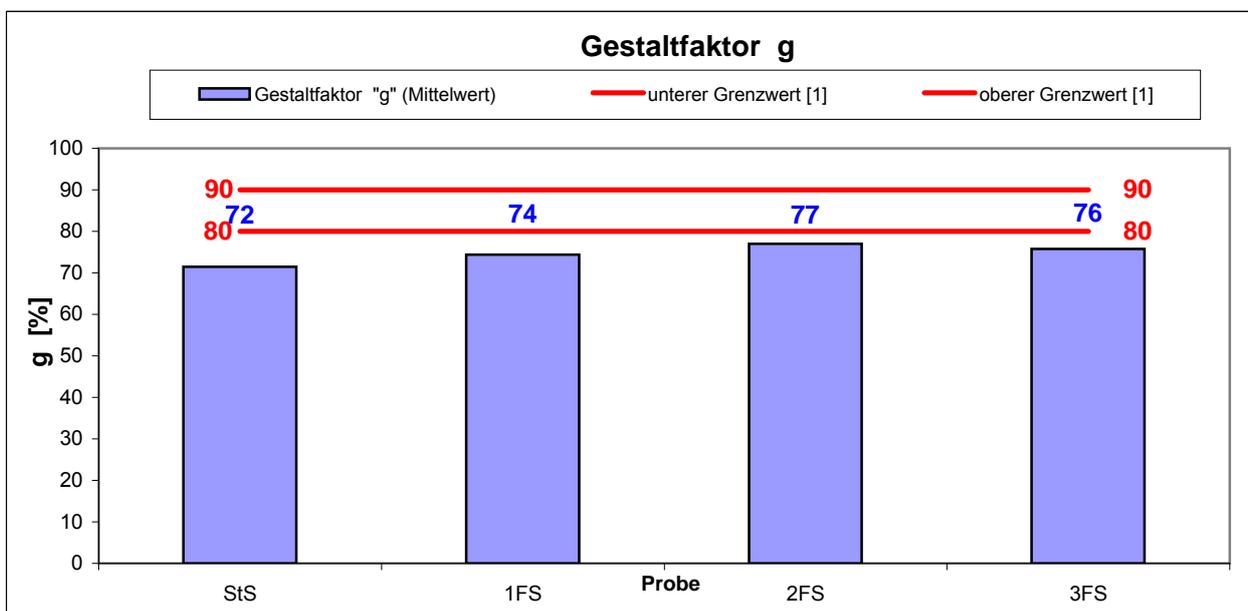
Minuszeichen in den Spalten von 15 bis 17 bedeutet, dass die Profilordinaten unter der Nulllinie liegen.

Auswertung Texturmessung / OPA-Bohrkernproben
Messreihe 2 (April 2008) / T3Dk

Probe	StS	1FS	2FS	3FS
mittlere Profiltiefe MPDr (Mittelwert)	1,257	1,247	1,271	1,179
geschätzte Texturtiefe ETDr (Mittelwert)	1,206	1,197	1,217	1,143
unterer Grenzwert (Anlage 1)	0,4	0,4	0,4	0,4
oberer Grenzwert (Anlage 1)	0,8	0,8	0,8	0,8



Probe	StS	1FS	2FS	3FS
Gestaltfaktor "g" (Mittelwert)	71,5	74,4	77,0	75,8
unterer Grenzwert [1]	80	80	80	80
oberer Grenzwert [1]	90	90	90	90



Zusammenfassung von im BATex- Auswerteprogramm berechneten Kenngrößen für Makro- und Mikrotextur
(T3Dk, Auswertabschnitt von 40 mm Länge)

Belag: OPA-Bohrkernproben von der A5, km 655.000, Gestein Quarzporphyr

Nr. der Probe	Name der Probe	Texturkenngrößen, mm																
		Makrotextur										Mikrotextur						
		ISO 4287 (λ=8 mm)					vom oWLS					von der Materialteilkurve						
MPDr	ETDr	Ra	Rz	Rmax	Amax	Wmax	g	gL	Max.	5%	35%	65%	95%	Min.	Rz	Rmax	Ra	
1	19A_SS	1,155	1,124	0,215	0,917	1,132	0,194	10,0	71,7	0,580	0,407	0,128	-0,073	-0,490	-0,86	0,032	0,057	0,010
2	19B_SS	1,359	1,287	0,284	1,257	1,875	0,238	6,3	71,3	0,779	0,536	0,163	-0,082	-0,702	-1,14	0,044	0,084	0,013
	MW.	1,257	1,206	0,250	1,087	1,504	0,216		71,5	0,680	0,472	0,146	-0,078	-0,596	-1,000	0,038	0,071	0,012
	Stabwn.	0,144	0,115	0,049	0,240	0,525	0,031	0,3	192	0,141	0,091	0,025	0,006	0,150	0,202	0,008	0,019	0,002
3	20A_1FS	1,207	1,165	0,267	1,162	1,628	0,229	10,0	75,6	0,616	0,441	0,179	-0,067	-0,647	-1,09	0,039	0,072	0,012
4	20B_1FS	1,286	1,229	0,272	1,138	1,659	0,243	6,3	73,1	0,650	0,477	0,166	-0,098	-0,650	-1,07	0,038	0,071	0,012
	MW.	1,247	1,197	0,270	1,150	1,644	0,236		74,4	0,633	0,459	0,173	-0,083	-0,649	-1,081	0,039	0,072	0,012
	Stabwn.	0,056	0,045	0,004	0,017	0,022	0,010	1,8	211,4	0,024	0,025	0,009	0,022	0,002	0,010	0,001	0,001	0,000
5	3A_2FS	1,227	1,182	0,335	1,479	2,270	0,260	10,0	77,0	0,909	0,616	0,214	-0,044	-0,853	-1,47	0,050	0,109	0,015
6	3B_2FS	1,315	1,252	0,375	1,571	2,405	0,325	6,3	76,9	0,922	0,670	0,224	-0,095	-0,937	-1,59	0,046	0,096	0,014
	MW.	1,271	1,217	0,355	1,525	2,338	0,293		77,0	0,916	0,643	0,081	-0,070	-0,895	-1,529	0,048	0,103	0,015
	Stabwn.	0,062	0,049	0,028	0,065	0,095	0,046	0,1	205	0,009	0,038	-1,115	-1,814	0,059	0,090	0,003	0,009	0,001
7	1A_3FS	1,102	1,082	0,268	1,189	1,952	0,307	10,0	76,5	0,757	0,514	0,150	-0,059	-0,671	-1,255	0,040	0,078	0,012
8	1B_3FS	1,255	1,204	0,290	1,225	1,950	0,242	8,0	75,1	0,790	0,526	0,173	-0,076	-0,748	-1,25	0,043	0,086	0,013
	MW.	1,179	1,143	0,279	1,207	1,951	0,275		75,8	0,774	0,520	0,162	-0,068	-0,710	-1,254	0,042	0,082	0,013
	Stabwn.	0,108	0,086	0,016	0,025	0,001	0,046	1,0	116	0,023	0,008	0,016	0,012	0,054	0,001	0,001	0,006	0,001

Bemerkungen:

Die Beschreibung des Auswerteverfahrens für die Texturkenngrößen "g" und "gL" ist im Bericht Beckenbauer° T., 2001 dargestellt

Die Beschreibung des Auswerteverfahrens für die Texturkenngrößen "Amax", "Wmax", "Max", "5%", "35%", "65%", "95%" und "Min" ist im Bericht Müller, l., 2003 dargestellt:

Minuszeichen in den Spalten von 15 bis 17 bedeutet, dass die Profillinien unter der Nulllinie liegen.

Messbericht Melle

- 09.1 Technische Angaben zum Versuchsfahrzeug
- 09.2 Versuchsfahrzeug auf der angehängsten Bremsstrecke auf der L94
- 09.3 Protokoll der Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendel
- 09.4 Zeitverläufe der Weg- und Geschwindigkeitsänderung sowie des Verzögerungsverlaufs der Bremsungen auf dem AB 0/8 Belag der L94

09.1 Technische Angaben zum Versuchsfahrzeug

Veränderungsdetails (Fahrzeugchein)		28.02.07 M1 WBANJ31070CS33081 BMW 560L N131 02 - Ser Reihe BAYER MOTWERKE BMW Fz.z. Pers.bef. b. 8 Spl. Kombi Pimpusine 70/220x2003/76B EURO 4 Diesel 0002 S.1: ww. 4*F.1/F.2: 2270 b. Anhängetrieb*7.2/8.2: 139 0 b. Anhängetrieb*ww.AHK lt. EGTG*Sommerbeiführung nur auf Guß- oder Schmiede-LM Rad.*Stufe PM 5 ab Tag Erstzul. ul. *	01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451
-----------------------------------------------	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

09.2 Versuchsfahrzeug auf der angenässten Bremsstrecke auf der L94

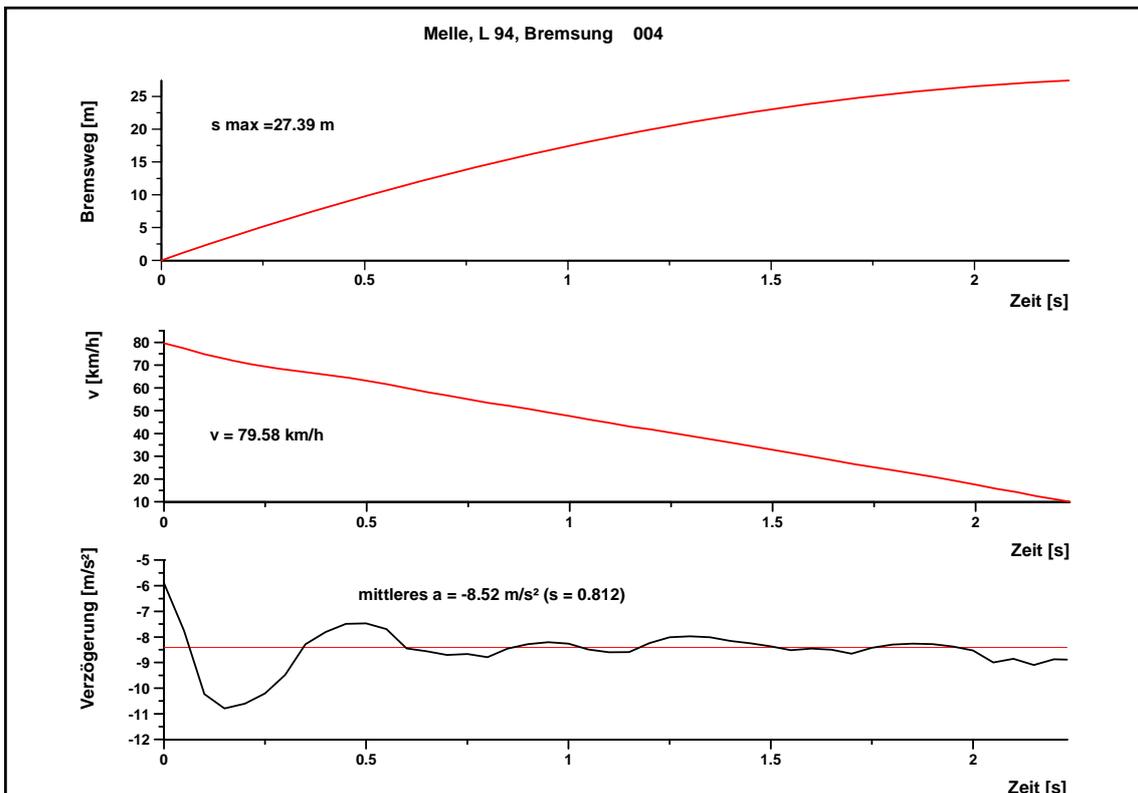
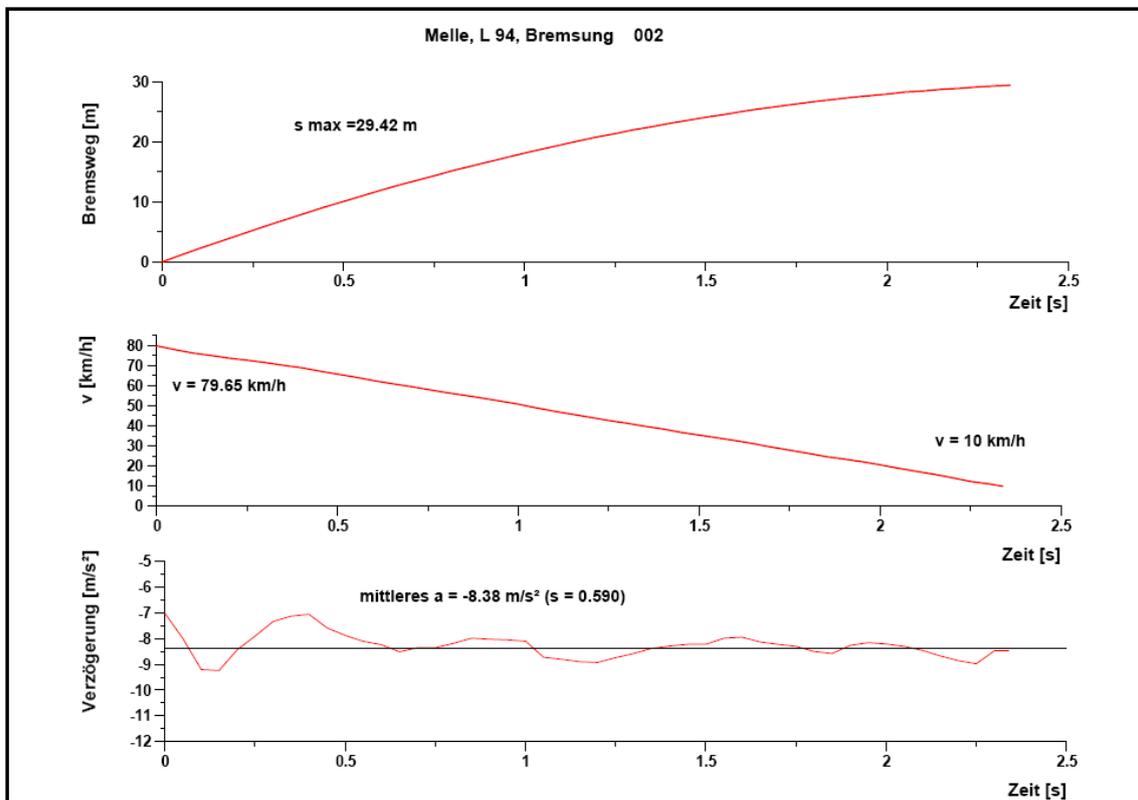


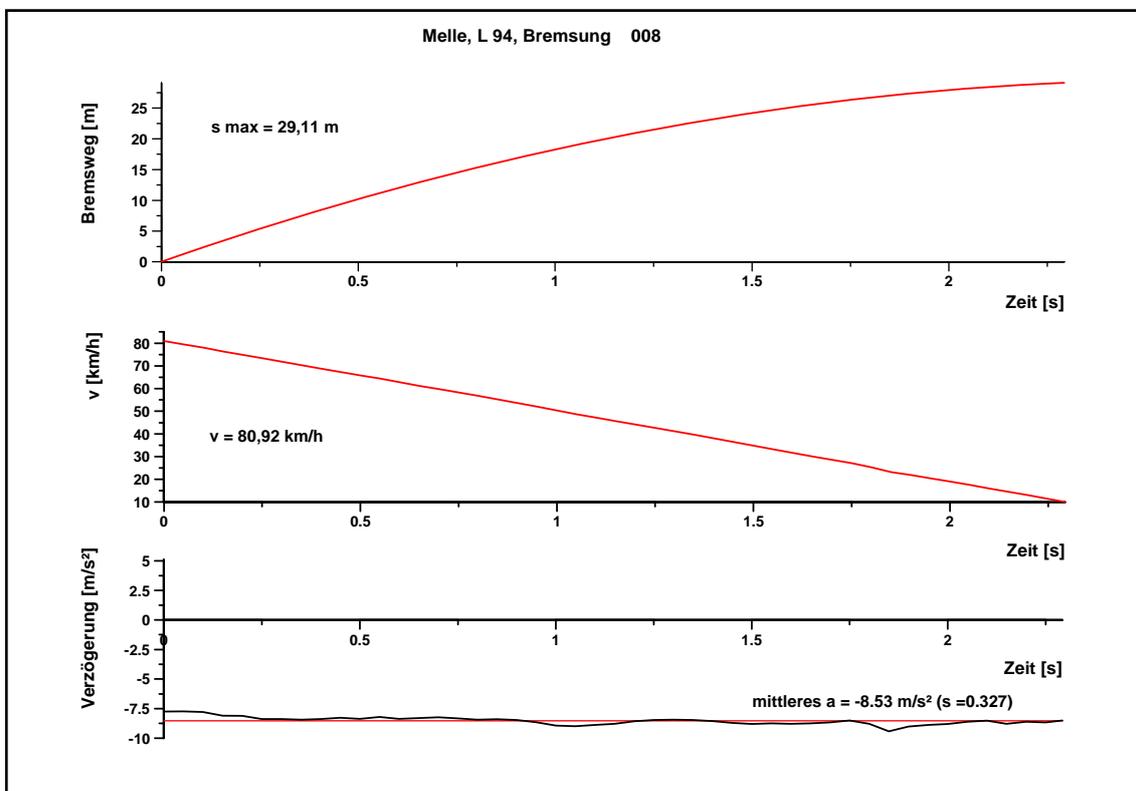
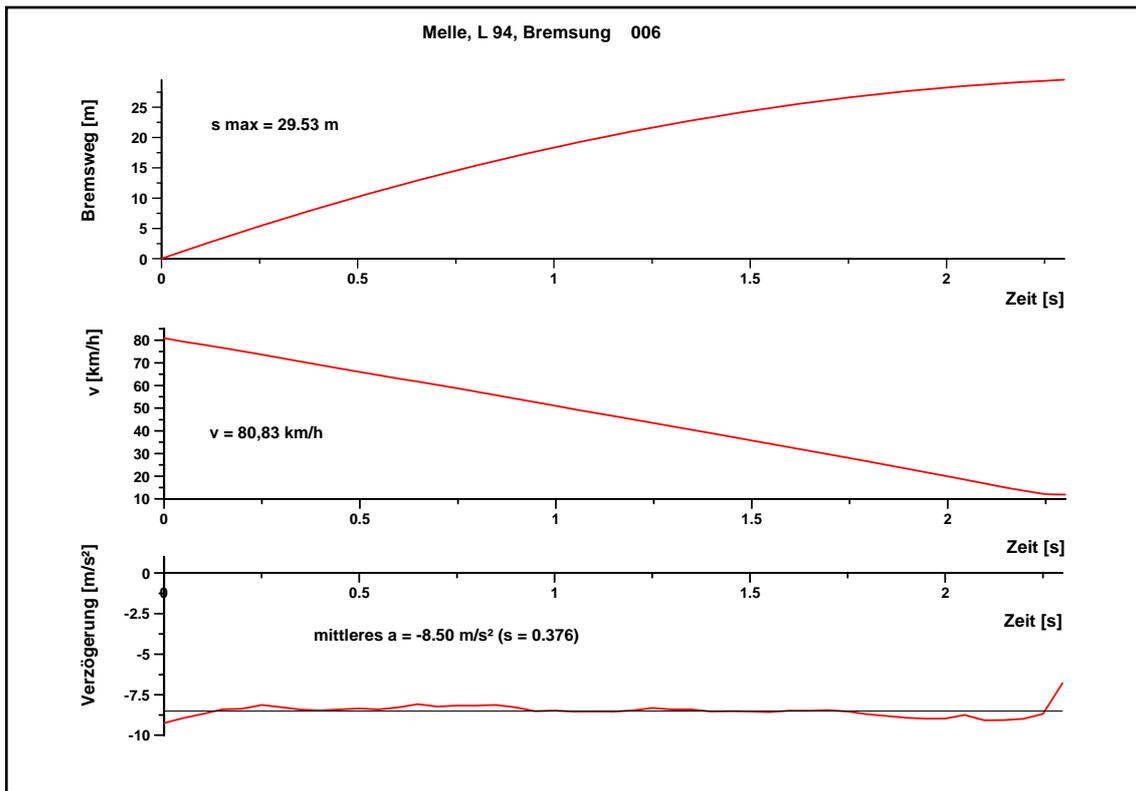
09.3 Protokoll der Griffigkeitsmessung mit dem SRT-Pendel

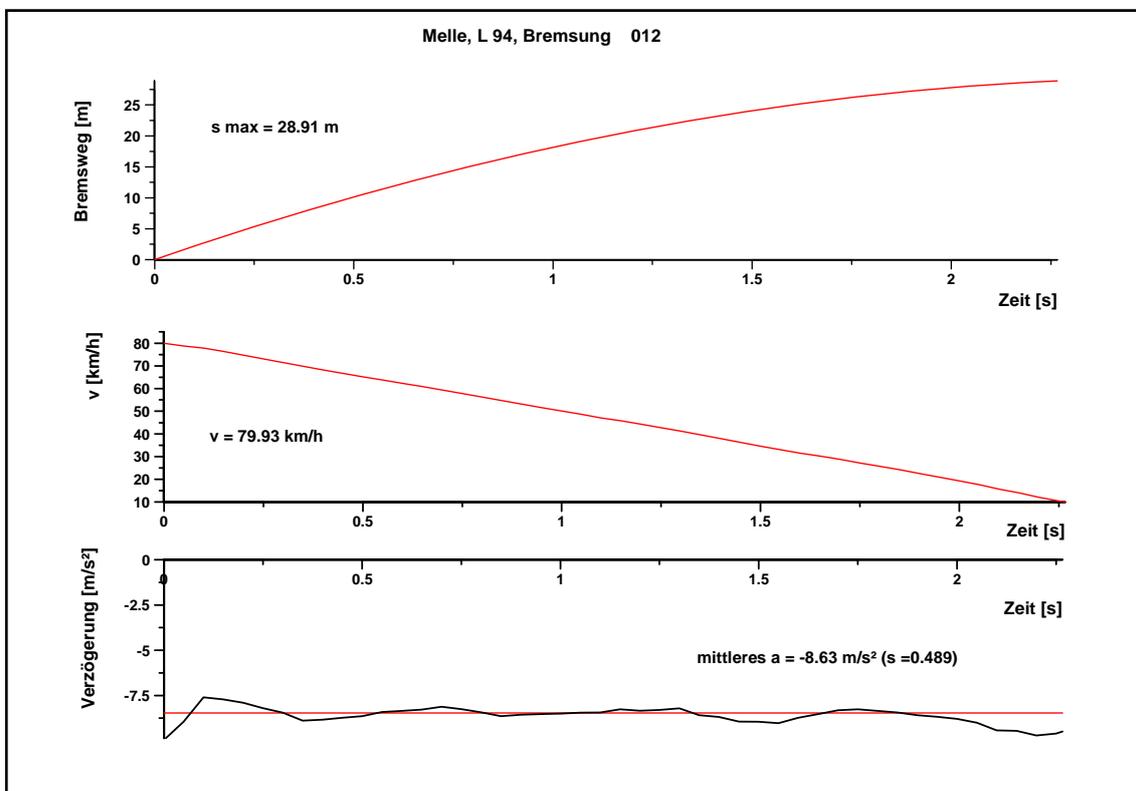
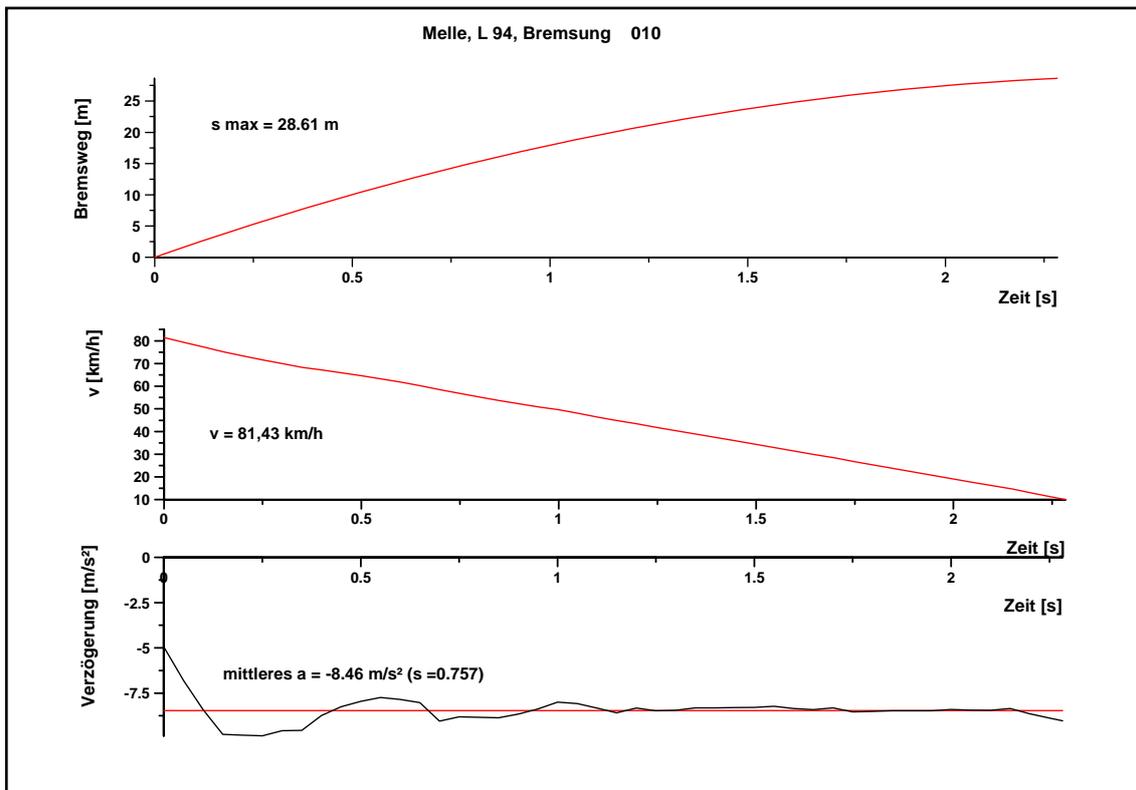
Prüfstrecke											
Kombinierte Griffigkeits- und Rauheitsmessungen						Auftraggeber		OPA - Bestand			
						Auftrag-Nr.					
/Pendelgerät		Nr.		Nächste Kalibrierung		Messstrecke (Bezeichnung, lfd. Nr., örtliche Lage)		Wellingholzhausen Stro, 3c 49324 Melle			
BAM Gleitkörper		Nr.		Gültig bis							
Ausflussmesser		Nr.		Nächste Kalibrierung							
		Nr.		Nächste Kalibrierung							
Datum, Uhrzeit		31.10.07 12 ⁰⁰				Messfeld, -linie					
Wetter		sonnig				Neigung		Längs 0 %		Quer 0 %	
Lufttemperatur		10.0 °C		Fahrbahntemperatur 10.6 °C		Art der Deckschicht		OPA			
Temperatur des Gleitkörpers		Messbeginn		Messende		Mittelwert		Oberflächenstruktur			
		10.5 °C		10.8 °C		10.65 °C		Bau-, Erneuerungsjahr		Sommer 2007	
Bemerkungen											
Messpunkt-Nr.											
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Bemerkungen											
Pendelgerät	1. Messwert	60	60	60							
	2. Messwert	60	59	60							
	3. Messwert	60	59	60							
	4. Messwert	60	59	59							
	5. Messwert	59	59	59							
	Erforderlichenfalls weitere Messwerte *)										
	Mittel 1. bis 5.	59,8	59,2	59,6							
	Mittel über alle Messpunkte	$\bar{y}_0 = 59,5$ Einheiten									
	Temperaturkorrektur	$k = -2,7$ Einheiten									
	Messergebnis des Messfeldes	$\bar{y} = \bar{y}_0 + k = 57$ Einheiten [SRT]									
Ausflussmesser	Messwerte										
	Mittel über alle Messpunkte	$\bar{z} =$ s [Sekunden]									
Ausführender der Messung: Schenker Protokollführer: Pullwitt											
*) Falls der 1. bis 5. Messwert sich um mehr als 3 Einheiten voneinander unterscheiden, sind die Pendeldurchgänge so lange fortzusetzen, bis 3 aufeinanderfolgende Messwerte übereinstimmen, und dieser Messwert ist anstelle des Mittelwertes einzutragen.											

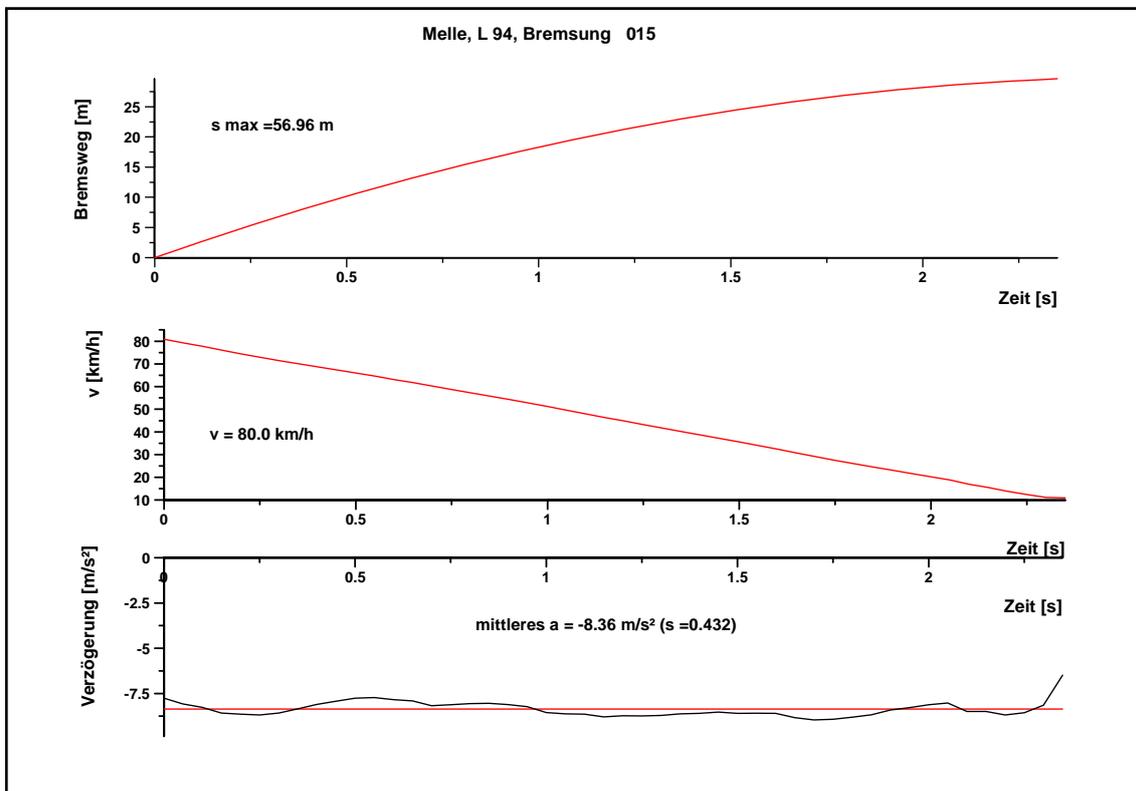
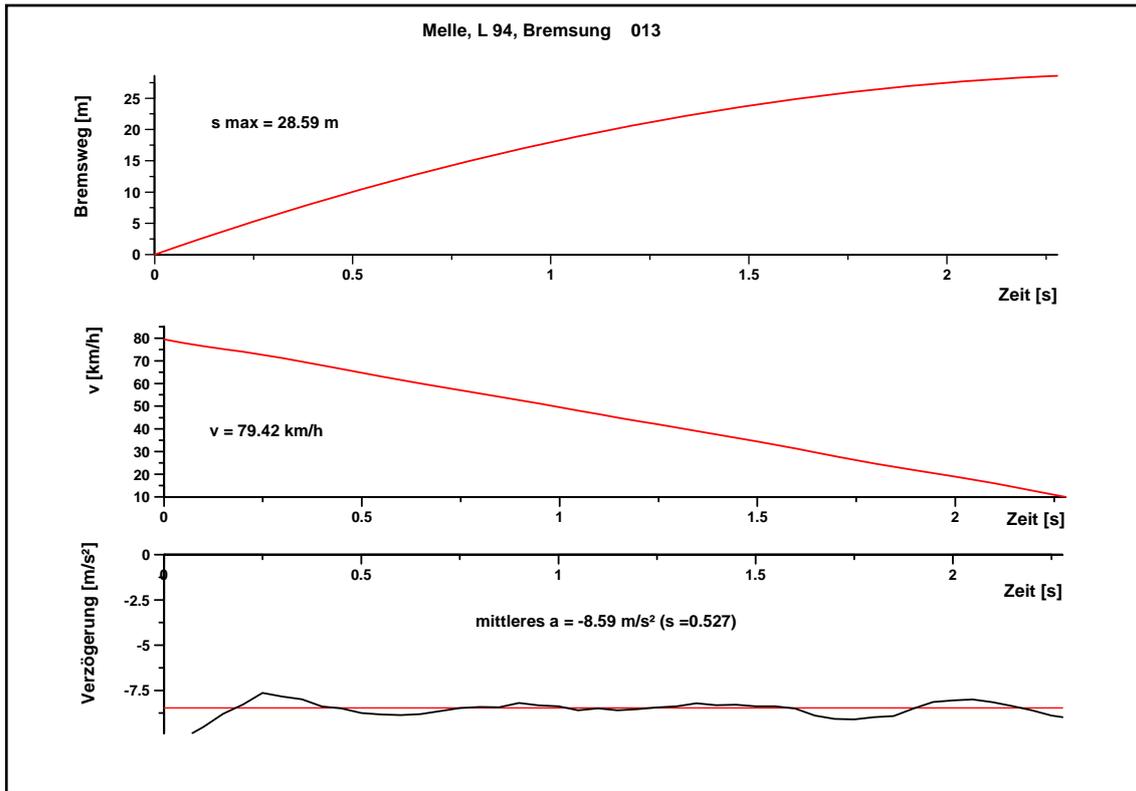
Anhang 09.4

Zeitverläufe der Weg- und Geschwindigkeitsänderung sowie des Verzögerungsverlaufs der Bremsungen auf dem AB 0/8 Belag der L94









Messbericht Sperenberg

- 10.1 Technische Angaben zum Versuchsfahrzeug
- 10.2 Auszug aus den Prüfvorschriften der ECE-R13
- 10.3 Lage der Asphaltdeckschichten in Sperenberg
- 10.4 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem AB 0/8 Belag
- 10.5 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem GA 2/3-Belag
- 10.6 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem OPA-Belag
- 10.7 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem SMA 0/8-Belag

10.1 Technische Angaben zum Versuchsfahrzeug

Nr. CV 066 785

Raum für sonstige Eintragungen der Zulassungsstelle

2144

1	Fahrzeug- und Aufbauart	PKW GESCHLOSSEN	Schlüssel-Nr.	0102
2	Fahrzeughersteller	DAIMLERCHRYSLER (D)		0710
3	Typ und Ausführung	211 K		960010 2
4	Fahrzeugident.-Nr.	WDB2112061A738584		0
5	Antriebsart	D-D/OBD	15	6
6	Leistung	K110/4200	1822	207
7	Nutz- oder Aufladefest kg			2148
8	Hubraum cm³			
9	Steh-/Liegeplätze			5
10	Maße über			
11	Stehhöhe mm	4850	Stelle	1822
12	Leergewicht kg	1810	Zul. Gesamtgewicht kg	2360
13	Zul. Achslast kg	1025	Stellen	1335
14	Räder und/oder Getriebearten	1	Zahl der Achsen	2
15	Größenbezeichnung der Bereifung	225/55R16 95H		1
16	Überdruck am Überdruckbehälter			
17	Antriebsart			
18	Antriebsart			
19	Antriebsart			
20	Antriebsart			
21	Antriebsart			
22	Antriebsart			
23	Antriebsart			
24	Antriebsart			
25	Antriebsart			
26	Antriebsart			
27	Antriebsart			
28	Antriebsart			
29	Antriebsart			
30	Antriebsart			
31	Antriebsart			
32	Antriebsart			
33	Bemerkungen	ZIFP.13:LANG BIS 4871 U.HOC H BIS 1500 JE NACH AUSR.*ZI FF.16:H.1400 B.ANH-BETR.*ZI FF.20 U.21 A.FELGE 7 1/2JX1 6H2,ET42MM OD.8JX16H2,ET36M M*ZIFP.27 GEN.:E1 00-1243 F		

1	Die Angaben über Hersteller, Typ und Ausführung des Fahrzeuges sowie die Fahrzeug-Identifizierungsnummer dürfen im Fahrzeugbrief grundsätzlich nicht geändert werden. Wenn die Fahrzeug-Identifizierungsnummer nicht mit der am Fahrzeug angebrachten übereinstimmt, gehört der Brief nicht zum Fahrzeug.	1	
2		2	
3		3	
4		4	
5		5	
6		6	
7		7	
8		8	
9		9	
10		10	
11		11	
12		12	
13		13	
14		14	
15		15	
16		16	
17		17	
18		18	
19		19	
20		20	
21		21	
22		22	
23		23	
24		24	
25		25	
26		26	
27		27	
28		28	
29		29	
30		30	
31		31	
32		32	
33	Bemerkungen	33	Bemerkungen

Die Richtigkeit der Angaben in Spalte B wird bescheinigt. Das Fahrzeug entspricht - insoweit - den geltenden Vorschriften.

Stempel

den

Die Richtigkeit der Angaben in Spalte C wird bescheinigt. Das Fahrzeug entspricht - insoweit - den geltenden Vorschriften.

Stempel

den

10.2 Auszug aus den Prüfvorschriften der ECE-R13

Bremsen Pkw

Anh. 3 ECE-R 13-H

A n h a n g 3

Bremsprüfungen und Wirkung der Bremssysteme

1 Bremsprüfungen

1.1 Allgemeines

1.1.1 Die für Bremssysteme vorgeschriebene Wirkung ist auf den Bremsweg und die mittlere Vollverzögerung bezogen. Die Wirkung eines Bremssystems wird durch Messung des Bremswegs in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeugs und/oder durch Messung der mittleren Vollverzögerung während der Prüfung bestimmt.

1.1.2 Der Bremsweg ist der vom Fahrzeug vom Beginn der Betätigung des Bremssystems durch den Fahrzeugführer bis zum Stillstand des Fahrzeugs zurückgelegte Weg; die Ausgangsgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Beginns der Betätigung des Bremssystems durch den Fahrzeugführer. Die Ausgangsgeschwindigkeit darf nicht weniger als 98 % der für die betreffende Prüfung vorgeschriebenen Geschwindigkeit betragen.

Die mittlere Vollverzögerung (d_m) wird als Mittelwert der Verzögerung, bezogen auf den im Intervall v_b bis v_e zurückgelegten Weg, nach folgender Formel berechnet:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 (s_e - s_b)}$$

Dabei ist

v_0 = Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeugs in km/h,

v_b = Fahrzeuggeschwindigkeit bei 0,8 v_0 in km/h,

v_e = Fahrzeuggeschwindigkeit bei 0,1 v_0 in km/h,

s_b = zurückgelegter Weg zwischen v_0 und v_b in Metern,

s_e = zurückgelegter Weg zwischen v_0 und v_e in Metern.

Die Geschwindigkeit und der Weg sind mit Meßgeräten zu ermitteln, die im Bereich der vorgeschriebenen Prüfungsgeschwindigkeit eine Genauigkeit von ± 1 % aufweisen. Die mittlere Vollverzögerung kann auch anders als durch die Messung von Geschwindigkeit und Weg ermittelt werden; in diesem Fall muß die Rechengenauigkeit ± 3 % betragen.

1.2 Für die Genehmigung jedes Fahrzeugs ist die Bremswirkung bei Prüfungen auf der Straße zu messen; diese Prüfungen sind unter folgenden Bedingungen durchzuführen:

1.2.1 Das Fahrzeug muß sich in dem für jeden Prüfungstyp angegebenen Belastungszustand befinden; dieser ist im Prüfbericht anzugeben.

1.2.2 Die Prüfung ist bei den für jeden Prüfungstyp vorgeschriebenen Geschwindigkeiten durchzuführen. Ist die durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs niedriger als die für die Prüfung vorgeschriebene, so ist die Prüfung bei der Höchstgeschwindigkeit des Fahrzeugs durchzuführen.

1.2.3 Die bei den Prüfungen auf die Betätigungseinrichtung ausgeübte Kraft zur Erreichung der vorgeschriebenen Bremswirkung darf nicht größer als der festgelegte Höchstwert sein.

1.2.4 Die Straße muß eine griffige Oberfläche haben, sofern in den entsprechenden Anhängen nichts anderes festgelegt ist.

10.3 Lage der Asphaltdeckschichten in Sperenberg

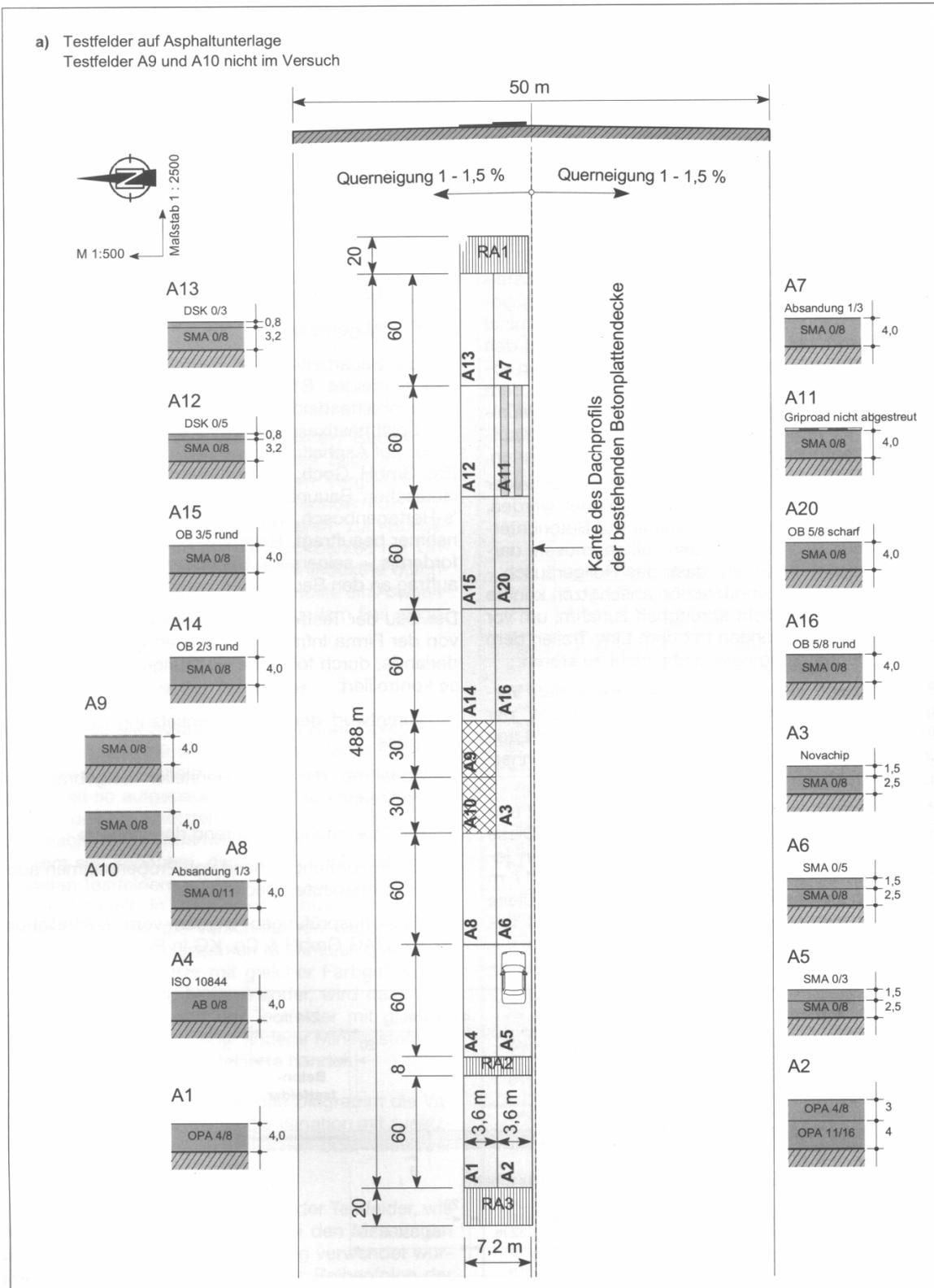
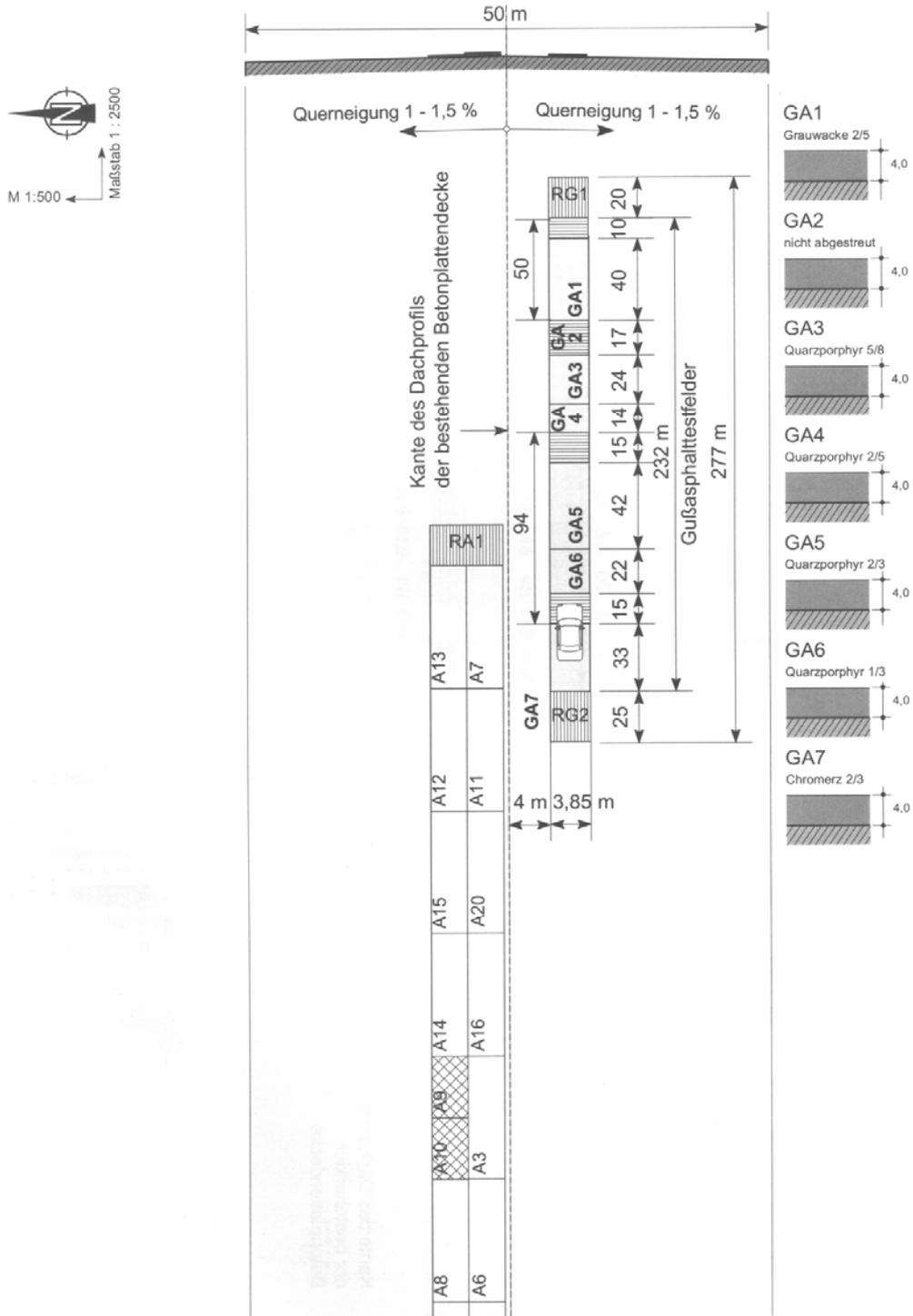


Bild 20: Lage und Anordnung der Testfelder auf der Start- und Landebahn. Bilder nicht im angegebenen Maßstab

c) Lage und Anordnung der Gußasphaltestfelder.



10.4 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem AB 0/8 Belag

ISO 01

Vehicle, DB 200 CDI
 Time 08:22:44
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 27,70 m
 mittl. Verzögerung -8,51 m/s²
 MFDD¹ 8,00 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,26 seconds

ISO 05

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:26:29
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 25,58 m
 mittl. Verzögerung -9,25 m/s²
 MFDD 9,02 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,10 seconds

ISO 02

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:23:52
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed, 10,00 km/h
 Test Distance 27,00 m
 mittl. Verzögerung -8,96 m/s²
 MFDD 8,81 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,18 seconds

ISO 06

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:27:25
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 25,82 m
 mittl. Verzögerung -9,23 m/s²
 MFDD 8,94 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,11 seconds

ISO 03

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:24:45
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 26,04 m
 mittl. Verzögerung -9,08 m/s²
 MFDD 8,57 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,13 seconds

ISO 07

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:28:13
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 25,73 m
 mittl. Verzögerung -9,22 m/s²
 MFDD 9,15 m/s²
 Min Satellites, 7
 Test Time 2,09 seconds

ISO 04

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:25:36
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 26,01 m
 mittl. Verzögerung -9,28 m/s²
 MFDD 8,86 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,11 seconds

ISO 08

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:29:01
 Date 3.11.2005
 Start Speed 80,00 km/h
 End Speed 10,00 km/h
 Test Distance 24,57 m
 mittl. Verzögerung -9,27 m/s²
 MFDD 8,93 m/s²
 Min Satellites 7
 Test Time 2,01 seconds

ISO 09

Vehicle DB 200 CDI
 Time 08:29:57

¹ Mean Fully Developed Deceleration, mittlere Vollverzögerung nach ECE R13

Anhang 10

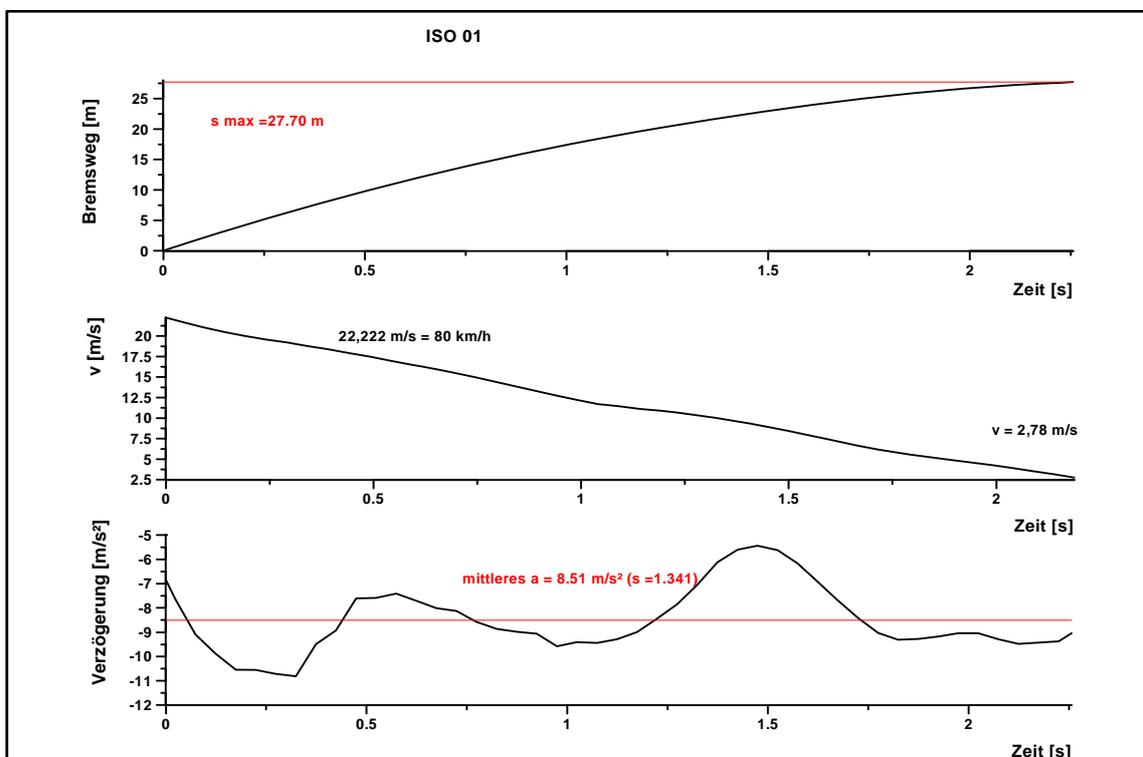
Date	3.11.2005	MFDD	8,77 m/s ²
Start Speed	80,00 km/h	Min Satellites	7
End Speed	10,00 km/h	Test Time	2,10 seconds
Test Distance	25,54 m		
mittl. Verzögerung	-9,35 m/s ²	ISO 11	
MFDD	9,17 m/s ²	Vehicle	DB 200 CDI
Min Satellites	7	Time	08:31:45
Test Time	2,06 seconds	Date	3.11.2005

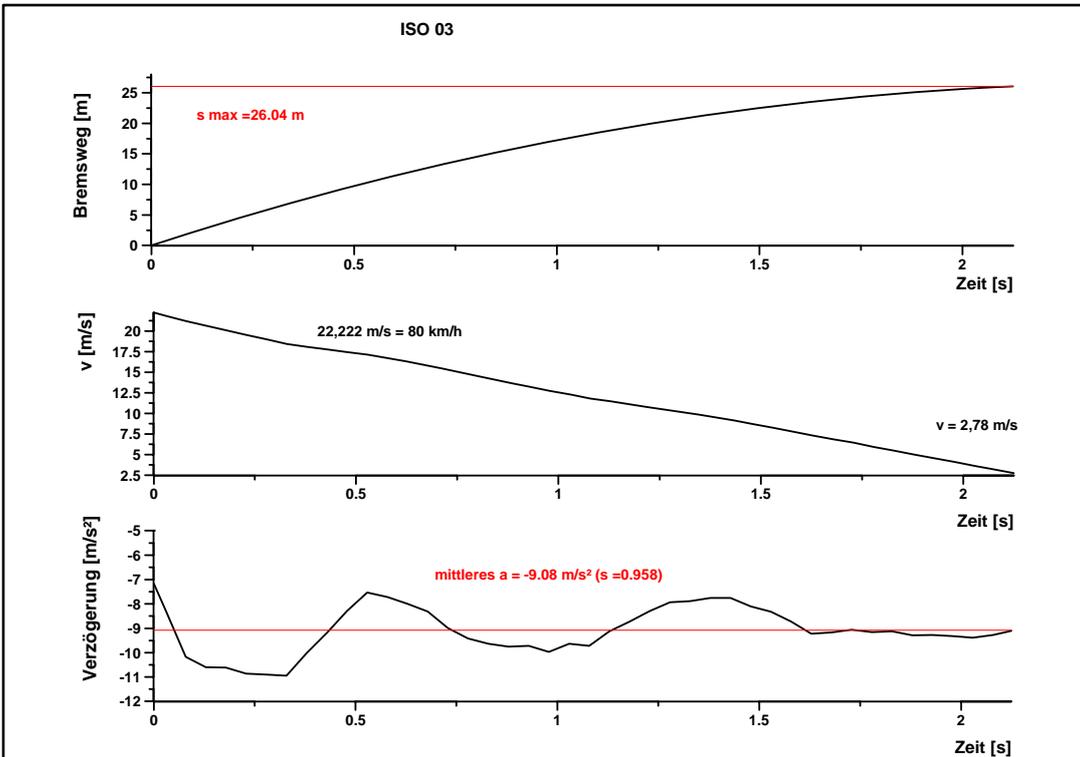
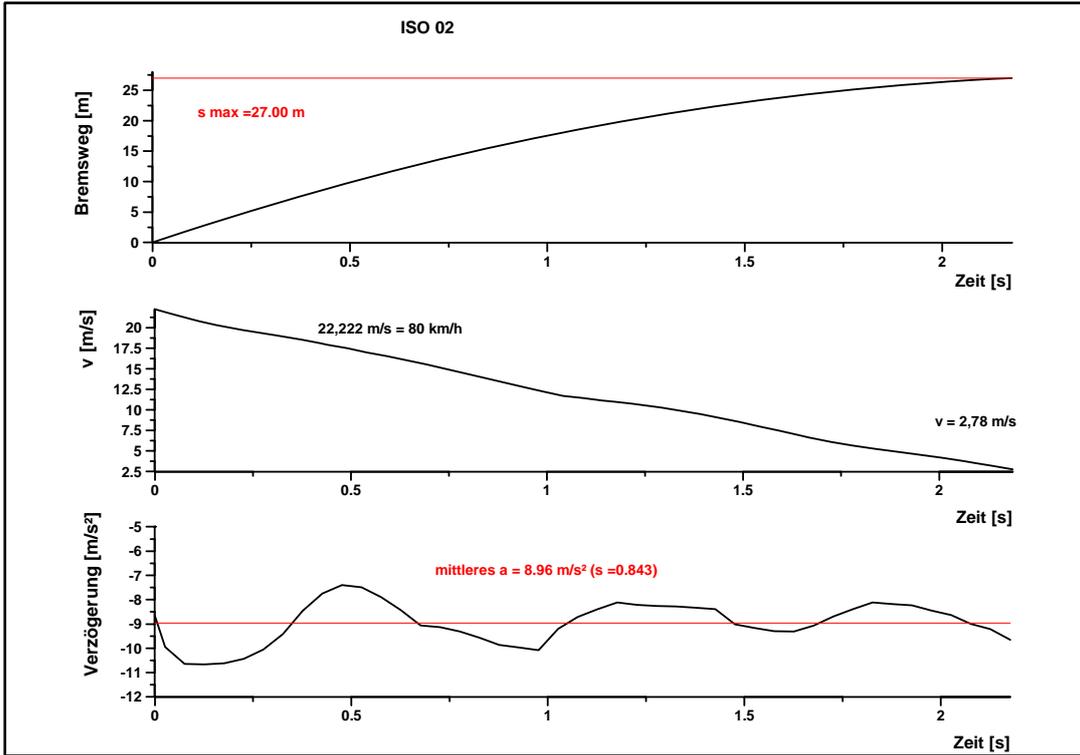
ISO 10

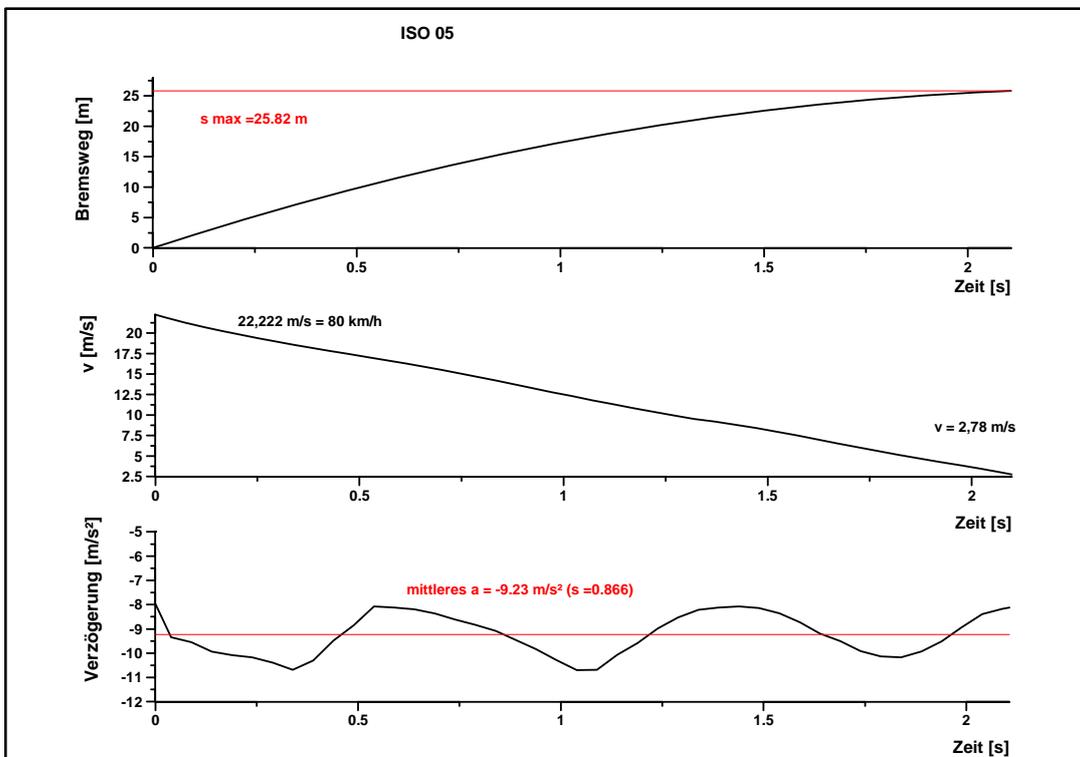
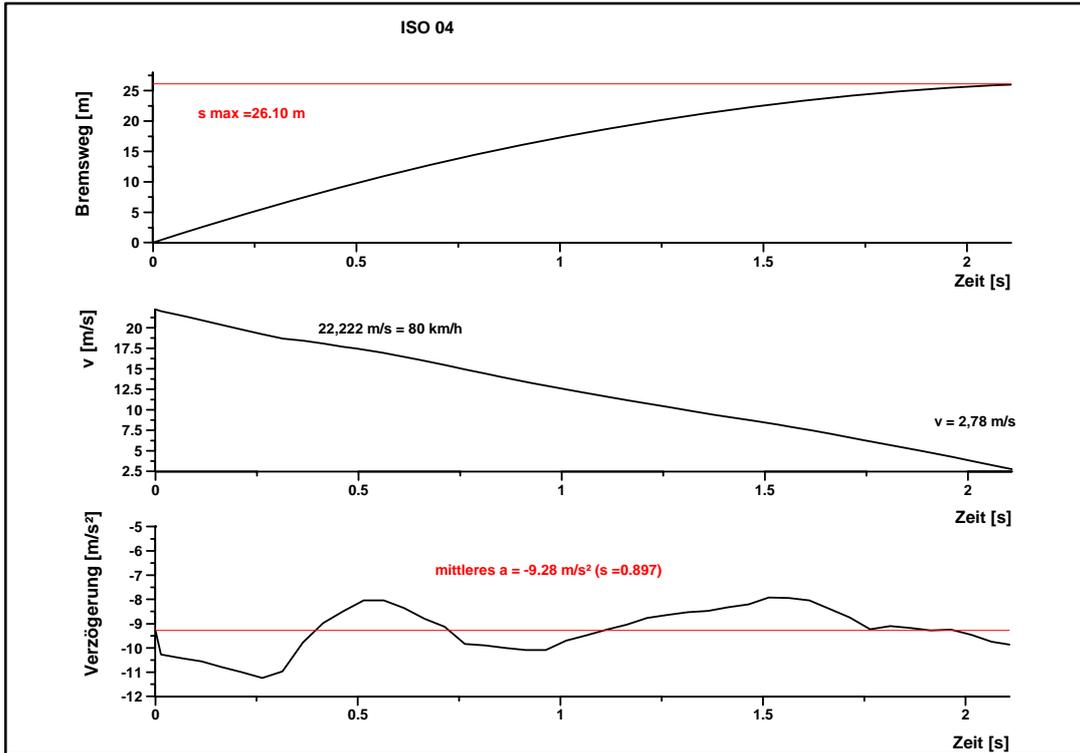
Vehicle	DB 200 CDI
Time	08:30:47
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	25,65 m
mittl. Verzögerung	-9,14 m/s ²

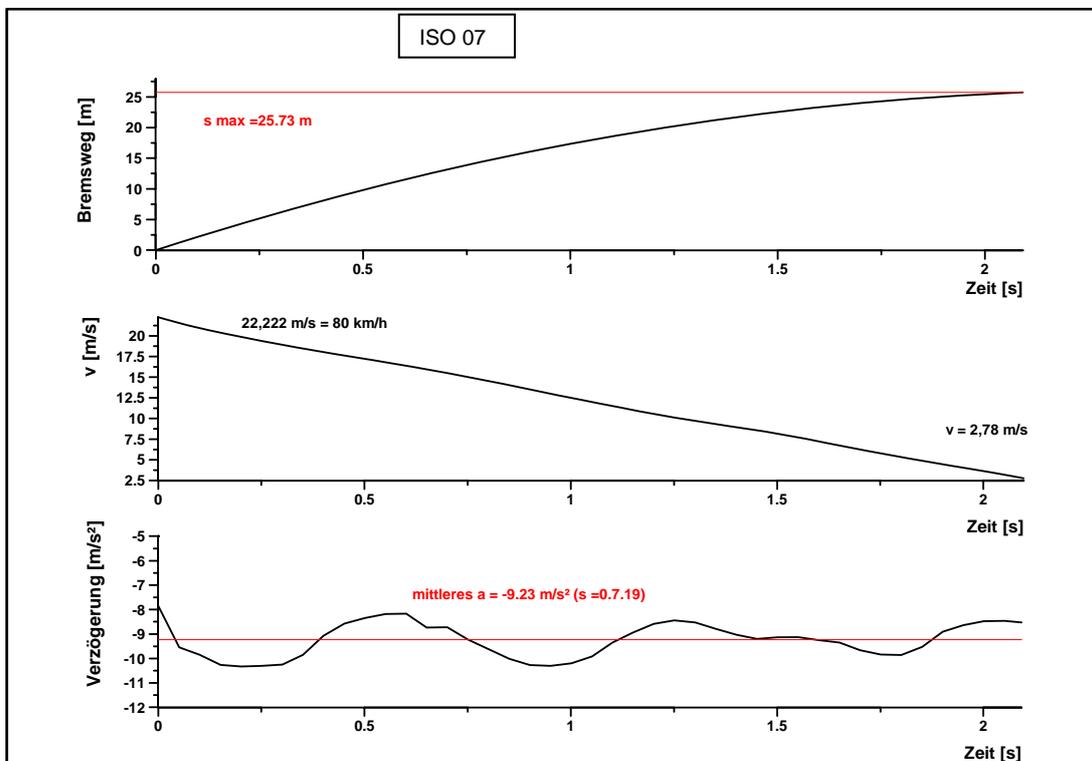
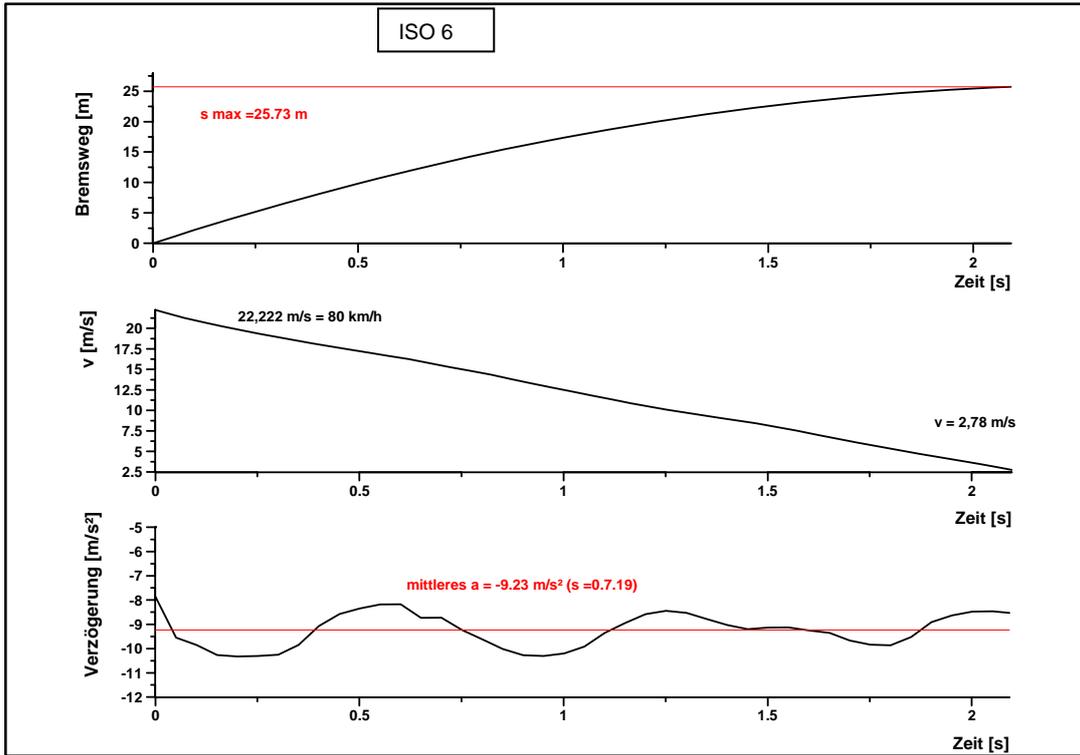
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	25,36 m
mittl. Verzögerung	-9,41 m/s ²
MFDD	9,21 m/s ²
Min Satellites	7
Test Time	2,06 seconds

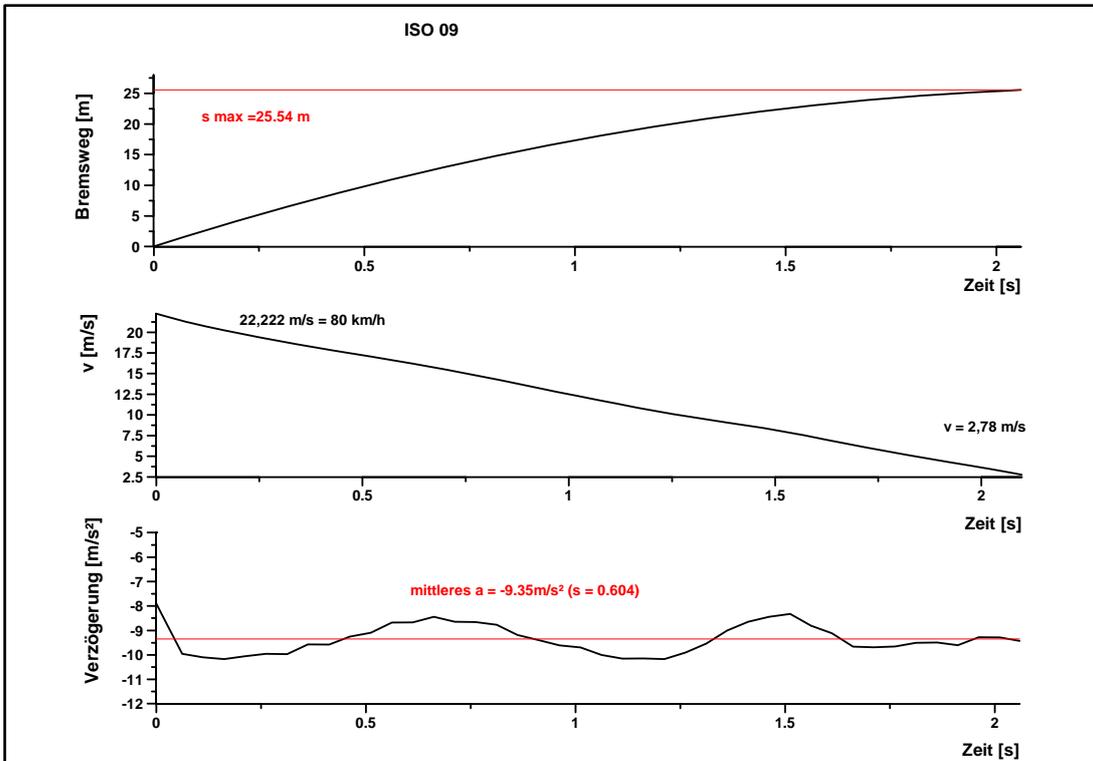
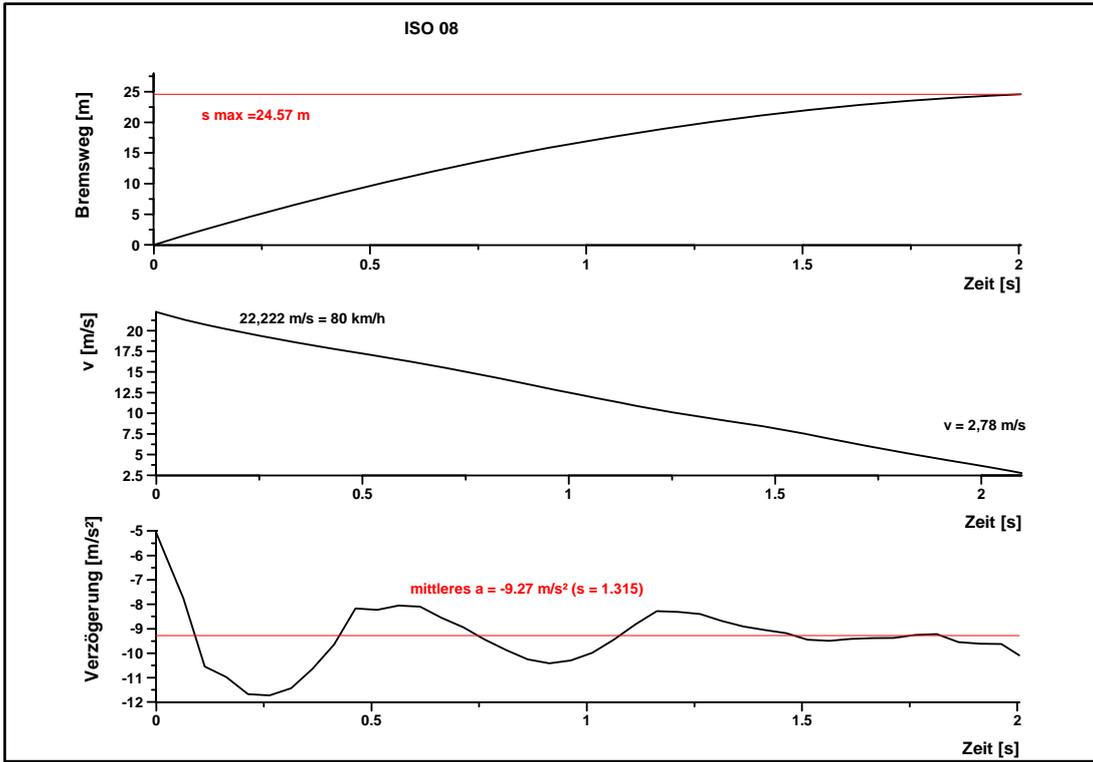
Diagramme des Bremsweges, des Geschwindigkeitsverlaufes und der mittleren Verzögerung über der Zeit

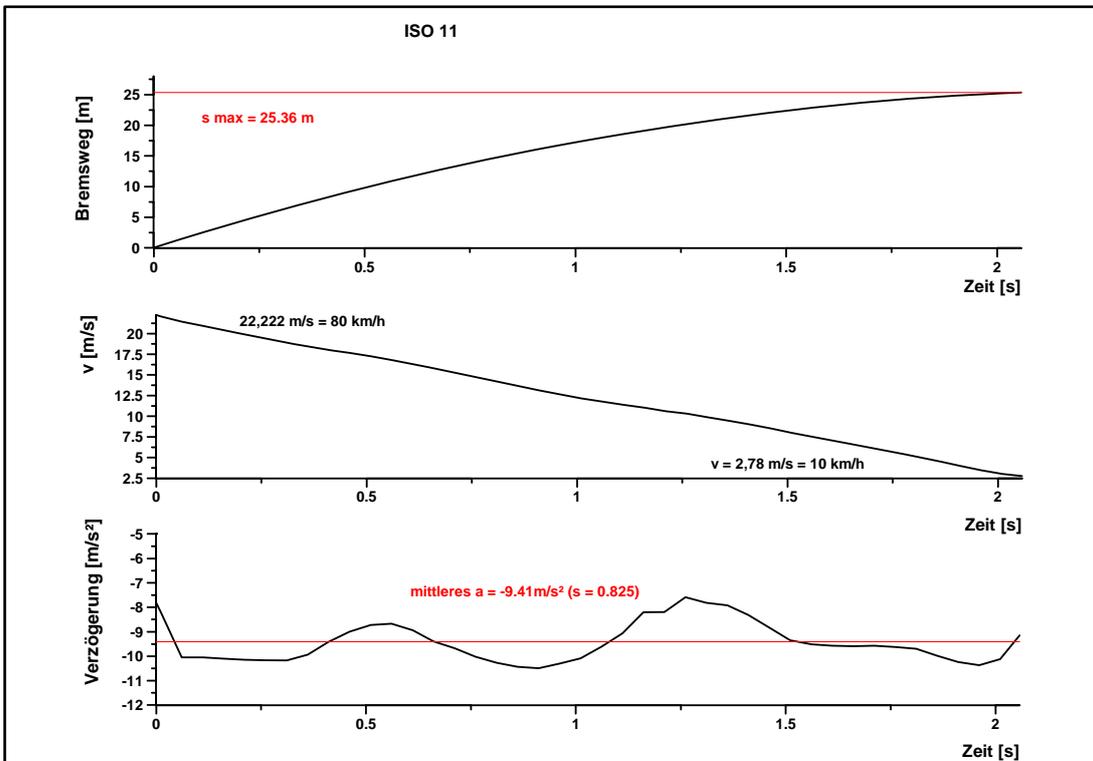
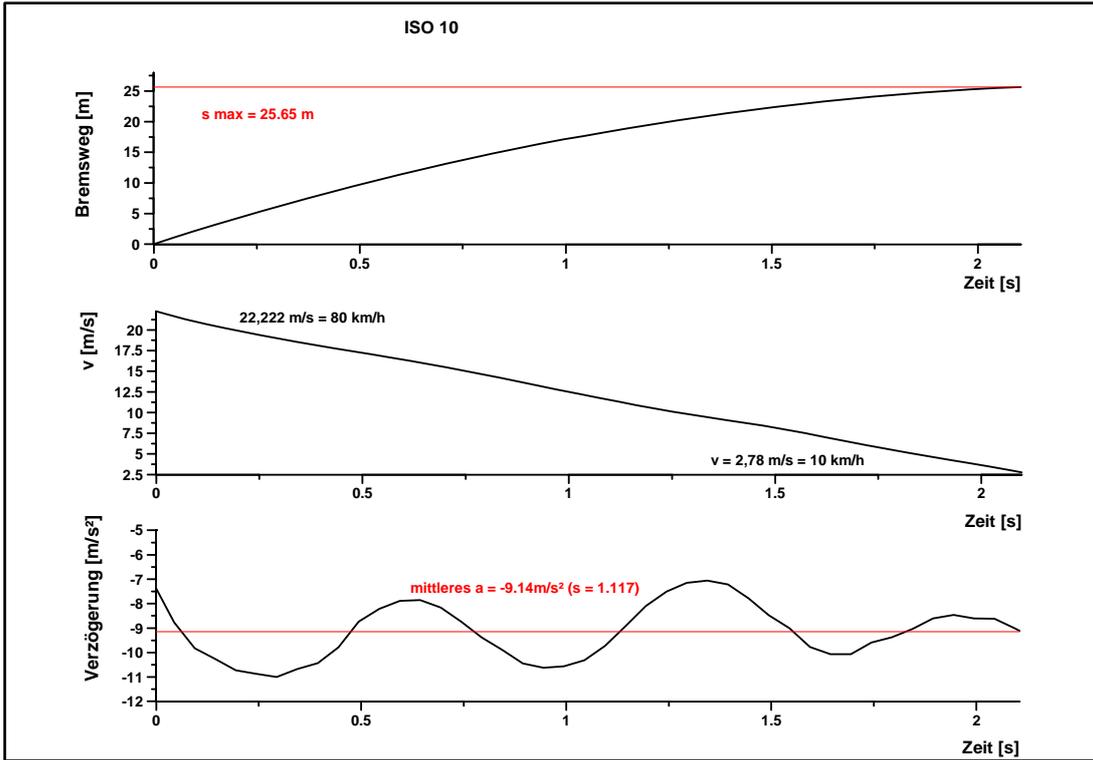












10.5 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem GA 2/3-Belag

GA 01

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:34:37
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	24,88 m
mittlere Verzögerung	9,52 m/s ²
MFDD ²	9,47 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,05 seconds

GA 02

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:35:41
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	25,63 m
mittlere Verzögerung	9,02 m/s ²
MFDD	8,74 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,10 seconds

GA 03

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:36:41
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	26,91 m
mittlere Verzögerung	9,02 m/s ²
MFDD	9,33 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,14 seconds

GA 04

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:37:24
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	26,66 m
mittlere Verzögerung	9,34 m/s ²
MFDD	9,20 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,13 seconds

GA 05

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:38:15
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	26,30 m
mittlere Verzögerung	9,28 m/s ²
MFDD	9,19 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,16 seconds

GA 06

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:39:11
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	25,36 m
mittlere Verzögerung	9,47 m/s ²
MFDD	9,22 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,09 seconds

GA 07

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:40:02
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	26,62 m
mittlere Verzögerung	9,17 m/s ²
MFDD	9,08 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,16 seconds

GA 08

Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:40:59
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	24,64 m
mittlere Verzögerung	9,54 m/s ²
MFDD	9,16 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,04 seconds

GA 09

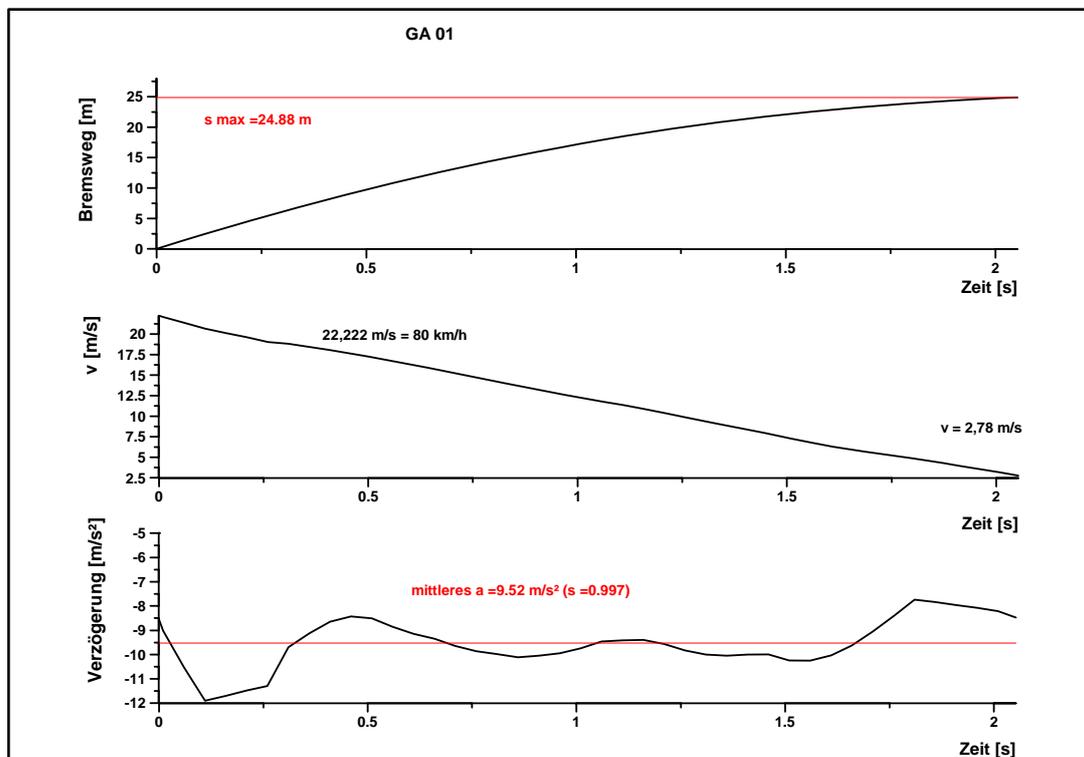
Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:42:39
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h

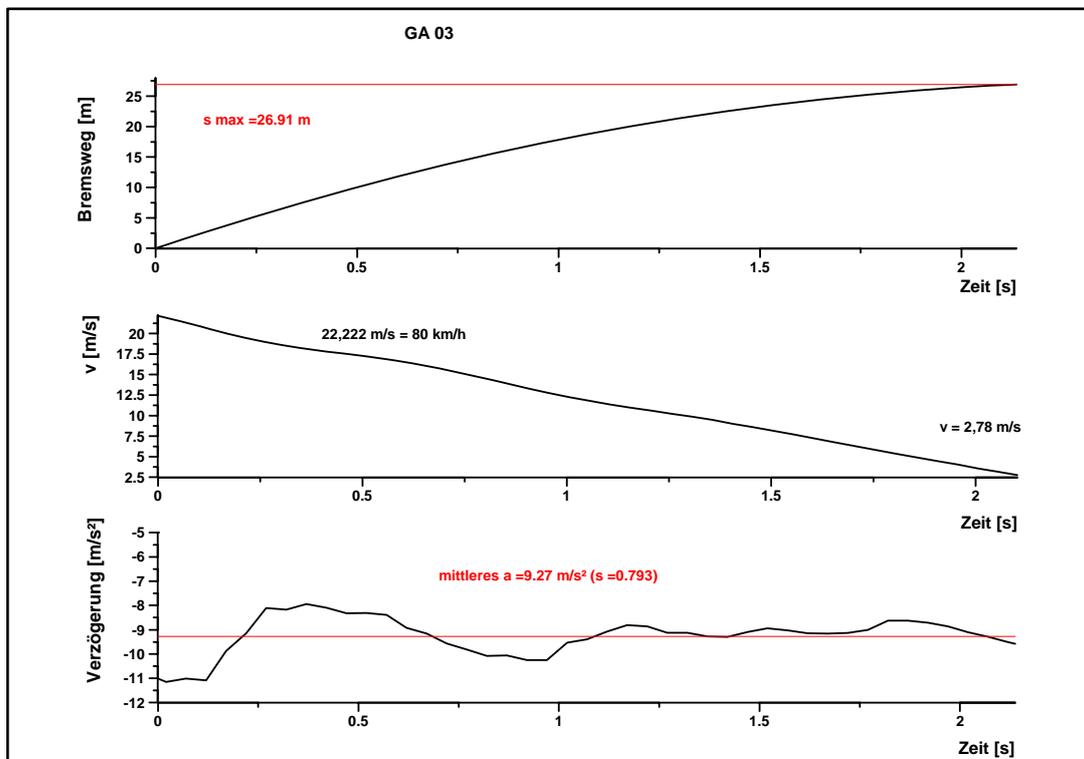
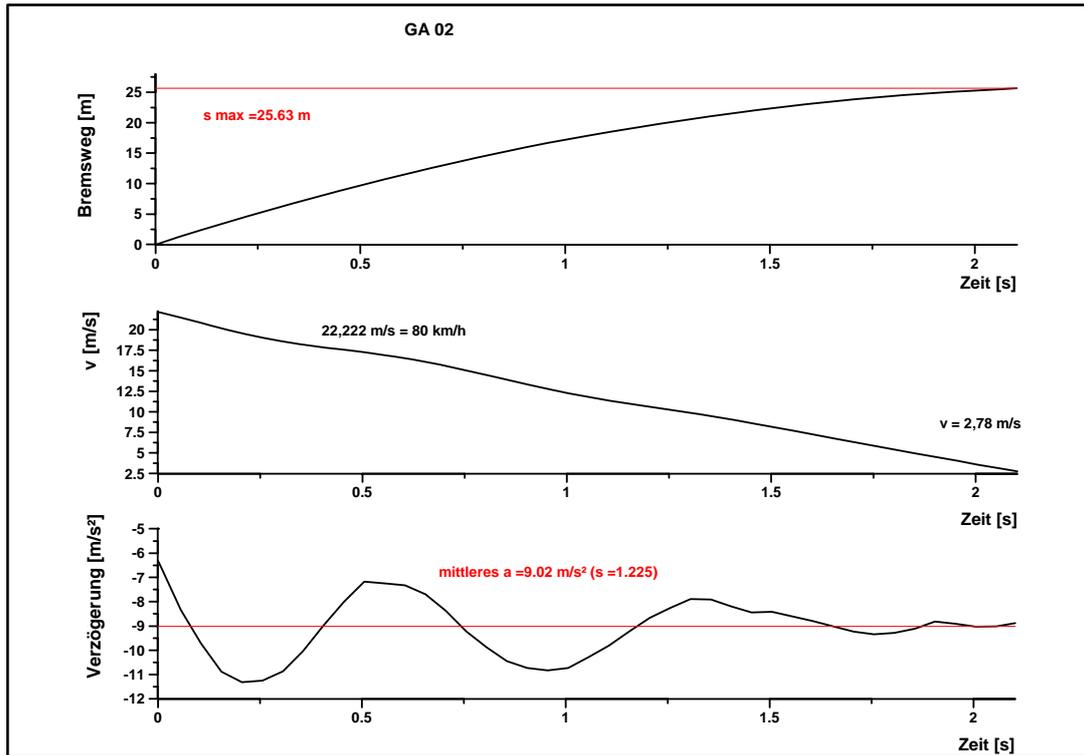
² Mean Fully Developed Deceleration, mittlere Vollverzögerung nach ECE R13

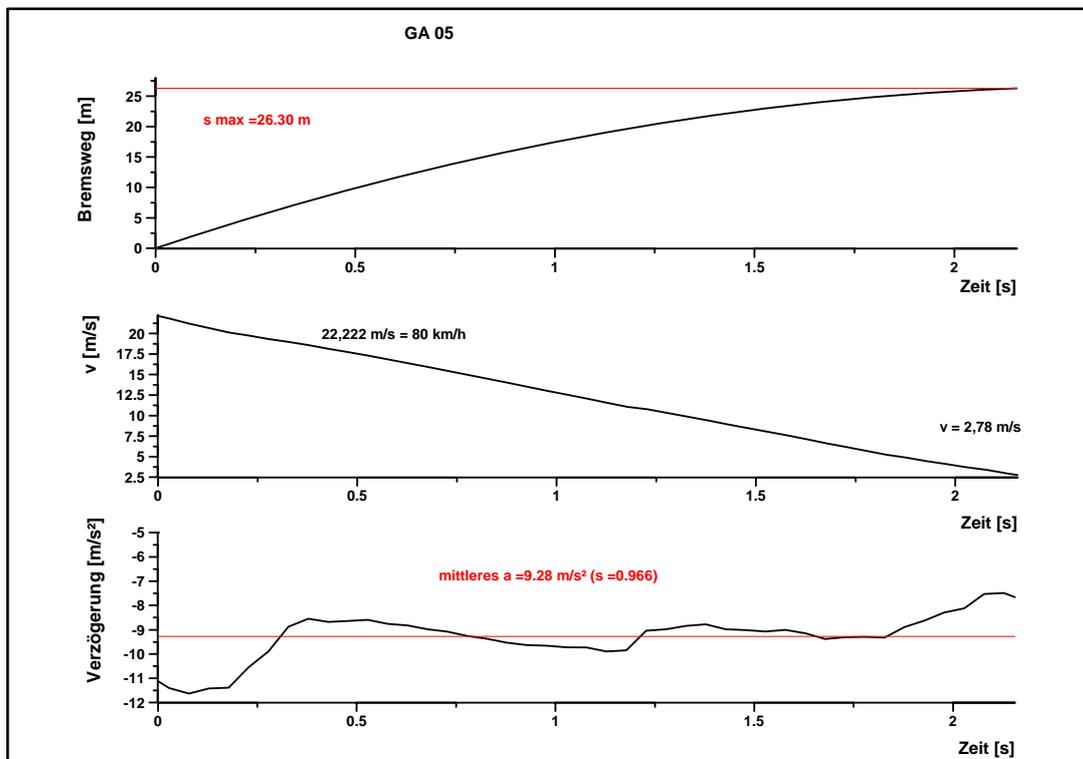
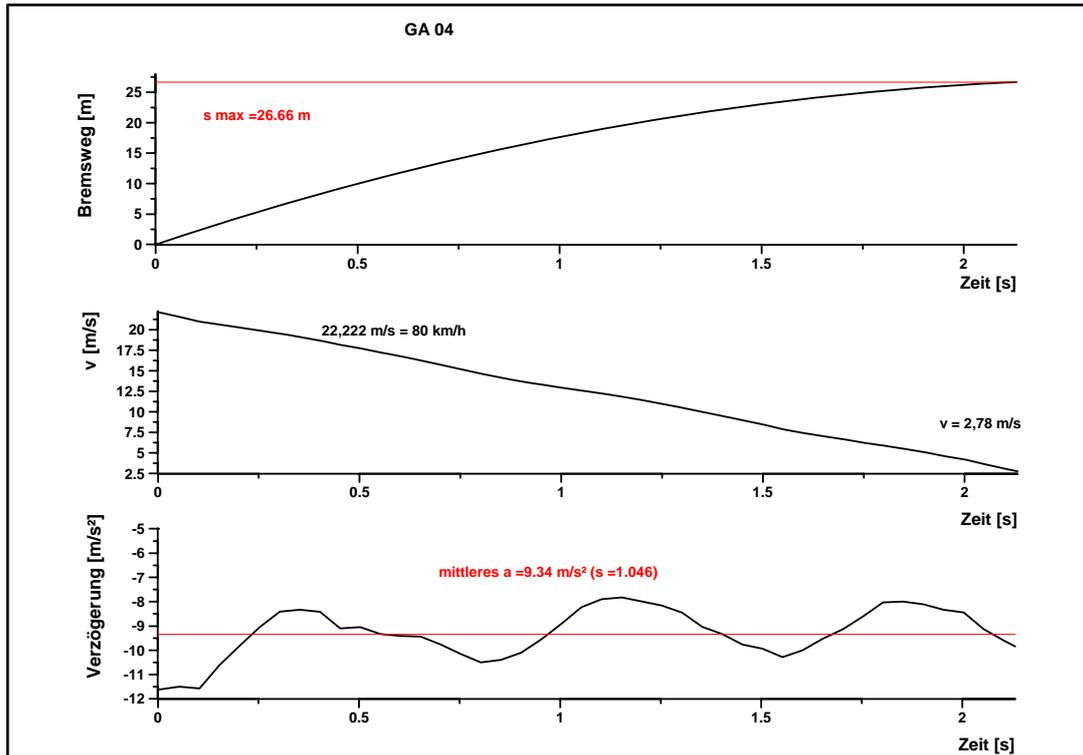
End Speed	10,00 km/h	Vehicle	DB 200 CDI
Test Distance	28,50 m	Time	10:43:31
mittlere Verzögerung	8,98 m/s ²	Date	3.11.2005
MFDD	8,82 m/s ²	Start Speed	80,00 km/h
Min Satellites	8	End Speed	10,00 km/h
Test Time	2,24 seconds	Test Distance	26,14 m
		mittlere Verzögerung	9,19 m/s ²
		MFDD	9,14 m/s ²
		Min Satellites	8
		Test Time	2,19 seconds

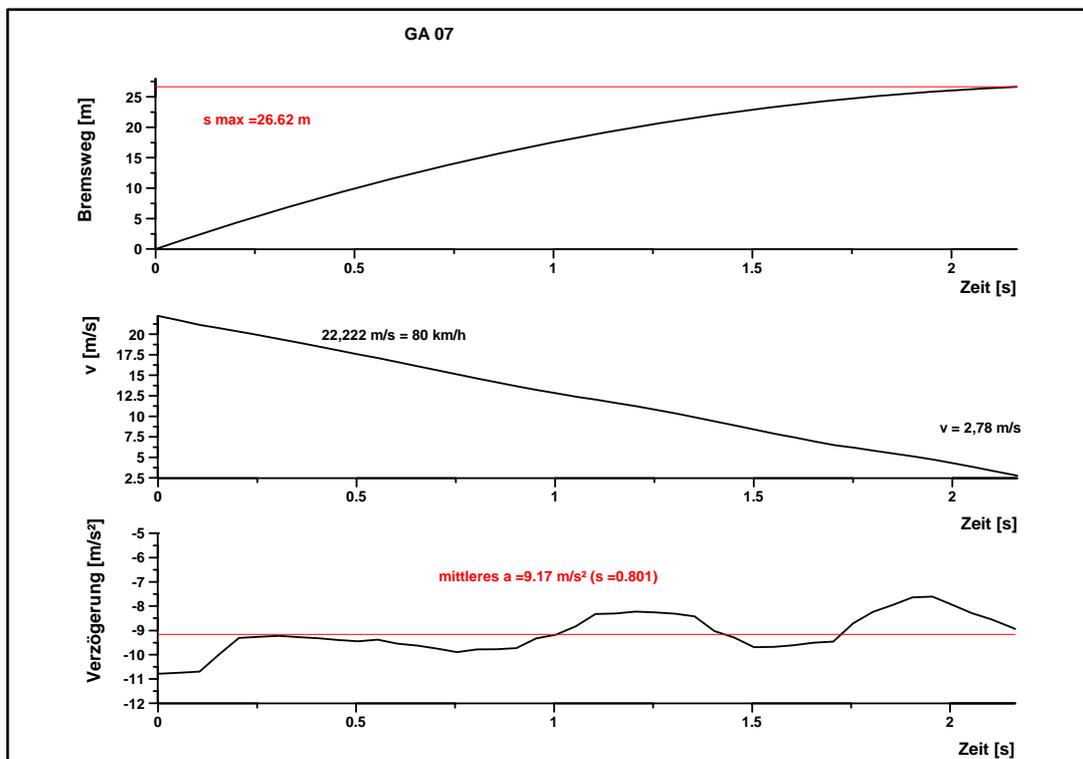
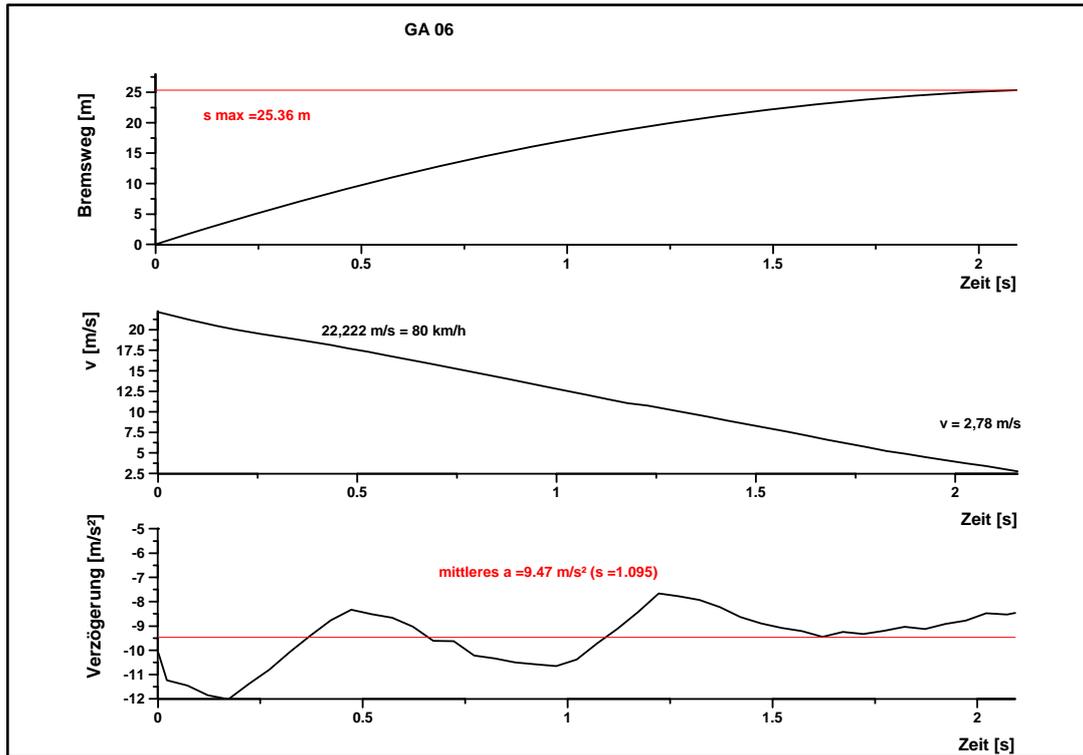
GA 10

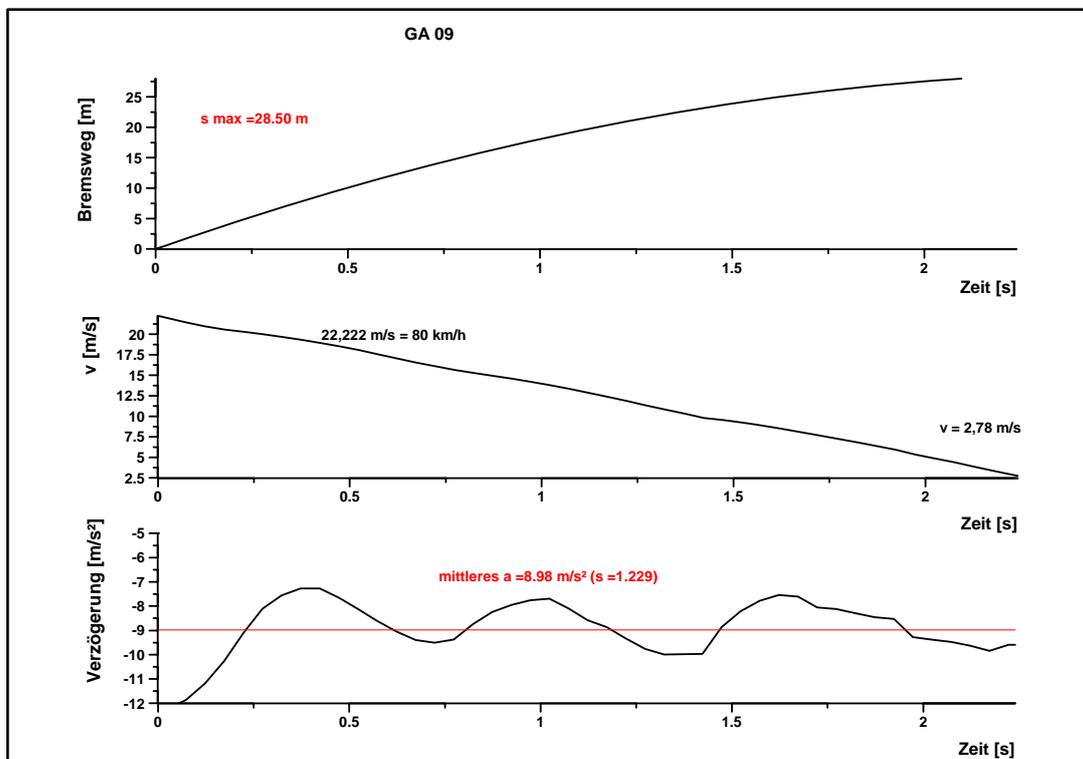
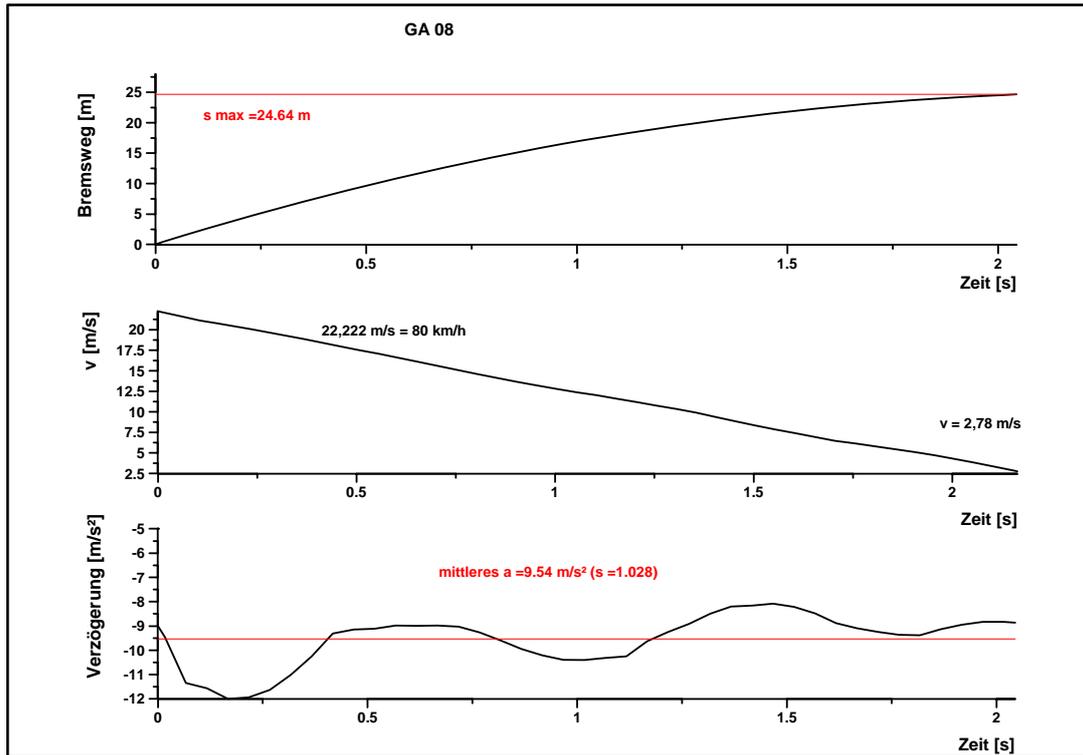
Diagramme des Bremsweges, des Geschwindigkeitsverlaufes und der mittleren Verzögerung über der Zeit

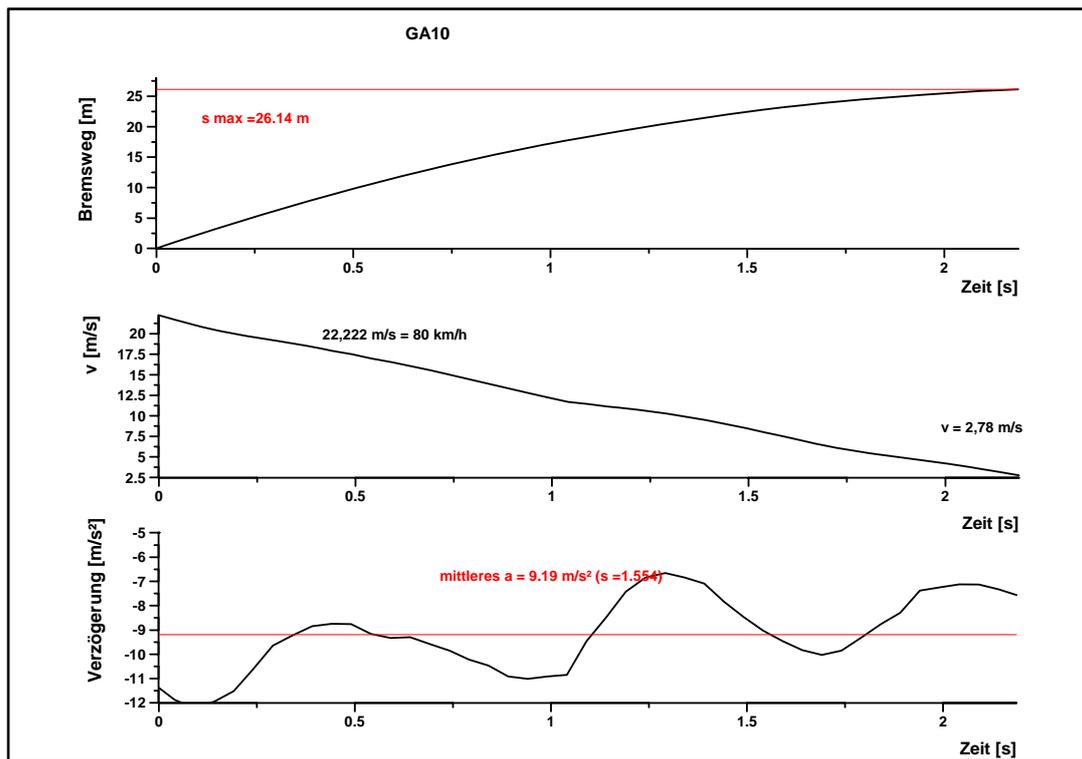












10.6 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem OPA-Belag

OPA 01		Test Time	2,36 seconds
Vehicle	DB 200 CDI	OPA 05	
Time	09:04:53	Vehicle,	DB 200 CDI
Date	3.11.2005	Time	09:08:37
Start Speed	80,00 km/h	Date	3.11.2005
End Speed	10,00 km/h	Start Speed	80,00 km/h
Test Distance	28,91 m	End Speed	10,00 km/h
mittl. Verzögerung	8,57 m/s ²	Test Distance	29,01 m
MFDD ³	8,60 m/s ²	mittl. Verzögerung	8,40 m/s ²
Min Satellites	7	MFDD	8,31 m/s ²
Test Time	2,31 seconds	Min Satellites	7
		Test Time	2,36 seconds
OPA 02		OPA 06	
Vehicle	DB 200 CDI	Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:05:49	Time	09:09:30
Date	3.11.2005	Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h	Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h	End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,06 m	Test Distance	28,72 m
mittl. Verzögerung	8,28 m/s ²	mittl. Verzögerung	8,45 m/s ²
MFDD	8,43 m/s ²	MFDD	8,47 m/s ²
Min Satellites	7	Min Satellites	7
Test Time	2,36 seconds	Test Time	2,32 seconds
OPA 03		OPA 07	
Vehicle	DB 200 CDI	Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:06:44	Time	09:10:24
Date	3.11.2005	Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h	Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h	End Speed	10,00 km/h
Test Distance	28,72 m	Test Distance	28,66 m
mittl. Verzögerung	8,48 m/s ²	mittl. Verzögerung	8,52 m/s ²
MFDD	8,58 m/s ²	MFDD	8,58 m/s ²
Min Satellites	7	Min Satellites	7
Test Time	2,31 seconds	Test Time	2,31 seconds
OPA 04		OPA 08	
Vehicle	DB 200 CDI	Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:07:37	Time	09:11:17
Date	3.11.2005	Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h	Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h	End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,39 m	Test Distance	29,63 m
mittl. Verzögerung	8,38 m/s ²	mittl. Verzögerung	8,40 m/s ²
MFDD	8,51	MFDD	8,43 m/s ²
m/s ²		Min Satellites	7
Min Satellites	7	Test Time	2,34 seconds
		OPA 09	

³ Mean Fully Developed Deceleration, mittlere Vollverzögerung nach ECE R13

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:12:12
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,59 m
mittl. Verzögerung	8,28 m/s ²
MFDD	8,10 m/s ²
Min Satellites	7
Test Time	2,39 seconds

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:15:46
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	27,86 m
mittl. Verzögerung	8,34 m/s ²
MFDD	8,76 m/s ²
Min Satellites	7
Test Time	2,31 seconds

OPA 10

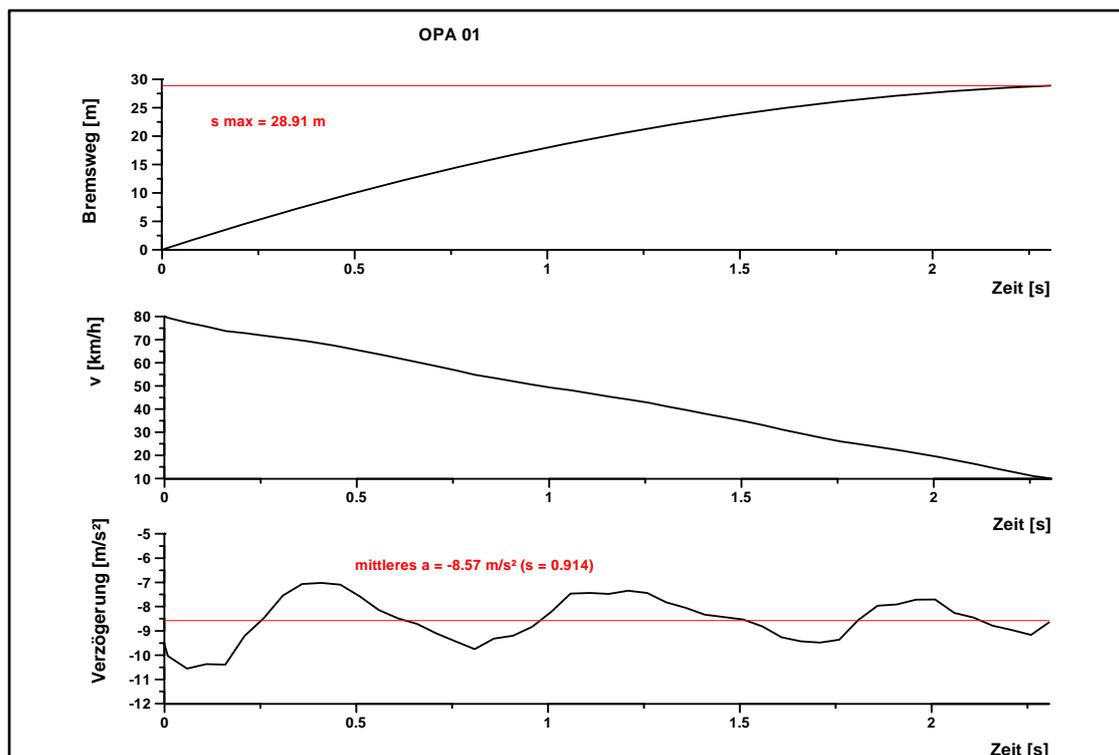
Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:14:05
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,21 m
mittl. Verzögerung	8,57 m/s ²
MFDD	8,55 m/s ²
Min Satellites	7
Test Time	2,31 seconds

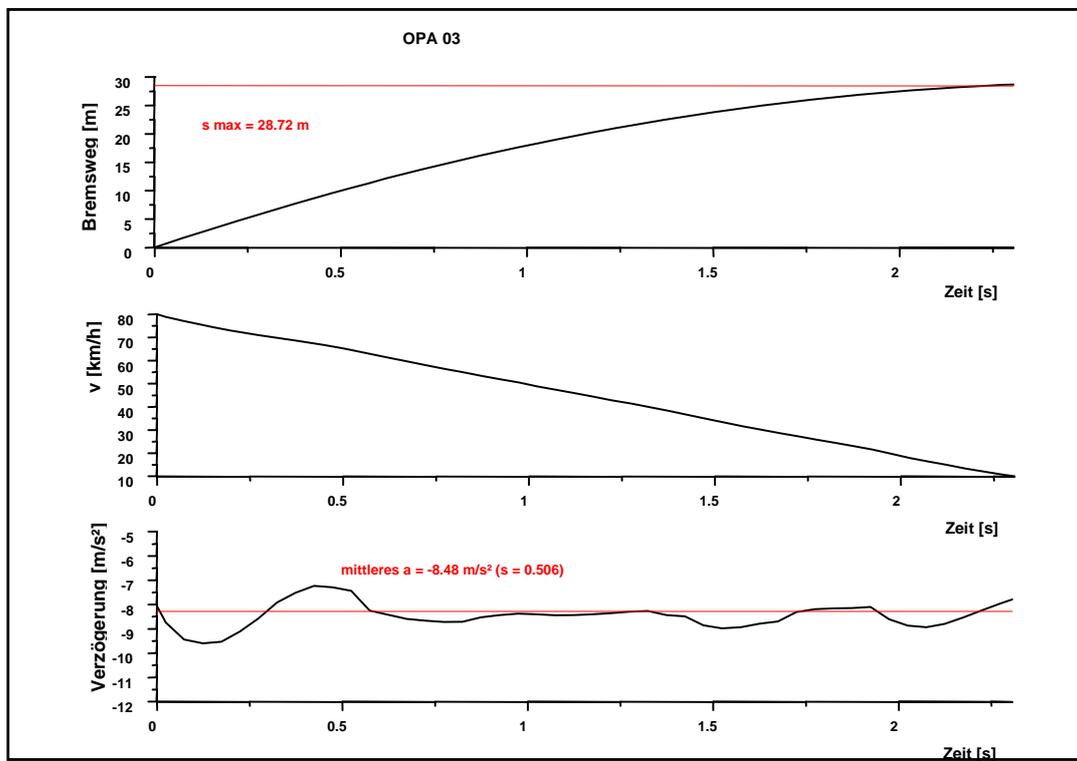
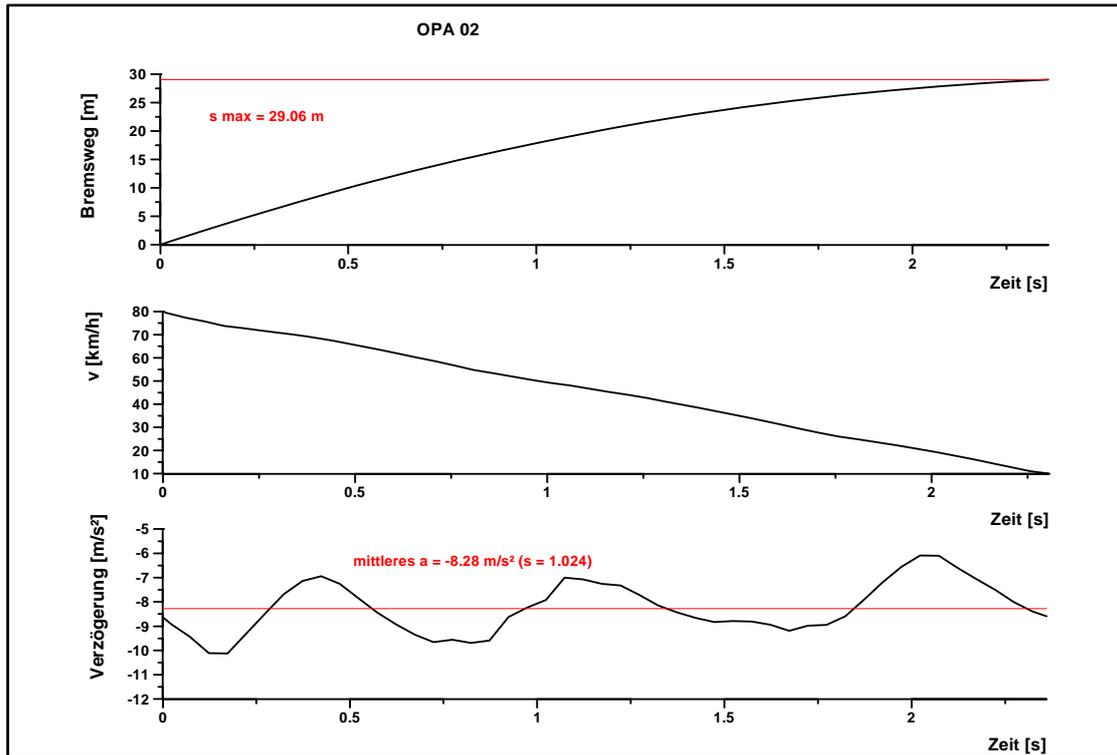
OPA 12

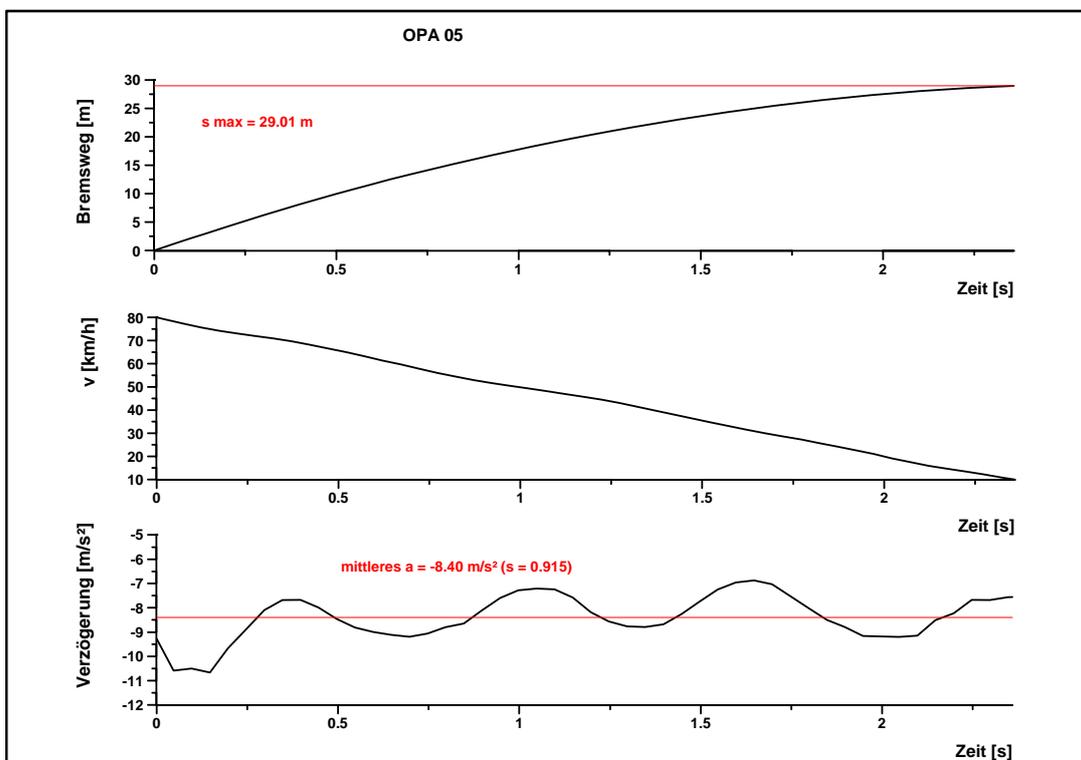
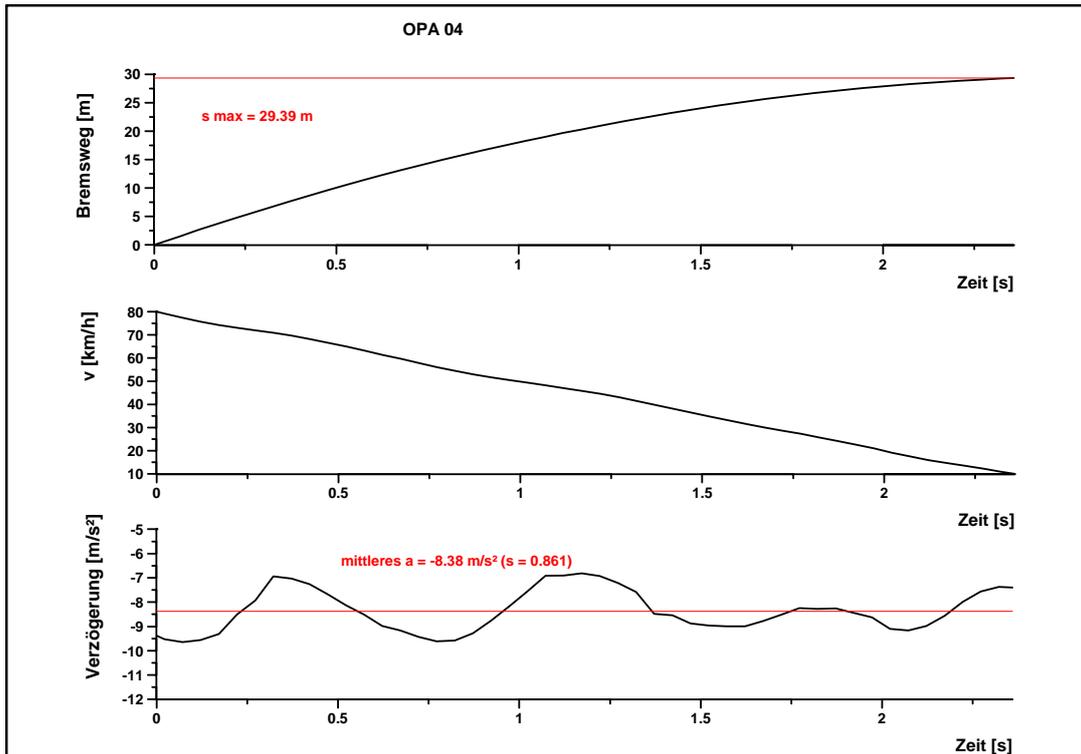
Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:03:56
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	30,34 m
mittl. Verzögerung	7,84 m/s ²
MFDD	8,07 m/s ²
Min Satellites	7
Test Time	2,46 seconds

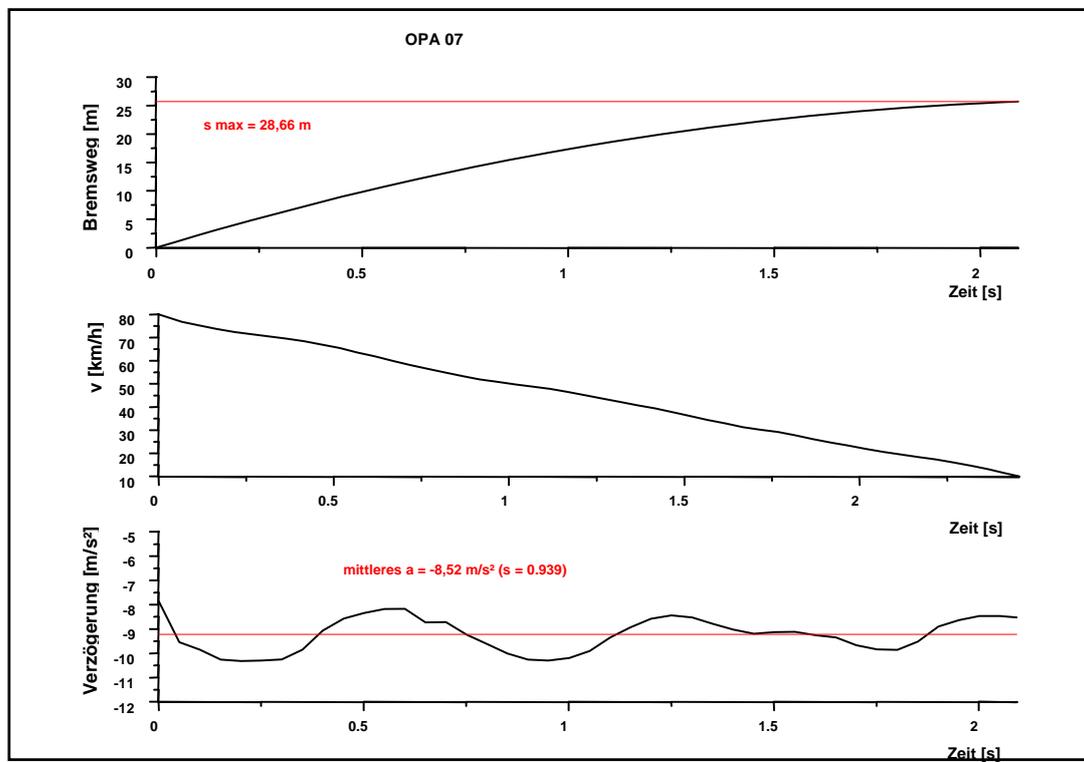
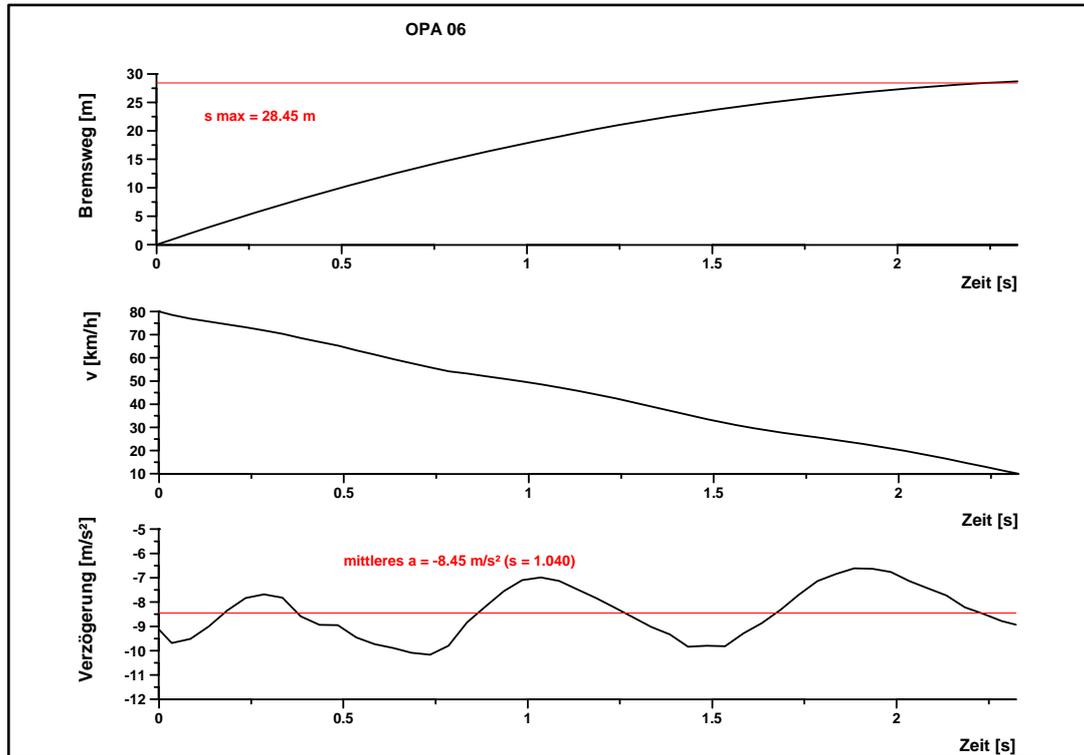
OPA 11

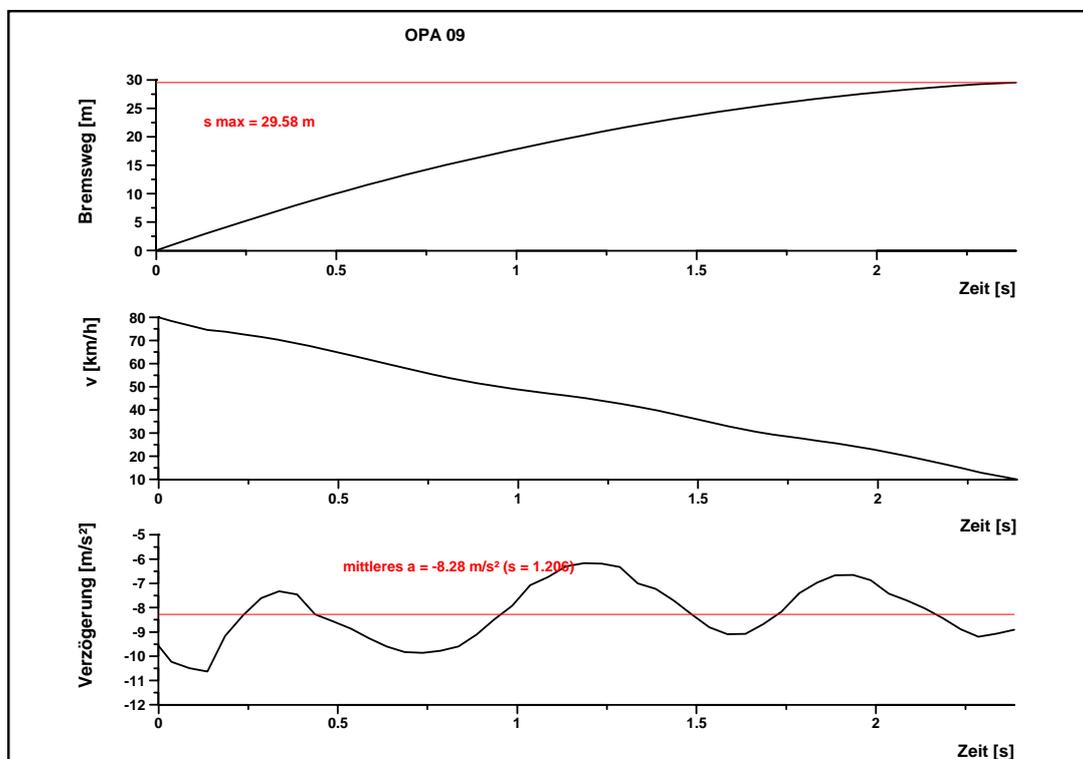
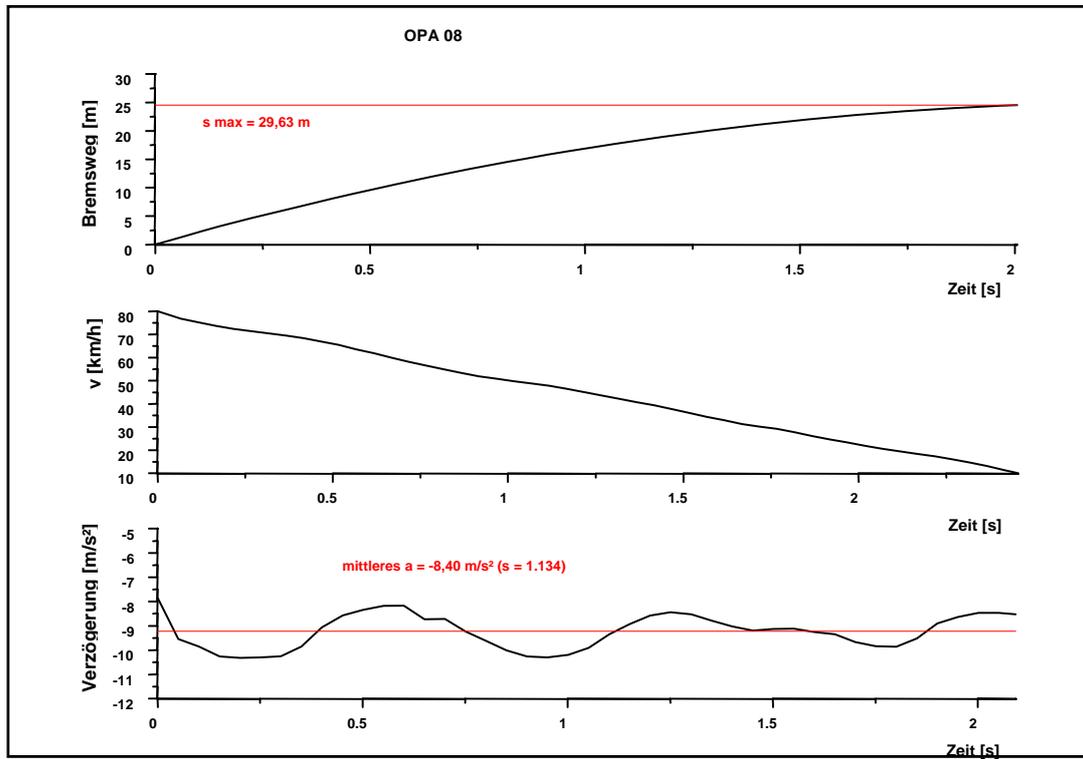
Diagramme des Bremsweges, des Geschwindigkeitsverlaufes und der mittleren Verzögerung über der Zeit

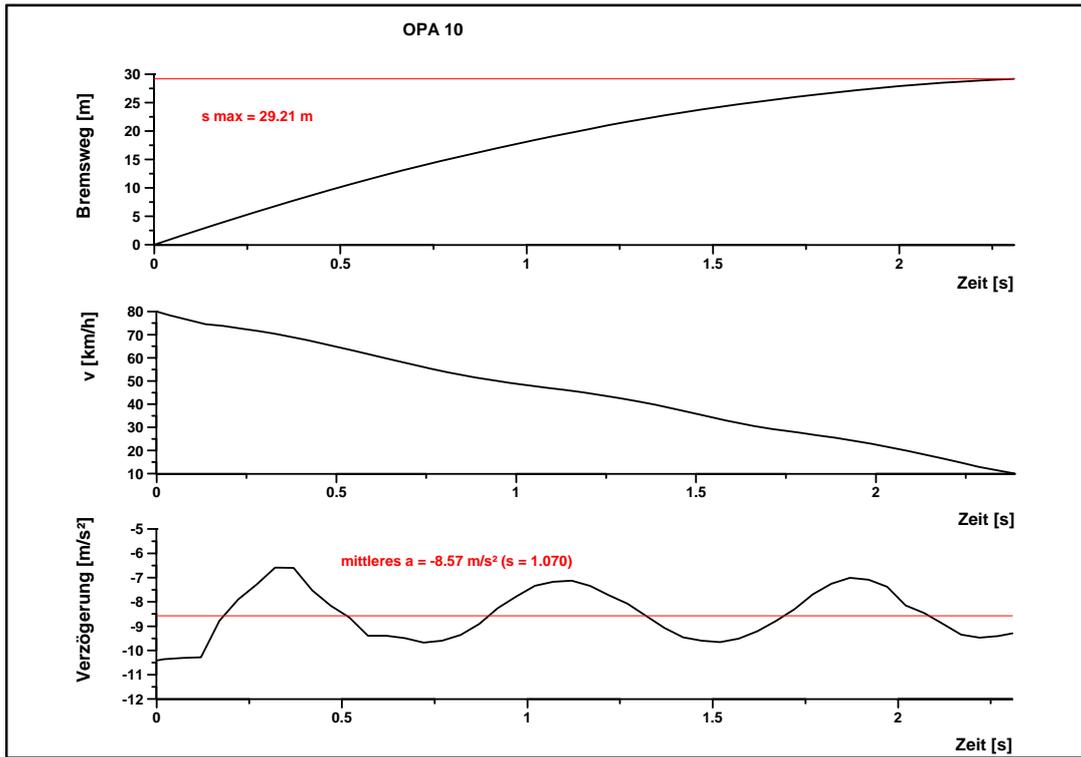












10.7 Versuchsparameter der 11 Bremsungen auf dem SMA 0/8-Belag

SMA 01

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:52:19
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	27,36 m
mittl. Verzögerung	8,98 m/s ²
MFDD ⁴	9,32 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,17 seconds

SMA 02

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:53:15
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	26,39 m
mittl. Verzögerung	9,09 m/s ²
MFDD	9,56 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,10 seconds

SMA 03

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:54:06
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,51 m
mittl. Verzögerung	8,40 m/s ²
MFDD	8,89 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time,	2,26 seconds

SMA 04

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:54:55
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,28 m
mittl. Verzögerung	8,28 m/s ²
MFDD	8,97 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,30 seconds

SMA 05

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:55:43
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
mittl. Verzögerung	8,58 m/s ²
Test Distance	28,54 m
MFDD	9,48 m/s ²
Min Satellites	9
Test Time	2,19 seconds

SMA 06

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:56:32
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	28,31 m
mittl. Verzögerung	8,58 m/s ²
MFDD	9,30 m/s ²
Min Satellites	10
Test Time	2,20 seconds

SMA 07

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:57:22
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	28,28 m
mittl. Verzögerung	8,34 m/s ²
MFDD	9,14 m/s ²
Min Satellites	10
Test Time	2,26 seconds

SMA 08

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:58:14
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	26,88 m
mittl. Verzögerung	8,96 m/s ²
MFDD	9,62 m/s ²
Min Satellites	10
Test Time	2,10 seconds

SMA 09

Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:58:59
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h

⁴ Mean Fully Developed Deceleration, mittlere Vollverzögerung nach ECE R13

End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,90 m
mittl. Verzögerung	8,11 m/s ²
MFDD	8,99 m/s ²
Min Satellites	10
Test Time	2,35 seconds

SMA 10

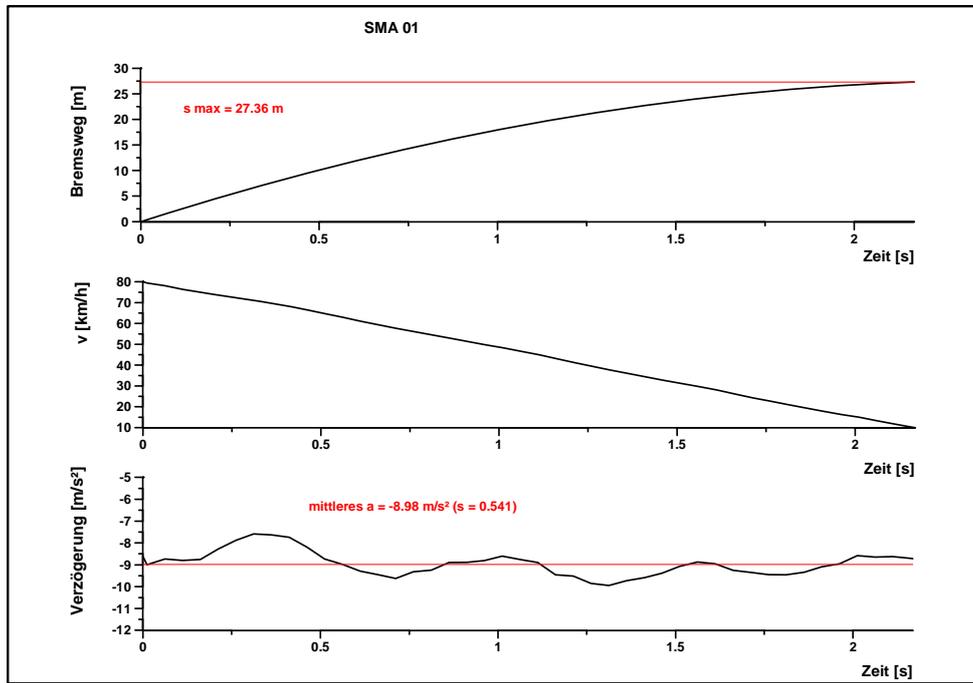
Vehicle	DB 200 CDI
Time	09:59:55
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	29,52 m
mittl. Verzögerung	8,28 m/s ²
MFDD	8,71 m/s ²
Min Satellites	10
Test Time	2,30 seconds

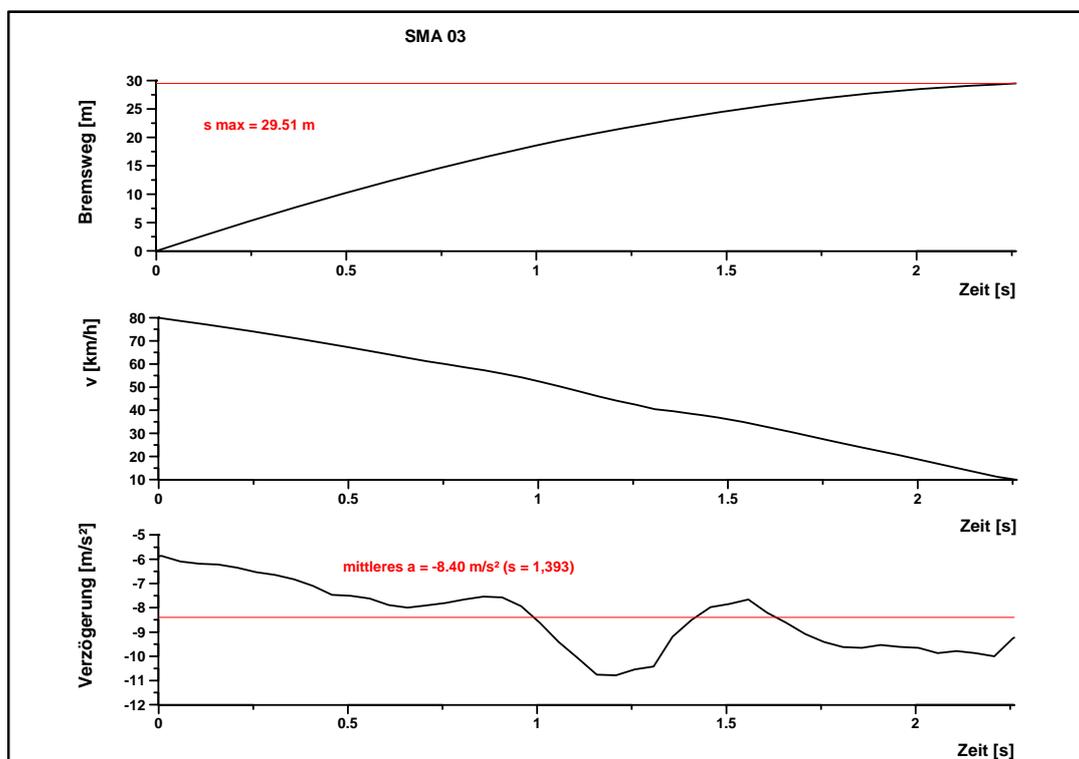
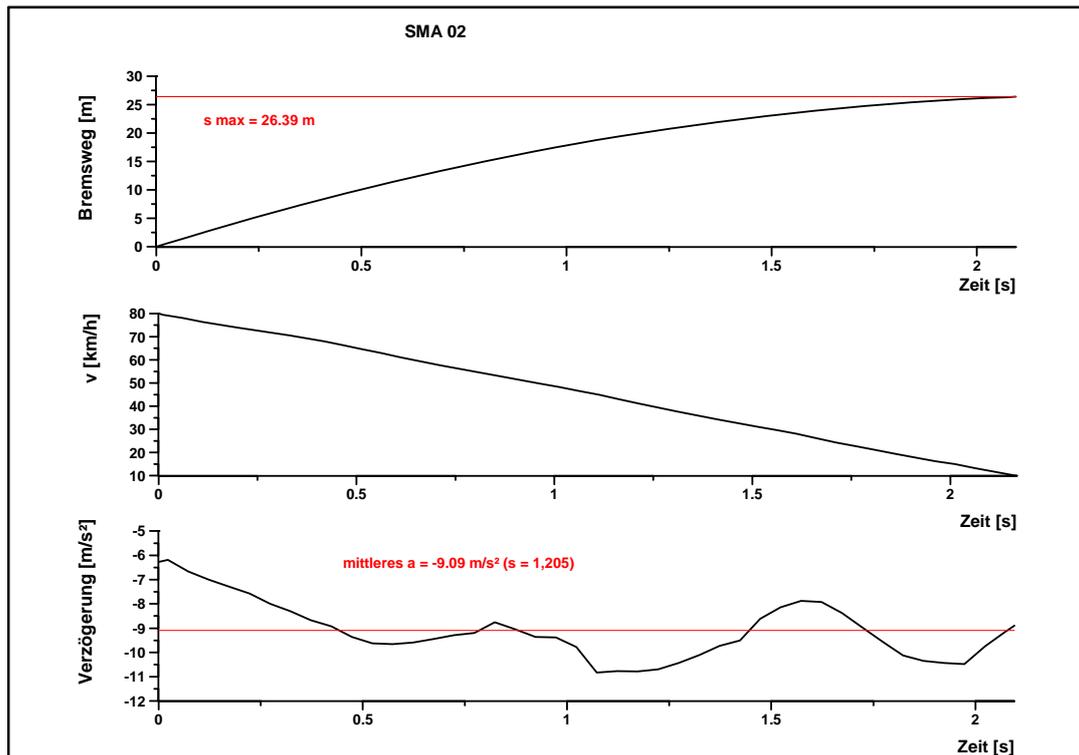
SMA 11

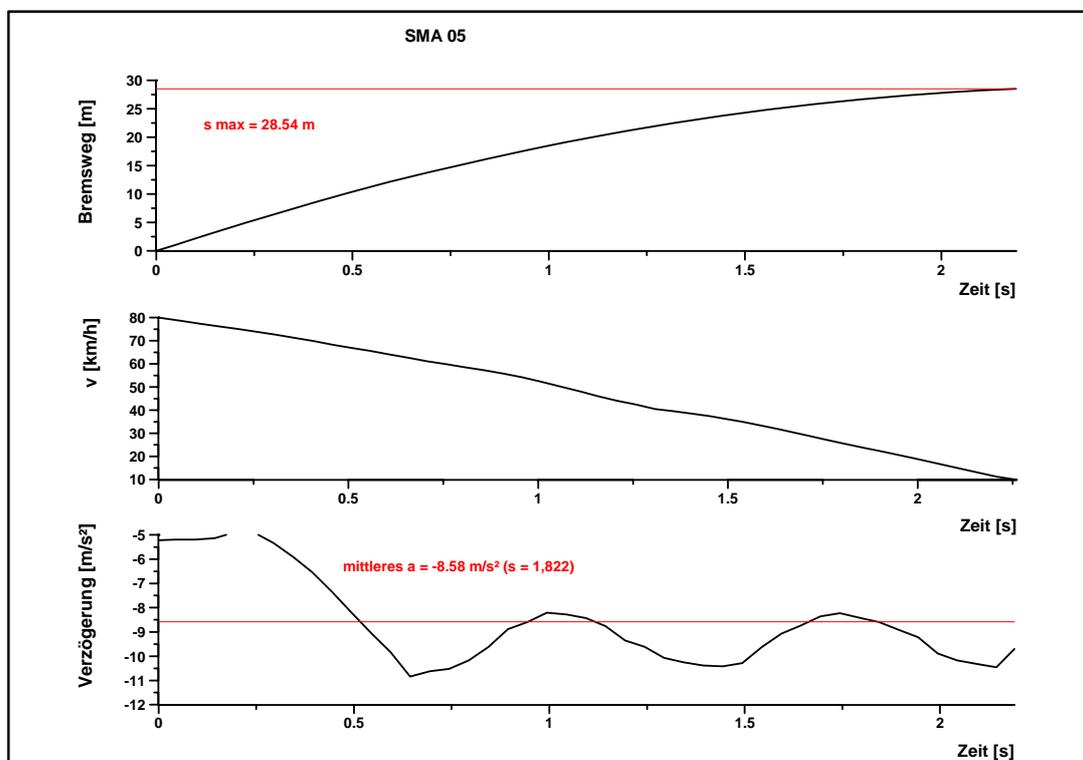
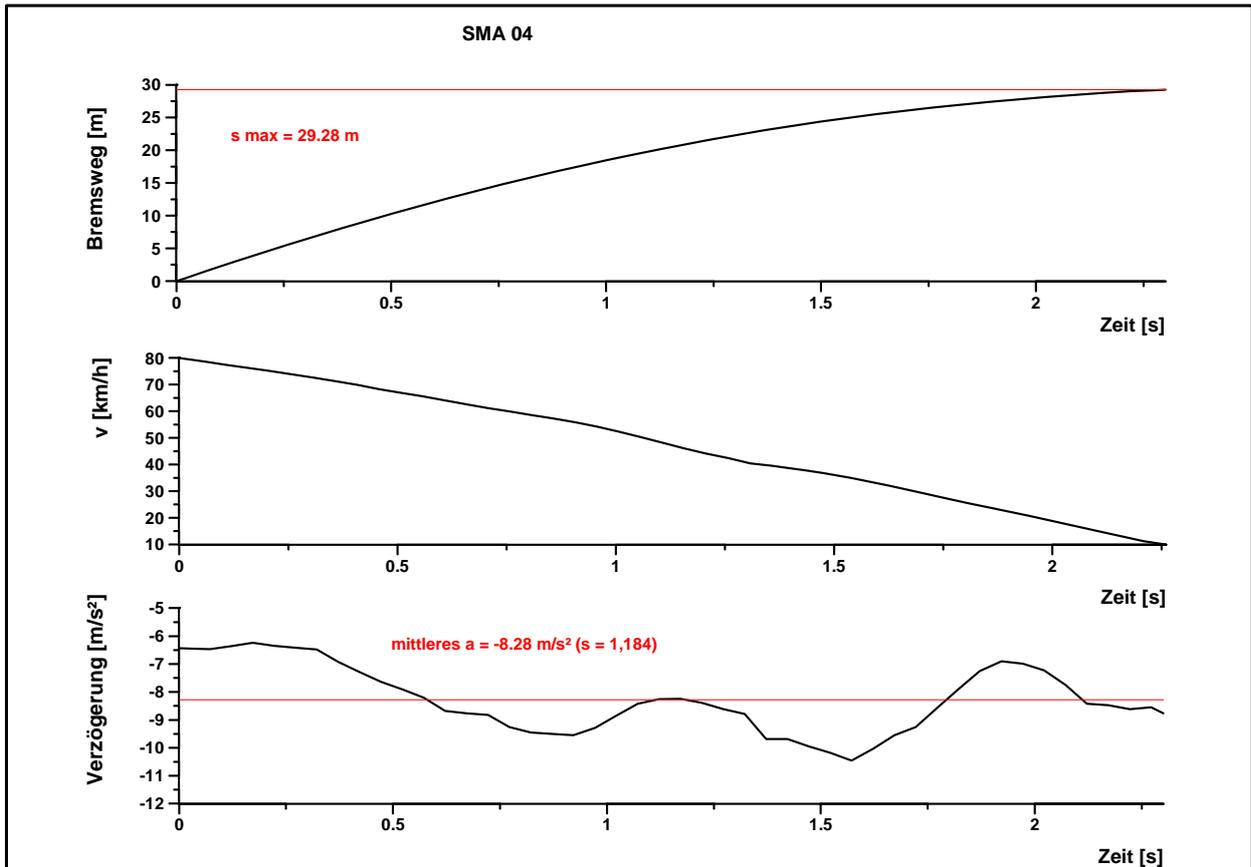
Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:01:34
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	27,29 m
mittl. Verzögerung	8,78 m/s ²
MFDD	9,13 m/s ²
Min Satellites	10
Test Time	2,16 seconds

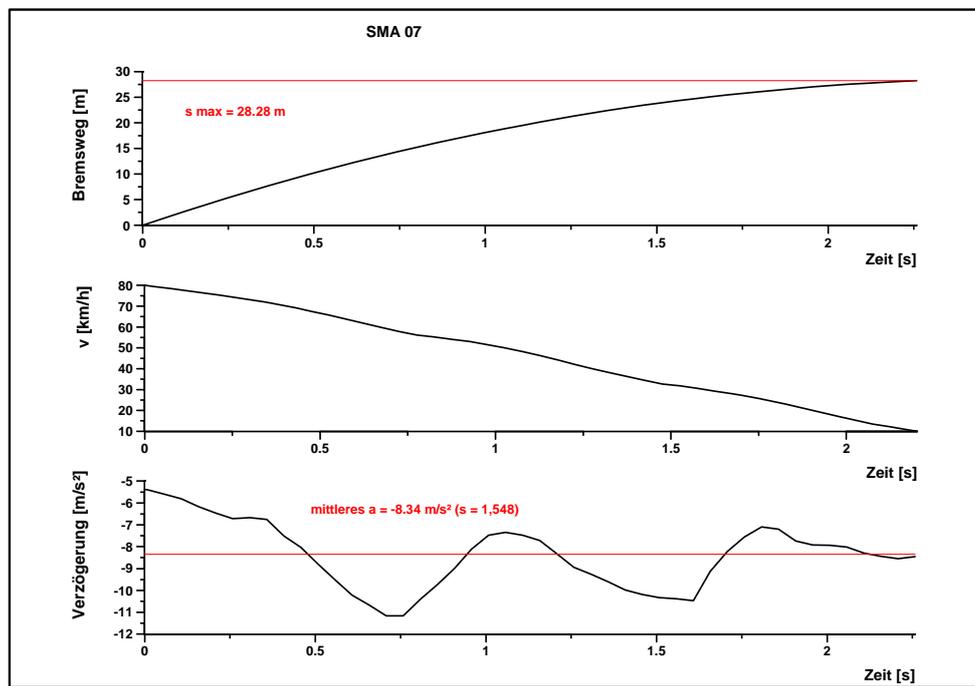
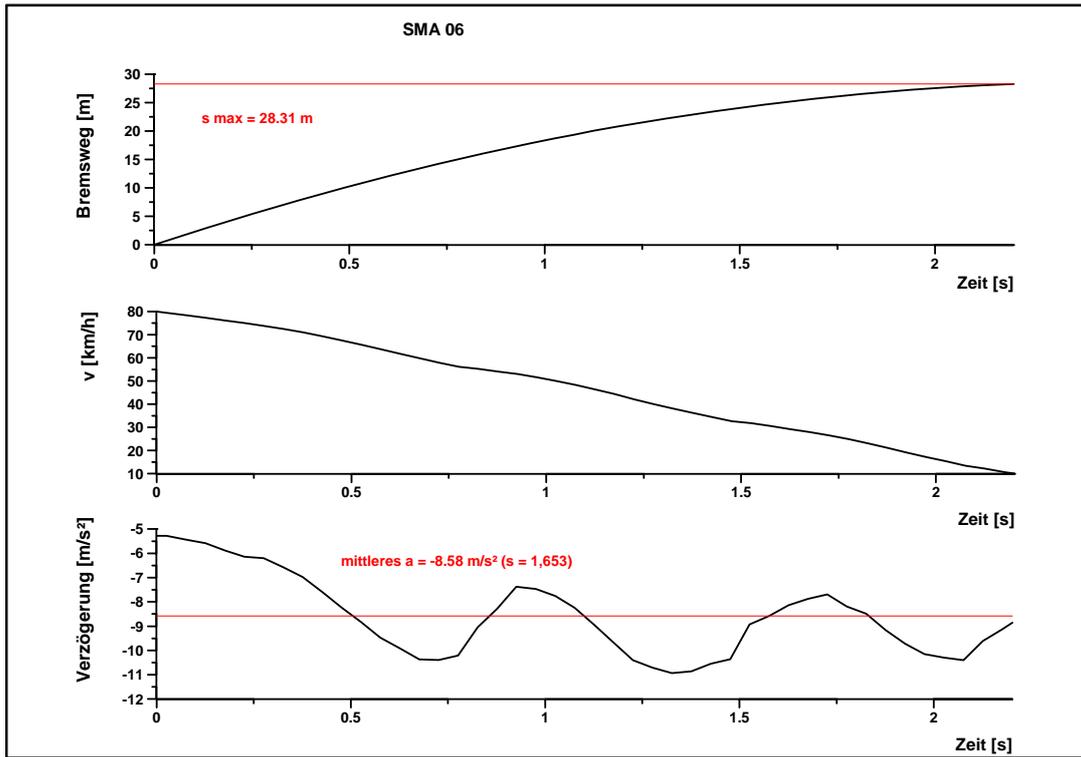
SMA 12

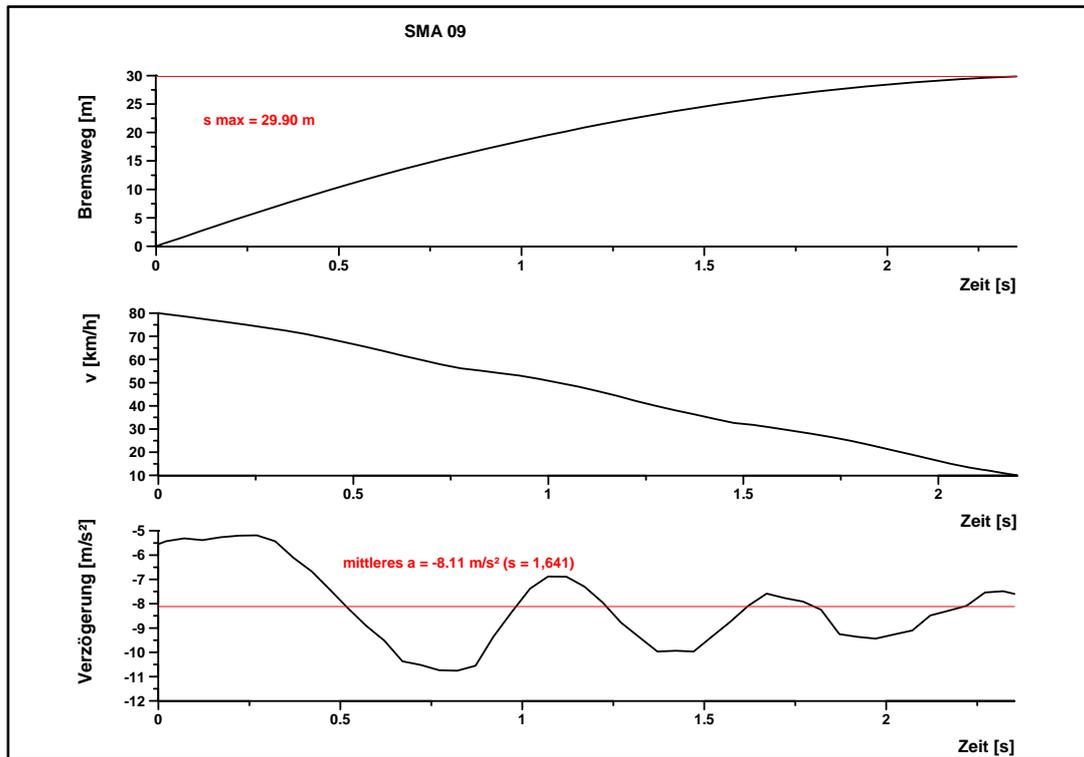
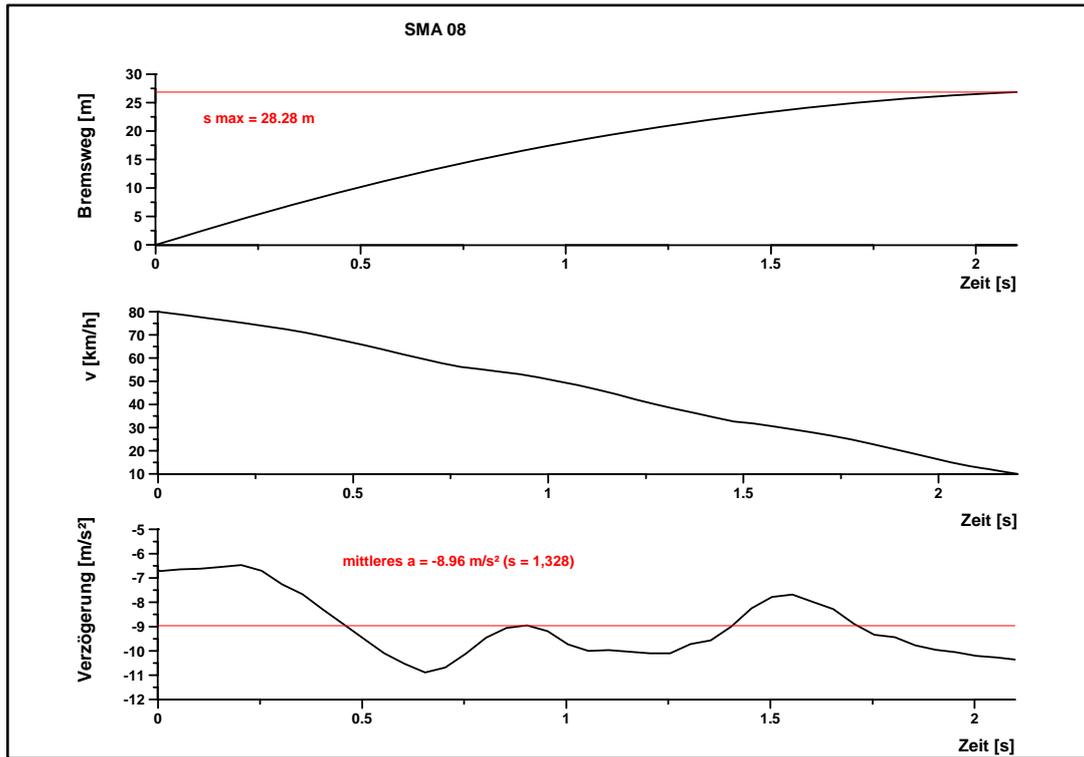
Vehicle	DB 200 CDI
Time	10:05:40
Date	3.11.2005
Start Speed	80,00 km/h
End Speed	10,00 km/h
Test Distance	27,97 m
mittl. Verzögerung	8,61 m/s ²
MFDD	9,26 m/s ²
Min Satellites	8
Test Time	2,17 seconds

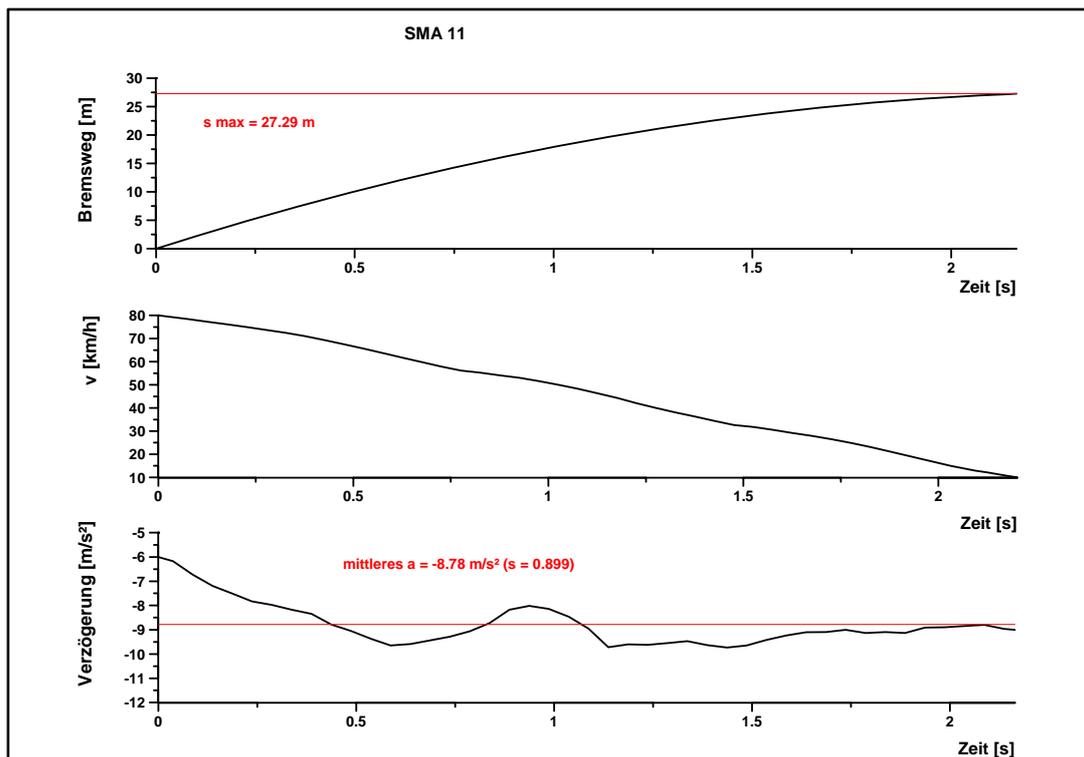
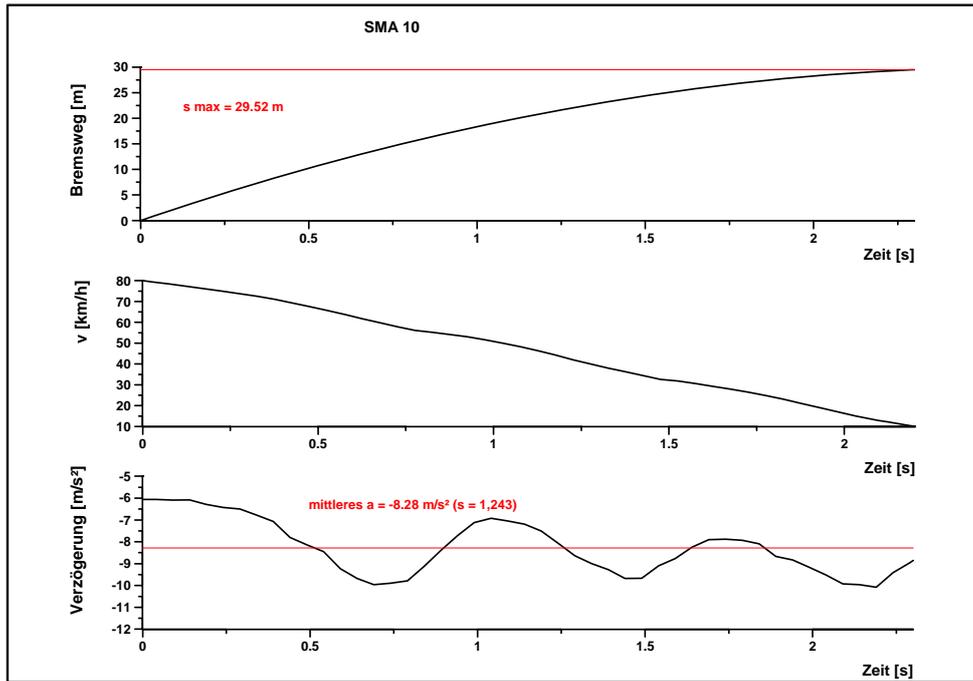


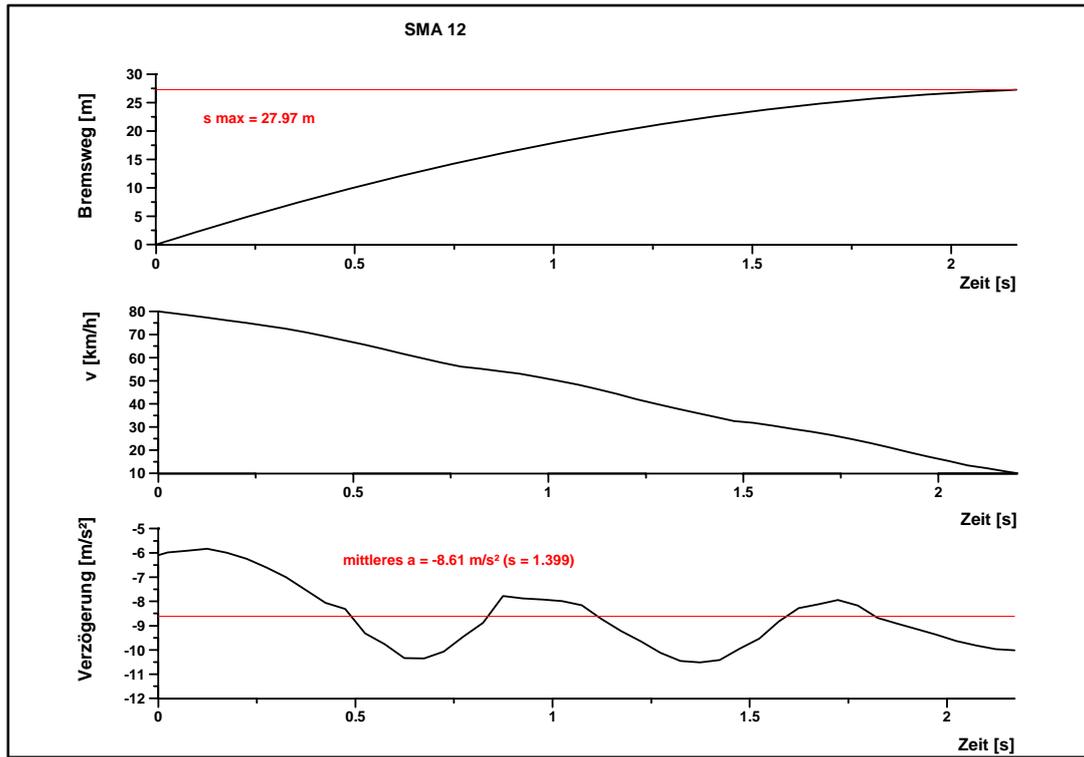












Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

1996

- S 11: Der Einfluß der Textur auf Reifen/Fahrbahngeräusch und Rollwiderstand – Untersuchungen im Prüfstand Fahrzeug/Fahrbahn
Ullrich, Glaeser, Sander, Chudalla, Hasskelo, Löffler, Sievert € 15,00
- S 12: Offenporige Asphaltdeckschichten auf Außerortsstraßen – Projektgruppe „Lärmindernde Straßendecken“ € 10,00
- S 13: Qualität von mineralischen Straßenbaustoffen
Tabbert € 16,50

1997

- S 14: 35. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 16,50
- S 15: Anforderungen an Fugenfüllsysteme aus Temperaturdehnungen
Eisenmann, Lechner € 12,50
- S 16: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg
Schnüll, Handke, Seitz € 22,00

1998

- S 17: Restnutzungsdauer von Asphaltsschichten – Prüfung der Grundlagen zu ihrer Berechnung
Wolf, Schickl € 13,00
- S 18: 2. Erfahrungsaustausch über rechnergestütztes Straßenerhaltungsmanagement € 14,50
- S 19: Einfluß der Bruchflächigkeit von Edelsplitten auf die Standfestigkeit von Asphalten
Teil 1: Literaturlauswertung
Beckedahl, Nöslcr, Straube
- Teil 2: Einfluß des Rundkornanteils auf die Scherfestigkeit von Gesteinskörnungen
Diel € 16,50

1999

- S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 14,00
- S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und langjähriger Praxis – Kompendium
Birmann, Burger, Weingart, Westermann
- Teil 1: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (1)
Schmidt, Bohlmann, Vogel, Westermann
- Teil 2: Einfluß der Zusammensetzung und der Verdichtung von Walzbeton auf die Gebrauchseigenschaften (2)
Weingart, Dreßler
- Teil 3: Messungen an einer Versuchsstrecke mit Walzbeton-Tragschicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann
- Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichtverlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2000

- S 22: 3. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Nutzen der systematischen Straßenerhaltung € 19,50
- S 23: Prüfen von Gesteinskörnungen für das Bauwesen
Ballmann, Collins, Delalande, Mishellany, v. d. Elshout, Sym € 10,50

2001

- S 24: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Konsolidationsverfahren -
Teil 1: Vergleichende Betrachtung von Konsolidationsverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund
Teil 2: Erfahrungsberichte über ausgeführte Straßenbauprojekte auf wenig tragfähigem Untergrund unter Verwendung von Konsolidationsverfahren
Koch € 17,50
- S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 16,50

2002

- S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Aufgeständerte Gründungsplaster
Rogner, Stelter € 14,00
- S 27: Neue Methoden für die Mustergleichheitsprüfung von Markierungsstoffen – Neuentwicklung im Rahmen der Einführung der ZTV-M 02
Killing, Hirsch, Boubaker, Krotmann € 11,50
- S 28: Rechtsfragen der Bundesauftragsverwaltung bei Bundesfernstraßen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 25./26. September 2000 in Saarbrücken € 13,00
- S 29: Nichtverkehrliche Straßennutzung – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saarbrücken € 13,50

2003

- S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System – € 19,50
- S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewinnung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues
Golkowski € 13,50
- S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 23. und 24. September 2002 in Saarbrücken € 13,50
- S 33: 38. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50
- S 34: Untersuchungen zum Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen
Hillmann, Koch, Wolf € 14,00

2004

- S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50
- S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ am 22. und 23. September 2003 in Saarbrücken € 13,50

S 37: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“
Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“ € 16,50

2005

S 38: Beschleunigung und Verzögerung im Straßenbau – Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeitsausschusses „Straßenrecht“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen am 27./28. September 2004 in Saarbrücken € 16,50

S 39: Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

S 40: 39. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 17,50

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt – Untersuchungen von ausgegrabenen Proben
Schröder € 13,50

S 42: Veränderung von PmB nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren – Veränderungen der Eigenschaften von polymer-modifizierten Bitumen nach Alterung mit dem RTFOT- und RFT-Verfahren und nach Rückgewinnung aus Asphalt
Wörner, Metz € 17,50

S 43: Eignung frostempfindlicher Böden für die Behandlung mit Kalk
Krajewski, Kuhl € 14,00

S 44: 30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund
Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann € 21,50

2006

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstandes und Ermüdungsverhaltens von Asphaltbefestigungen
Leutner, Lorenzl, Schmoeckel, Donath, Bald, Grätz, Riedl, Möller, Oeser, Wellner, Werkmeister, Leykauf, Simon € 21,00

S 46: Analyse vorliegender messtechnischer Zustandsdaten und Erweiterung der Bewertungsparameter für Innerortsstraßen
Steinauer, Ueckermann, Maerschalk € 21,00

S 47: Rahmenbedingungen für DSR-Messungen an Bitumen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hase, Oelkers € 24,50

S 48: Verdichtbarkeit von Asphaltmischgut unter Einsatz des Walzsektor-Verdichtungsgerätes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Wörner, Bönisch, Schmalz, Bösel € 15,50

2007

S 49: Zweischichtiger offenporiger Asphalt in Kompaktbauweise
Ripke € 12,50

S 50: Finanzierung des Fernstraßenbaus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitsausschusses "Straßenrecht" der FGSV am 25./26. September 2006 in Tecklenburg-Leeden € 15,50

S 51: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Haftfestigkeit von Straßenmarkierungsfolien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Killing, Hirsch € 14,50

S 52: Statistische Analyse der Bitumenqualität aufgrund von Erhebungen in den Jahren 2000 bis 2005
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Hirsch € 16,00

2008

S 53: Straßenrecht und Föderalismus – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 24./25. September 2007 in Bonn € 15,50

S 54: Entwicklung langlebiger dünner Deckschichten aus Beton
Silwa, Roßbach, Wenzl € 12,50

S 55: Dicke Betondecke auf Schichten ohne Bindemittel (SoB/STSuB)
Leykauf, Birmann, Weller € 13,50

2009

S 56: Vergangenheit und Zukunft der deutschen Straßenverwaltung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 22./23. September 2008 in Bonn € 14,00

S 57: Vergleichende Untersuchung zweischichtiger offenporiger Asphaltbauweisen
Ripke € 13,50

S 58: Entwicklung und Untersuchung von langlebigen Deckschichten aus Asphalt
Ludwig € 15,50

S 59: Bestimmung des adhäsiven Potentials von Bitumen und Gesteinsoberflächen mit Hilfe der Kontaktwinkelmessmethode
Hirsch, Friemel-Göttlich € 16,00

2010

S 60: Die Zukunftsfähigkeit der Planfeststellung – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 21./22. September 2009 in Bonn € 15,50

S 61: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes
Wolf, Fielenbach € 16,50

S 62: 41. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau € 18,50

S 63: Vergleichsuntersuchungen zum Frosthebungsversuch an kalkbehandelten Böden, RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten
Blume (in Vorbereitung)

S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)
Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Ripke, Zöller, Pöppel-Decker € 23,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.