

Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 72

bast

Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen

von

Dirk Jansen
Martin Pöppel-Decker

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 72

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 **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt AP F1100.3206004
des Arbeitsprogramms der Bundesanstalt für Straßenwesen:
Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)
– Teil 2: Neue Baumaßnahmen**

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 978-3-86918-149-3

Bergisch Gladbach, September 2011

Print  kompensiert
Id-Nr. 1112677
www.bvdm-online.de

Kurzfassung – Abstract

Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – Teil 2: Neue Baumaßnahmen

Ziel des Forschungsprojektes „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)“ ist die Weiterentwicklung und Optimierung der Messverfahren und die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für OPA. Hierzu wurde das Projekt aufgeteilt in den Projektteil 1 „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ und den Projektteil 2 „Neue Baumaßnahmen“. Im ersten Projektteil wurden die Grundlagen für die Griffigkeitsprognose erarbeitet und Erfahrungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) auf offenporigen Asphalten gewonnen. Hierzu wurden Streckenabschnitte von Bundesfernstraßen zur Untersuchung ausgewählt, die bereits mehrere Jahre unter Verkehr lagen. Ziel des zweiten Projektteils ist die Verifizierung und Weiterentwicklung der im ersten Teil hergeleiteten Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für offenporige Asphaltdeckschichten.

Hierzu wurden Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen ausgewählt, die zu Projektbeginn mit offenporigen Asphaltdeckschichten erneuert bzw. instandgesetzt worden sind. Diese Streckenabschnitte wurden, beginnend unmittelbar vor der Verkehrsfreigabe, für einen Zeitraum von vier Jahren beobachtet. Zur Feststellung des Nullzustandes wurden unmittelbar vor oder nach der Verkehrsfreigabe Bohrkern entnommen und Messungen mit dem Skid Resistance Tester (SRT) durchgeführt. An den Bohrkernen und an Bohrkernen aus Walzsegmentplatten, die im Labor anhand von Rückstellproben der Baumaßnahmen hergestellt wurden, erfolgten Griffigkeitsprognosen nach dem Polierverfahren Wehner/Schulze (PWS). Die Ergebnisse der bauvertraglichen SKM Abnahmeprüfungen ergänzten die Datenbasis. Nach zwei und vier Jahren Verkehrsbelastung erfolgten weitere SKM-Messungen, SRT-Messungen sowie Bohrkernentnahmen für PWS-Messungen (ohne Polierbeanspruchung). Anhand der so gewonnenen Datenbasis wurden die Griffigkeitsentwicklungen dokumentiert und die Ergebnisse der unterschiedlichen Messverfahren vergleichend ausgewertet.

In Voruntersuchungen zum Verfahren PWS wurden Einflüsse auf die Präzision aus der Lagerung und Montage der Probekörper in die Prüfeinrichtung untersucht. Probekörper mit deutlichem Bindemittelüberschuss und solche mit künstlichen Gesteinskörnungen zeigten dabei deutliche Veränderungen während längerer Lagerungsdauer. Des Weiteren konnte gezeigt werden,

dass der Einfluss der Probenvorbehandlung (Sandstrahlen) auf die Ergebnisse der Prognoseprüfung ab einer Beanspruchung von circa 45.000 Überrollungen zu vernachlässigen ist.

Hinsichtlich der Prognose der Griffigkeit mit dem PWS-Verfahren wurde festgestellt, dass ein Endpolierwert nach circa 180.000 Überrollungen erreicht wird. Die Prognosekurven der verschiedenen Streckenabschnitte zeigen dabei einen sehr ähnlichen Verlauf, wenn auch auf verschiedenen Griffigkeitsniveaus. Signifikante Abhängigkeiten von der Wahl der Gesteinsart, Bindemittelart oder Mischgutart konnten dabei nicht festgestellt werden. Ebenso sind keine Unterschiede zu erkennen zwischen Bohrkernen, die in situ entnommen wurde und denen, die aus den im Labor gefertigten Walzsegmentplatten stammen. Mit Hilfe der PWS- und SRT-Messungen konnte der deutlich griffigkeitsmindernde Einfluss des Bindemittelüberschusses unmittelbar vor bzw. nach der Verkehrsfreigabe dokumentiert werden. Die Messungen nach zwei Jahren Verkehrsbelastung zeigen einen deutlichen Griffigkeitsanstieg. Nach vier Jahren ist eine leichte Griffigkeitsabnahme festzustellen.

Wie auch schon die Ergebnisse ähnlicher Forschungsprojekte gezeigt haben, gelingt der unmittelbare Bezug der PWS-Überrollungen zur realen Verkehrsbelastung nicht. Die Angabe eines Endpolierwertes und evtl. die qualitative Beurteilung der Prognosekurve sind daher für die Prognose entscheidend.

Zur weiteren Interpretation der gemessenen Griffigkeiten und der einflussnehmenden Wirkmechanismen wurden Texturaufnahmen mit dem T3D-Messsystem (Prinzip der Streifenprojektion) und einem Digitalmikroskop gemacht. Zusätzlich wurden mit dem Digitalmikroskop noch Aufnahmen der Gesteinsoberflächen in verschiedenen Vergrößerungsstufen gemacht. Für die Herstellung eines Zusammenhanges von Griffigkeit und Textur stellten sich die aus der Textur abgeleiteten Rauheitskenngrößen nur bedingt als geeignet dar. Die Parameter Flächen- und Kantenschärfe zeigen einen deutlichen Zusammenhang zu den gemessenen Griffigkeiten. Die Formulierung dieser Zusammenhänge ist Teil eines laufenden Forschungsprojektes.

Zur Beantwortung der Frage, ob die Einführung von OPA-Deckschichten auf BAB einen Einfluss auf das Unfallgeschehen hat, wurde bereits im Teil „Bestandsaufnahme“ eine Auswertung der Unfallentwicklung durchgeführt. Diese Auswertung wurde mit den Daten der Strecken aus dem vorliegenden Projektteil ergänzt. Hierzu wurde die Unfallentwicklung der OPA-Streckenabschnitte mit der Unfallentwicklung auf Kontroll-

strecken, die andere Deckschichtarten aufweisen, verglichen. Sowohl auf den OPA-Strecken als auch auf den Kontrollstrecken ist eine rückläufige Unfallentwicklung eingetreten. In der Summe zeigt sich, dass die offenenporigen Asphaltdeckschichten keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen haben.

Road grip predictions for porous asphalts (PA) – Part 2: New construction measures

The research project "Road grip prediction for porous asphalts (PA)" was aimed at further development and optimisation of measuring methods and the development of a method for predicting road grip on PA. The project was divided into Part 1 "Taking stock of existing routes" and Part 2 "New construction measures". The first part of the project was used to develop the basics for the road grip prediction and to gain experience with the lateral force coefficient routine investigation machine (SCRIM) on porous asphalts. Appropriate road sections of federal arterial roads that had already been exposed to traffic for several years were selected for this purpose. The second part of the project was aimed at the verification and further development of the procedure for road grip prediction on porous asphalt pavements that was introduced in the first part of the project.

Appropriate sections of federal motorways were selected and resurfaced or repaired with porous asphalt pavements at the beginning of the project. These sections were observed for a period of four years, starting shortly before the release of the sections for traffic. Drill cores were taken and measurements with the skid resistance tester (SRT) were performed immediately before or after opening the road to traffic. These drill cores and drill cores taken from rolled segment plates, which were produced in the laboratory from reserve samples taken during the construction measures, were used for road grip predictions according to the Wehner/Schulze (PWS) polishing method. The results of SCRIM acceptance tests that had to be performed according to the construction contract were used to supplement the database. Additional SCRIM measurements, SRT measurements and drill core samples for PWS measurements (without polishing stress) were taken after two and four years. The resulting database was used to document, compare and evaluate the road grip development and the results of the different measuring methods.

Preliminary investigations concerning the PWS method were used to determine the influence of storage and the way the test samples are installed in the test device on the accuracy of the results. Test

samples with a clear excess of binder and those with artificial aggregate showed clear changes during prolonged storage. It could also be shown that the effect of the sample preparation (sand blasting) on the results of the prediction can be neglected after stress exposure of approx. 45 000 overrolling cycles.

Road grip investigations according to the PWS method showed that the final polishing value is reached after approx. 180 000 overrolling cycles. The prediction graphs for the different sections showed very similar progressions at different road grip levels. Significant dependencies, for example on the aggregate selected, the binder or mixture type, could not be found. There were also no differences between the drill cores taken in situ and the ones obtained from rolled segment plates made in the laboratory. The PWS and SRT measurements immediately before and after opening the road to traffic clearly showed that excess of binder reduces road grip. The measurements after two years of exposure to traffic showed a clear increase in grip. After four years, the grip had slightly decreased.

No direct relationship between PWS overrolling and the actual traffic stress was found. These results confirm the results of previous, similar research projects. Specification of a final polishing value and possibly a qualitative evaluation of the prediction graph are therefore essential for the prediction.

Additional texture measures were performed with the T3D measuring system (principle of strip projection) and a digital microscope to allow better interpretation of the road grip measured and the mechanisms affecting it. Also images of the aggregate surfaces in different magnifications were made with the digital microscope. The roughness indicators derived from the texture were only of limited value for establishing a relationship between road grip and texture. The surface and edge structure parameters show a clear correlation with the road grip measured. The investigation of these correlations is part of the current research project.

An evaluation of the accident situation was already performed in the "Taking stock of existing routes" part of the project to determine whether the introduction of PA pavements on federal motorways has an effect on accidents. This evaluation was supplemented with data from routes observed in the current part of the project. The accident development on the PA sections was compared with the accident development on control sections that have different types of pavements. The PA sections as well as the control sections showed a decrease in the accident rate. It can therefore be concluded that porous asphalt pavements do not have a negative impact on the accident rate.

Inhalt

1	Einleitung und Problemstellung	7	6.5	Unfallgeschehen	38
2	Stand der Kenntnisse	7	6.5.1	Ziel der Unfallanalyse	38
3	Zielsetzung	8	6.5.2	Methodik und Datengrundlage der Unfallanalyse	38
4	Vorgehen	9	6.5.3	Übersicht über OPA-Unter- suchungstrecken	38
5	Untersuchungstrecken	9	6.5.4	Ergebnisse der Unfallanalyse	40
5.1	Auswahl der Streckenabschnitte	9	6.5.5	Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken	40
5.2	Verkehrsbelastung	11	6.5.6	Unfallentwicklung auf den Kontrollstrecken	41
6	Ergebnisse, Auswertung und Bewertung	13	6.5.7	Unfallentwicklung bei Nässe	42
6.1	PWS	13	7	Zusammenfassung	45
6.1.1	Zur Präzision des Messverfahrens	13	7.1	Vorgehen	45
6.1.2	Einfluss der Lagerung und Montage der Probekörper	13	7.2	PWS	45
6.1.3	Einfluss der Vorbehandlung	16	7.3	SRT	46
6.1.4	Vergleich Bohrkern und Walzsegmentplatten	17	7.4	SKM	46
6.1.5	Auswertung der Prognose- prüfungen	18	7.5	Texturaufnahmen	47
6.1.6	Auswertung der PWS-Messungen	21	7.6	Unfallgeschehen	47
6.1.7	Bezug der PWS-Messungen zu den Prognoseprüfungen und der Verkehrsbelastung	22	8	Fazit und Ausblick	47
6.1.8	Zwischenfazit	24	9	Literatur	48
6.2	SRT-Messungen	24	Anlagen		
6.2.1	Auswertung der SRT-Messungen	24	Anlage 1	Datenblätter der Untersuchungs- streckenabschnitte	
6.2.2	Korrelation zu den PWS- Messungen	25	Anlage 2	Fotodokumentation ausgewählter Bohrkerne	
6.3	SKM-Messungen	26	Anlage 3	Untersuchungen zur Präzision von 3D-Aufnahmen mit dem Digital- mikroskop	
6.4	Texturaufnahmen	27	Diese Anlagen liegen dem Bericht als CD bei.		
6.4.1	Texturkenngrößen	29			
6.4.2	T3D-Messsystem	30			
6.4.3	Digitalmikroskopie	32			

Vorwort

Zur Durchführung dieses Forschungsprojektes wurden die interdisziplinären Möglichkeiten innerhalb der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) genutzt. Für den vorliegenden Bericht wurden Daten ausgewertet, die in den Referaten S1 „Straßenzustandserfassung und -bewertung, Messsysteme“, S2 „Erdbau und Mineralstoffe“, U2 „Unfallstatistik, Unfallanalyse“ und V2 „Verkehrsstatistik, BISStra“ erfasst worden sind.

Die Federführung lag beim Referat S2 „Erdbau und Mineralstoffe“. Der Bericht wurde erstellt von Herrn Dr. Jansen unter Mitarbeit von Frau Kunz. Die Streckenauswahl und wesentliche Teile der Planung des Untersuchungsprogramms erfolgten bereits im Rahmen des ersten Projektteils „Bestandsaufnahme“ unter der Leitung von Herrn Dr. Rohleder. Die Untersuchungen zum Unfallgeschehen und die Wiedergabe der Ergebnisse im Kapitel „Unfallgeschehen“ wurden durch Herrn Pöppel-Decker (Referat U2) erstellt.

1 Einleitung und Problemstellung

Durch das aktuelle Regelwerk für den Asphalt- und Betonstraßenbau werden Anforderungswerte an die Griffigkeit zum Zeitpunkt der Abnahme und bei Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche gestellt. Diese Anforderungen basieren auf einem Bewertungshintergrund, der dichte Straßenoberflächen, wie beispielsweise Asphaltbeton oder Splittmastixasphalt, berücksichtigt. Die bautechnischen Besonderheiten offenporiger Asphalte (OPA) werden bislang nicht explizit berücksichtigt. Mit dem zweiteiligen Forschungsprojekt „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA)“ sollen die Grundlagen für die Beurteilung der Griffigkeit, der Griffigkeitsentwicklung und der Griffigkeitsprognose von offenporigen Asphaltdeckschichten geschaffen werden. Die Problemstellung konnte dabei durch die interdisziplinären Möglichkeiten der Bundesanstalt für Straßenwesen vielseitig betrachtet werden.

Durch den ersten Projektteil mit dem Titel „Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken“ (kurz: „Bestandsaufnahme“) wurden wesentliche Grundlagen zur messtechnischen Erfassung der Griffigkeit sowie zur Beurteilung der Griffigkeitsentwick-

lung offenporiger Asphalte geschaffen. Die Ergebnisse dieses Projektteils werden im folgenden Kapitel zusammengefasst.

Ziel des mit diesem Bericht vorgestellten zweiten Teilprojektes „Neue Baumaßnahmen“ ist die Verifizierung und Weiterentwicklung der im ersten Teil entwickelten Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für offenporige Asphalte.

2 Stand der Kenntnisse

Die Besonderheiten offenporiger Asphalte wurden hinsichtlich der Griffigkeitsmessung und Griffigkeitsprognose bislang in Deutschland nicht durch Forschungsprojekte berücksichtigt. Durch den Projektteil „Bestandsaufnahme“ wurden die Grundlagen zur Griffigkeitsmessung, Griffigkeitsentwicklung und Griffigkeitsprognose offenporiger Asphalte geschaffen. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projektteils als Stand der Kenntnisse zum Thema zusammengefasst vorgestellt, vgl. (ROHLER et al., 2010).

Eine Literaturrecherche stellt den Stand der Kenntnisse hinsichtlich der Griffigkeitsprognose auf Fahrbahnoberflächen im Allgemeinen dar. Für dichte Straßenoberflächen wird festgehalten, dass die Prognose der Griffigkeit von Fahrbahnoberflächen mit dem Prüfverfahren nach Wehner/Schulze (PWS) grundsätzlich möglich ist, jedoch die Griffigkeitsentwicklung in situ nur unzureichend simuliert werden kann. Die Angabe einer Endgriffigkeit ist jedoch mit einer gewissen Sicherheit möglich. Entsprechende Forschungsergebnisse für offenporige Asphalte existieren in Deutschland nicht.

Im Rahmen des ersten Projektteils wurden Streckenabschnitte zur Untersuchung ausgewählt, die bereits mehrere Jahre unter Verkehr lagen. Auf diesen Streckenabschnitten wurden SKM-Messungen (Seitenkraftmessverfahren) sowie SRT-Messungen (Skid Resistance Tester) durchgeführt. An den ausgewählten Streckenabschnitten wurden zudem Bohrkern entnommen, die mit der Prüfeinrichtung PWS näher untersucht worden sind und an denen Messungen der Textur durchgeführt worden sind. Die Untersuchungen wurden ergänzt durch eine Analyse zur Entwicklung des Unfallgeschehens und durch vergleichende Fahruntersuchungen (Bremsversuche) auf verschiedenen Asphalt-oberflächen.

Die Auswertung der SRT-Messungen in Verbindung mit den festgestellten PSV Polierwiderständen der eingesetzten Gesteine zeigte, dass die Reihung der SRT-Werte auch nach unterschiedlichen Liegedauern gut den PSV Werten folgt. Die gleichen Zusammenhänge wurden bei der Auswertung der PWS-Werte mit den PSV Werten festgestellt. Die zentrale Rolle der Polierresistenz des Gesteins für die Griffigkeit der Asphaltdeckschicht wurde somit bestätigt.

Es wurden Untersuchungen in situ zur Geschwindigkeitsabhängigkeit bei SKM-Messungen durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass im Gegensatz zu den Messungen auf dichten Straßenoberflächen keine bzw. nur eine sehr geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit besteht. Begründet wird dies dadurch, dass aufgrund des Drainagemögens von offenporigen Asphalten die Messspur nur angefeuchtet wird und kein geschwindigkeitsabhängiger Wasserfilm aufgebaut werden kann. Die Geschwindigkeitsunabhängigkeit konnte für Messungen auf Bohrkernen in der PWS-Prüfeinrichtung nicht bestätigt werden. Die Werte steigen mit geringerer Geschwindigkeit leicht an, was mit dem deutlich größeren Wasserüberschuss bei der PWS-Prüfung erklärt wird.

Wie auch bei den zitierten dichte Fahrbahnbeläge betreffenden Forschungsprojekten wurde hier festgestellt, dass die Zuordnung von (Schwer-)Verkehrbelastungszahlen zu den Überrollungen der PWS-Prüfeinrichtung nur qualitative Aussagen ermöglicht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass mehrere Jahre Verkehrsbelastung mehreren Tausend bis wenigen Zehntausend Überrollungen durch die PWS-Prüfeinrichtung entsprechen. Daraus wurde abgeleitet, dass bei einer Griffigkeitsprognose mit bis zu 90.000 Überrollungen Ergebnisse erzielt werden, die deutlich jenseits der Beanspruchung aus Verkehrsbelastung der untersuchten, bis zu acht Jahre alten, Strecken liegen. Für die Feststellung einer Endgriffigkeit wurde daher eine Überrollungszahl von 180.000 Überrollungen vorgeschlagen.

An Bohrkernen von zwei Untersuchungsstreckenabschnitten mit unterschiedlichem Gestein wurden Texturaufnahmen zur Beurteilung der Makro- und Mikrotextur erstellt. Es wurden die Werte der Bohrkern aus dem Standstreifen und des ersten bis dritten Fahrstreifens vergleichend ausgewertet. Es wurde festgestellt, dass die Makrorauheit aller Proben unterschiedlich ist und die Mikrorauheit im Vergleich dazu keine signifikanten Unterschiede aufweist.

Die Fahrversuche wurden auf einer mit OPA erneuerten Landesstraße und auf dem BAST-Versuchsgelände Sperenberg durchgeführt. Auf dem Versuchsgelände wurden die Fahrversuche auf Asphaltbeton, Gussasphalt, Splittmastixasphalt, offenporigem Beton sowie offenporigem Asphalt durchgeführt. Für den Messbereich von 80 bis 10 km/h wurden die Verzögerungen bei Vollbremsungen mit handelsüblichen Pkw auf angefeuchter Fahrbahn aufgezeichnet und ausgewertet. In diesem Vergleich stellte sich der offenporige Asphalt als der Belag mit der geringsten Griffigkeit dar. Auf mörtelreichen Belägen (Asphaltbeton, Gussasphalt) wurden größere Verzögerungen gemessen als auf OPA und Splittmastixasphalt.

Die Analyse des Unfallgeschehens auf den Untersuchungsstreckenabschnitten und auf zum Vergleich ausgewählten Kontrollstrecken zeigte, dass sich die Unfallentwicklung zwar nicht auf allen OPA-Strecken rückläufig entwickelt hat, jedoch bei gesamter Betrachtung keine negativen Einflüsse dieser Bauweise festzustellen sind. Die alleinige Auswertung der Unfälle auf nasser Fahrbahnoberfläche zeigte zudem einen stärkeren Rückgang von Nässeunfällen auf OPA-Strecken (OPA: minus 25 %; Kontrollstrecken: minus 7 %).

3 Zielsetzung

Ziel des zweiten Projektteils „Neue Baumaßnahmen“ ist die Weiterentwicklung und Verifizierung der Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose für offenporige Asphalte (OPA), die im Projektteil „Bestandsaufnahme“ hergeleitet wurde. Im hier vorgestellten zweiten Projektteil werden mehrere Untersuchungsstrecken ab dem Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe für vier Jahre beobachtet, wodurch ein konkreter Zusammenhang zur Anwendung des Prognoseverfahrens im bauvertraglichen Sinne gegeben ist. Die Beobachtungszeit entspricht zudem der durchschnittlichen halben lärmakustischen Lebensdauer dieser Bauweise.

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.

4 Vorgehen

Im Rahmen des zweiten Projektteils „Neue Baumaßnahmen“ wurden verschiedene Streckenabschnitte vom Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe bis zu vier Jahre nach der Verkehrsfreigabe beobachtet. In die Betrachtung aufgenommen wurden Autobahnabschnitte, deren Deckschicht aus offenporigem Asphalt gemäß dem zum Bauzeitpunkt aktuellen Regelwerk hergestellt wurde. Die ausgewählten Streckenabschnitte in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Baden-Württemberg wurden in den Jahren 2005 bis 2007 instand gesetzt bzw. erneuert.

An den jeweiligen Streckenabschnitten wurden vor oder unmittelbar nach der Verkehrsfreigabe Bohrkernkerne (\varnothing 225 mm) im Standstreifen und in den Fahrstreifen, jeweils in der rechten Rollspur, entnommen. Nach Möglichkeit wurden parallel zu den Bohrkernentnahmen SRT-Messungen durchgeführt. Alternativ wurden die SRT-Messungen an den entnommenen Bohrkernoberflächen im Labor durchgeführt. Für einige Streckenabschnitte standen zudem Rückstellproben des Asphaltmischgutes zur Verfügung, aus denen dann im Labor Walzsegmentplatten hergestellt wurden. Aus den Walzsegmentplatten wurden für die weiteren Untersuchungen Bohrkernkerne (\varnothing 225 mm) entnommen. Zur klaren Unterscheidung werden diese Bohrkernkerne im Folgenden weiterhin als Walzsegmentplatten bezeichnet. Dieses Vorgehen (Entnahme von Bohrkernen, SRT-Messungen) wurde jeweils zwei und vier Jahre nach der Verkehrsfreigabe wiederholt, wobei in der Regel nur Bohrkernkerne aus dem 1. Fahrstreifen, rechte Rollspur, entnommen wurden. Eine repräsentative Auswahl der Bohrkernkerne ist als Fotodokumentation in Anlage 2 dargestellt. Die Datenbasis wurde ergänzt durch SKM-Messungen unmittelbar nach der Verkehrsfreigabe (Abnahmemessung) sowie zum Ende des Beobachtungszeitraumes.

An den entnommenen Bohrkernen bzw. an den Walzsegmentplatten wurde eine Reihe von Laboruntersuchungen durchgeführt. An den Bohrkernen, die unmittelbar vor oder nach Verkehrsfreigabe entnommen worden sind, und den Walzsegmentplatten wurden Prognoseprüfungen mit dem PWS-Verfahren durchgeführt. An diesen Bohrkernen und den weiteren Bohrkernen (zwei bzw. vier Jahre Verkehrsbelastung) erfolgten zudem PWS-Messungen (ohne Prognoseprüfung), SRT-Messungen (sofern nicht in situ erfolgt), Texturaufnahmen und Aufnahmen mit dem Digitalmikroskop. Zur Klärung von

Auffälligkeiten in den Messwerten und Schaffung weiteren Verständnisses der relevanten Mechanismen erfolgte an ausgewählten Bohrkernen eine Extraktion der Gesteine.

In die Datenbasis mit aufgenommen wurden zudem Verkehrsbelastungszahlen des Gesamt- und Schwerverkehrs sowie eine Auswertung des Unfallgeschehens der betrachteten Streckenabschnitte.

Da im ersten Teil des Projektes ausführlich auf die Grundlagen und den Stand der Kenntnisse zum Thema Griffigkeit, Griffigkeitsmessungen und Griffigkeitsprognosen eingegangen worden ist, vgl. auch Kapitel 2, wird in diesem Berichtsteil darauf weitgehend verzichtet bzw. falls erforderlich an entsprechender Stelle ergänzt.

5 Untersuchungsstrecken

5.1 Auswahl der Streckenabschnitte

Im Rahmen des Projektteils „Bestandsaufnahmen“ wurden Streckenabschnitte auf Bundesfernstraßen ausgewählt, die neben der Deckschichtart „Offenporiger Asphalt“ einer Reihe von Kriterien genügen mussten. Unter anderem mussten von den Streckenabschnitten genügend Daten für eine qualifizierte Auswertung vorhanden sein.

Die Auswahl der Streckenabschnitte für den zweiten Projektteil „Neue Baumaßnahmen“ unterscheidet sich deutlich, da der Beobachtungszeitraum innerhalb der Projektbearbeitungszeit lag und somit die Daten zeitnah erfasst werden konnten.

Ausgewählt wurden Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen, die in den Jahren 2005, 2006 oder 2007 eine neue Deckschicht aus offenporigem Asphalt erhielten. Unterscheidungen zwischen Neubau und Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen wurden nicht getroffen. Die Auswahl der Streckenabschnitte erfolgte in Absprache und mit Unterstützung der Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Niedersachsen.

Insgesamt wurden sechs Abschnitte ausgewählt, innerhalb derer mehrere Messpunkte für die stationären Messverfahren ausgewählt wurden. In Tabelle 1 und Tabelle 2 sind diese zusammengefasst. In Bild 1 ist die Lage der Streckenabschnitte dargestellt.

Abschnitt	Fahrt- richtung	Bauweise	Stationierung [km]	Verkehrs- freigabe	Gestein	Bindemittel
BAB A 2 Lehrte	Hannover	OPA 0/11	205 + 900 – 206-100 ¹	12/2006	Grauwacke	PmB 40/100
BAB A 2 Lehrte	Hannover	OPA 0/8	206 + 100 – 208 + 260	12/2006	Grauwacke	PmB 40/100
BAB A 5 Sandweier	Karlsruhe	OPA 0/8	655 + 800 – 652 + 900	08/2005	25 % Moräne/ 75 % EOS	PmB 40/100-65H
BAB A 8 Karlsbad	Stuttgart	OPA 0/8	264 + 020 – 260 + 080	08/2005	25 % Moräne/ 75 % EOS	PmB 40/100-65H
BAB A 8 Karlsbad	Karlsruhe	OPA 0/8	244 + 100 – 246 + 100	08/2005	25 % Moräne/ 75 % EOS	PmB 40/100-65H
BAB A 30 Osnabrück	Bad- Oeynhausen	OPA 0/8	67 + 079 – 72 + 098	11/2006	Quarzporphyr	PmB 40/100-65H
BAB A 40 Mülheim	Duisburg	OPA 0/8	56 + 180 – 52 + 820	07/2007	LD-Schlacke	PmB 40/100-65H
BAB A 61 Meckenheim	Koblenz	OPA 0/8	167 + 450 – 173 + 700	09/2007	Quarzporphyr	2

¹ Abschnitt wurde aus Gründen der Verkehrssicherung nur vor Verkehrsfreigabe betrachtet, Ausnahme: SKM-Messungen.
² Erprobungsstrecke für verschieden Bindemittel; auf jeweils 1.560 m wurden PmB 40/100-65H, PmB H mit Tego Adibit L300 Haftverbesserer sowie die gummi-modifizierten Produkte Road + Bitumen, CTS Bitumen System tec + Road verbaut.

Tab. 1: Ausgewählte Untersuchungsstreckenabschnitte, Projektteil „Neue Baumaßnahmen“

Untersuchungs- strecke	Fahrtrichtung	Anzahl Messpunkte	Stationierung der Messpunkte [km]				
BAB A 2 Lehrte	Hannover	2	205,950 ¹	206 + 300			
BAB A 5 Sandweier	Karlsruhe	2	653 + 700	654 + 100			
BAB A 8 Karlsbad	Stuttgart	2	261 + 000	261 + 500			
BAB A 8 Karlsbad	Karlsruhe	1	245 + 100				
BAB A 30 Osnabrück	Bad- Oeynhausen	5	67 + 700	68 + 200	68 + 950	69 + 500	70 + 900
BAB A 40 Mülheim	Duisburg	1	54 + 500				
BAB A 61 Meckenheim	Koblenz	4	168 + 000	169 + 500	171 + 000	172 + 500	

¹ nur Nullmessung

Tab. 2: Messpunkte innerhalb der Untersuchungsstreckenabschnitte

Im Streckenabschnitt BAB A 2, km 205 + 900 – 206 + 100 (OPA 0/11), erfolgte die Datenaufnahme aus Gründen der Verkehrssicherung nur vor der Verkehrsfreigabe. Die ohne Verkehrssicherung durchführbaren SKM-Messungen sind davon ausgenommen.

Bei dem Streckenabschnitt auf der BAB A 61 handelt es sich um eine Erprobungsstrecke zum Einsatz verschiedener Bindemittelsorten für offenporige Asphalte. Während des Beobachtungszeitrau-

mes des vorliegenden Projektes wurde eine Vielzahl von Oberflächenschäden registriert, die deutlich nicht im Zusammenhang mit der Abnutzung einer konventionell hergestellten OPA-Deckschicht stehen. Da der Streckenabschnitt somit nicht repräsentativ für die offenporige Asphaltbauweise ist, erfolgte die Beobachtung lediglich bis zu zwei Jahre nach der Verkehrsfreigabe.

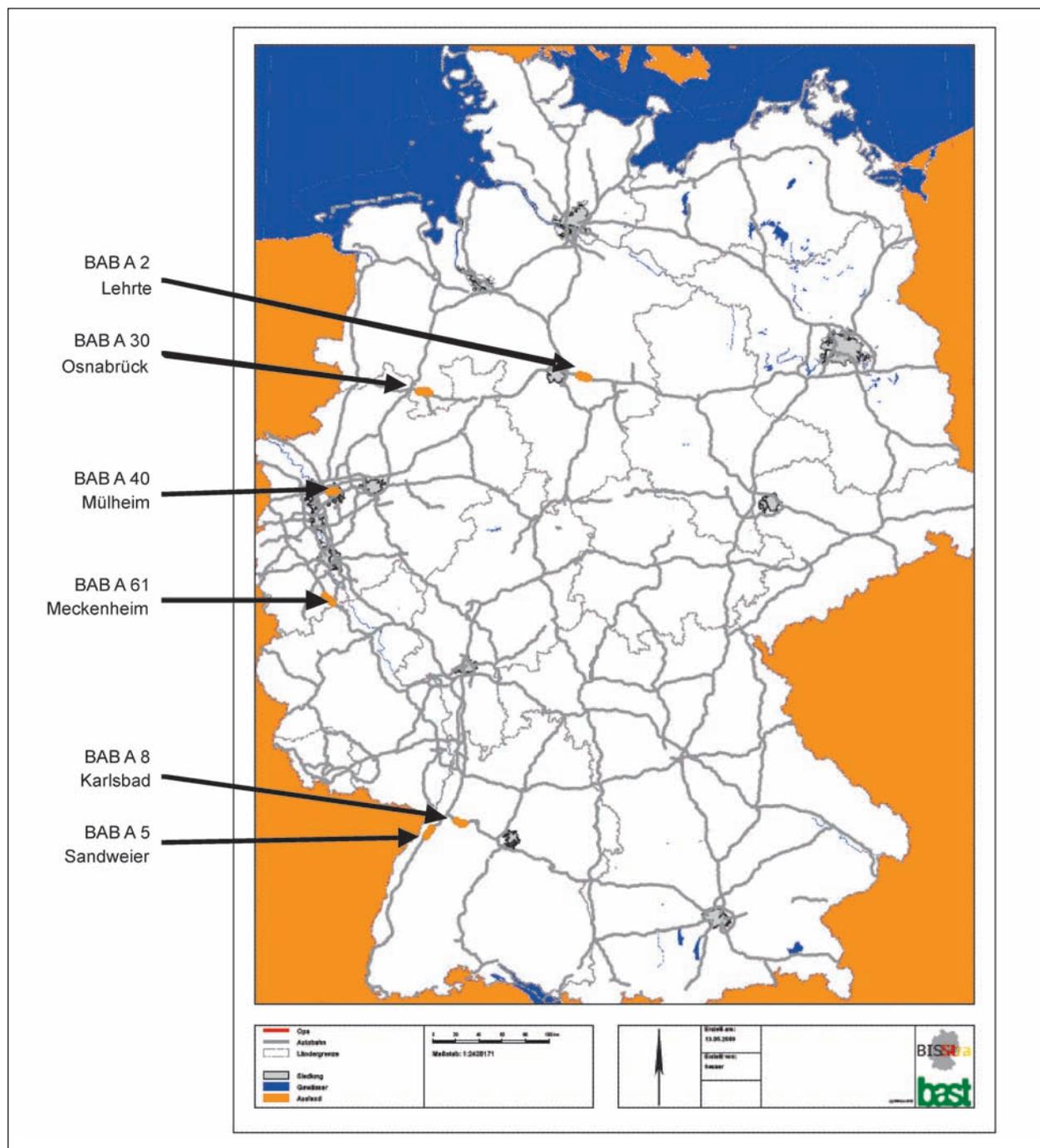


Bild 1: Ausgewählte Untersuchungsstreckenabschnitte, Projektteil „Neue Baumaßnahmen“

5.2 Verkehrsbelastung

Zur Beurteilung der polierenden Wirkung infolge der Verkehrsbelastung in situ wurde für die ausgewählten Untersuchungsstreckenabschnitte die Verkehrsbelastung bestimmt. Hierzu wurden Daten der automatischen Zählstellen ausgewertet. Im Bundesfernstraßennetz sind auf Bundesautobahnen über 600 Zählstellen, auf Bundesstraßen über 700 solcher Zählstellen installiert. Die Auswertung die-

ser Daten erfolgt durch die BASt (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2010).

Da die Untersuchungsstreckenabschnitte nicht immer in unmittelbarer Nähe einer solchen Zählstelle liegen, wurde jeweils die nächstliegende Zählstelle richtungsbezogen ausgewertet oder die Zählstelle, die nicht durch ein Autobahnkreuz oder -dreieck von dem Untersuchungsstreckenabschnitt getrennt wird. Die Lage der ausgewählten Zählstel-

len und die im Folgenden ausgewerteten Daten sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Da die Daten richtungsgetrennt vorliegen, wurde der Schwerverkehrsanteil analog zum Projektteil „Bestandsaufnahme“ wie folgt auf die einzelnen Fahrstreifen (FS) umgelegt:

- bei zwei Fahrstreifen:
1. FS = 96,0 %, 2. FS = 4,0 %,
- bei drei Fahrstreifen:
1. FS = 80,0 %, 2. FS = 18,3 %, 3. FS = 0,7 %.

Die Berechnung der Gesamtverkehrsbelastung nach zwei und 4 Jahren erfolgte durch Aufsummierung der DTV-Werte. Da zum Zeitpunkt der Berichterstellung die Verkehrsbelastungszahlen von 2009 und 2010 noch nicht vorlagen, wurden die relevanten Verkehrsstärken des Schwerverkehrs (SV) aus dem Trend (je Zählstelle) der Jahre 2005 bis 2008 abgeschätzt. Hierzu ist anzumerken, dass alle betrachteten Zählstellen eine relativ konstante Entwicklung der SV-Verkehrsstärken aufweisen. In Tabelle 4 finden sich die kumulierten Verkehrsbelastungszahlen des Schwerverkehrs.

Untersuchungsstrecke	Fahrt-richtung	Zählstelle BAST-Nr.	Entfernung	2005 DTV-Kfz SV-Kfz	2006 DTV-Kfz SV-Kfz	2007 DTV-Kfz SV-Kfz	2008 DTV-Kfz SV-Kfz
BAB A 2 Lehrte	Hannover	Peine 3306	17 km	41.201 9.054	41.990 9.830	42.622 10.299	43.087 9.054
BAB A 5 Sandweier	Karlsruhe	Achern 8035	23 km	32.278 5.971	32.321 6.423	32.800 6.760	32.835 7.172
BAB A 8 Karlsbad	Stuttgart	Pforzheim-Ost 8077	20 km	35.898 5.587	35.906 5.867	36.363 6.005	39.322 6.419
BAB A 8 Karlsbad	Karlsruhe	Pforzheim-Ost 8077	4 km	38.003 5.920	38.634 6.360	38.689 6.562	40.525 6.834
BAB A 30 Osnabrück	Bad-Oeynhaus	Kirchlengern* 5103	46 km	18.987 -	19.727 3.555	20.194 3.702	20.156 3.749
BAB A 40 Mülheim	Duisburg	AD Essen-Ost (W) 5680	7 km	37.053 3.044	36.140 3.296	35.220 2.752	33.355 2.434
BAB A 61 Meckenheim	Koblenz	Miel 5080	4 km	25.142 5.866	24.761 5.929	25.164 5.944	23.779 5.701

* Der Untersuchungsstreckenabschnitt befindet sich nicht in unmittelbarer Nähe einer Zählstelle. Zwischen der Zählstelle Kirchlengern und dem Untersuchungsstreckenabschnitt befindet sich zudem das AK Osnabrück-Süd (A 30/A 33). Die Zählstelle wurde dennoch aufgrund der hauptsächlichen Betrachtung des SV und der Fernverkehrsbeziehung ausgewählt.

Tab. 3: Verkehrsbelastungszahlen ausgewählter Zählstellen

Untersuchungsstrecke	Fahrt-richtung	Verkehrsfreigabe	Ges VB(SV) nach 2 Jahren			Ges VB(SV) nach 4 Jahren		
			1. FS	2. FS	3. FS	1. FS	2. FS	3. FS
BAB A 2 Lehrte	Hannover	12/2006	5.971.120	1.440.533	52.247	12.271.948	2.960.607	107.380
BAB A 5 Sandweier	Karlsruhe	08/2005	3.773.692	910.403	33.020	8.011.201	1.932.702	70.098
BAB A 8 Karlsbad	Stuttgart	08/2005	3.426.496	826.642	29.982	7.195.243	1.735.852	62.958
BAB A 8 Karlsbad	Karlsruhe	08/2005	3.711.592	895.422	32.476	7.742.409	1.867.856	67.746
BAB A 30 Osnabrück	Bad-Oeynhaus	11/2006	2.605.243	108.552	-	5.334.084	222.253	-
BAB A 40 Mülheim	Duisburg	07/2007	1.842.000	76.750	-	3.391.684	141.320	-
BAB A 61 Meckenheim	Koblenz	09/2007	4.086.974	170.291	-	8.030.255	334.594	-

Tab. 4: Kumulierte Verkehrsbelastung (VB) der Untersuchungsstreckenabschnitte

6 Ergebnisse, Auswertung und Bewertung

6.1 PWS

6.1.1 Zur Präzision des Messverfahrens

Gemäß der Technischen Prüfvorschrift zur „Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze“ (FGSV, 2008b) werden Anforderungen an die Wiederholpräzision der Messungen gestellt. Diese Anforderungswerte sollen auch in eine Prüfvorschrift zur „Bestimmung der Griffigkeit-entwicklung von Fahrhahnoberflächen mit dem Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS)“ übernommen werden, die zum Zeitpunkt der Berichtslegung lediglich als Entwurf vorlag.

Zur Kontrolle der Messeinrichtung werden Vergleichswerte auf einer Kontrollplatte gemessen. Zudem werden Anforderungen an die Wiederholpräzision zweier Einzelmessungen auf der Prüfoberfläche gestellt. Hinsichtlich der Vergleichspräzision des Messverfahrens PWS wurden erste Untersuchungen in Form von Ringversuchen durchgeführt, deren Ergebnisse eine Vergleichbarkeit von rund $0,095 \mu_{PWS}$ zeigen. Einflüsse auf die Vergleichspräzision wurden im Bereich der Probenbehandlung (Sandstrahlen manuell/automatisch), der Probenherstellung (bei Prüfung von Gesteinskörnungen) und der unterschiedlichen Erfahrung des Laborpersonals im Umgang mit der Prüfeinrichtung PWS identifiziert. Die folgenden Ausführungen beziehen sich jedoch ausschließlich auf die Wiederholpräzision, da in beiden Projektteilen dieselbe Prüfeinrichtung zum Einsatz kam.

Vor jeder Messung, d. h. bei Prognoseprüfungen nach jedem Poliervorgang, ist eine Messung auf einer Kontrollplatte durchzuführen. Diese Kontrollplatte besteht aus texturiertem Sicherheitsglas und wird bei jeder Messung über dem Probekörper montiert. Somit wird vermieden, dass der Probekörper aus der Prüfeinrichtung genommen werden muss. Der auf der Kontrollplatte gemessene Wert darf höchstens 10 % vom üblichen Messwert abweichen. Bei der in der BASt vorhandenen Kombination aus Messeinrichtung, Prüfgummis und Kontrollplatte liegt der übliche Wert bei circa $0,105 \mu_{PWS}$, die tolerierte Spannweite der Messergebnisse auf der Kontrollplatte beträgt somit $0,02 \mu_{PWS}$. Wird diese Anforderung nicht eingehalten, so ist zuerst der Zustand der Prüfgummis zu überprüfen, diese auszutauschen oder durch geeignete Maß-

nahmen zu regenerieren. Des Weiteren werden Anforderungen an die Prüfung zweier Proben der gleichen Oberfläche gestellt. Die Differenz der beiden Einzelergebnisse darf, zur Angabe eines Prüfergebnisses als Mittelwert, nicht größer als $0,03 \mu_{PWS}$ betragen.

Im Projektteil „Bestandsaufnahme“ wurden zur Feststellung der Präzision des PWS-Verfahrens Häufigkeitsverteilungen der Messwert-Spannweiten zueinander gehörender Bohrkern desselben Streckenabschnittes bzw. derselben Mischgutcharge ausgewertet. Diese Spannweiten liegen in einem Bereich $< 0,04 \mu_{PWS}$.

Aufgrund der genannten Anforderungen aus der Prüfvorschrift sowie der im Projektteil „Bestandsaufnahme“ durchgeführten Auswertungen wird für die folgenden Auswertungen der PWS-Prüfungen ein auf der sicheren Seite liegendes Toleranzmaß von $0,03 \mu_{PWS}$ angenommen.

6.1.2 Einfluss der Lagerung und Montage der Probekörper

Im Rahmen des Projektes wurden die untersuchten Probekörper zwecks weiterer Untersuchungen nach einer Lagerungsdauer von mindestens einem Jahr erneut in der PWS-Prüfeinrichtung geprüft. Dabei fiel auf, dass die auf den Probekörpern zuletzt gemessenen Werte nicht mehr erreicht wurden. Zur Überprüfung der offensichtlich vorhandenen Einflüsse auf die Probekörper durch Lagerung und Neueinbau in die Prüfeinrichtung wurden sämtliche Probekörper beider Projektteile nach einer Lagerungsdauer von zwei bis vier Jahren ohne weitere Polierbeanspruchung erneut geprüft. Es wurden dabei sowohl die Probekörper ohne Belastung durch Verkehr und Klima geprüft, als auch die Probekörper, die zwei oder vier Jahre durch Verkehr und Klima beansprucht wurden. Die Lagerung der Probekörper erfolgte in einem nicht klimatisierten geschlossenen Raum einzeln auf der Probekörperoberseite liegend. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind als Differenz von Erstmessung zu Nachmessung in Bild 2 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass der Großteil der Differenzen negativ ist, der Messwert vor der Lagerung also höher ist als nach der Lagerung. Die an den Probekörpern der BAB A 30 gemessenen Differenzen liegen jedoch alle im positiven Bereich. Einzelne Probekörper fallen auf, da sie eine deutlich andere Tendenz aufweisen als die Probekörper des glei-

chen Abschnittes oder da die Differenzwerte deutlich außerhalb des Durchschnittswertes liegen.

Mögliche Ursachen für diese Differenzen können sein:

- 1) Veränderung der Oberfläche durch die Messung,
- 2) Einflüsse durch die erneute Montage des Probekörpers in die Prüfeinrichtung,
- 3) Veränderung der Oberfläche durch die Lagerung,

zu 1) Veränderung der Oberfläche durch die Messung

Es ist bekannt, dass die Messung des PWS-Wertes auf einer Oberfläche Einflüsse auf diese besitzt. Wie beispielsweise in (HUSCHEK et al., 2007) dargestellt, nehmen die Werte bei wiederholter Messung kontinuierlich ab. Die Messung selbst hat also eine polierende Wirkung.

Im Versuch wurde an zwei Oberflächen eine Doppelmessung des PWS-Wertes durchgeführt. Ausgewählt wurden ein Probekörper der BAB A 30, der bei den Nachmessungen höhere Werte erzielte, und ein Probekörper der BAB A 5, der bei den Nachmessungen niedrigere Werte erzielte. Die Ergebnisse der Doppelmessungen sind in Bild 3 und

Bild 4 (Messung 3a und 3b bzw. 4a und 4b) dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die PWS-Werte bei beiden Probekörperoberflächen bei der jeweils zweiten Einzelmessung abnehmen. Die Abweichungen betragen hier weniger als $0,02 \mu_{PWS}$. Die aus der Literatur bekannten Untersuchungsergebnisse sind daher vorläufig, aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs, übertragbar.

zu 2) Einflüsse durch die erneute Montage des Probekörpers in die Prüfeinrichtung

Die Probekörper werden für die Messung in eine Einspannvorrichtung montiert. Hierbei kann es zu geringen Verschiebungen kommen, sodass nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden kann, dass bei wiederholter Messung exakt die gleiche Messspur vorliegt. Zur Abschätzung des daraus resultierenden Fehlers wurden im Versuch zwei Probekörper nach der ersten Messung ausgebaut und für die zweite Messung unmittelbar danach, also unter Ausschluss der Einflüsse aus der Lagerung, wieder eingebaut. Der Ein- und Ausbau wurden durch denselben Labortechniker durchgeführt.

In Bild 3 und Bild 4 (jeweils Messung 3 im Vergleich zu Messung 4) sind die Ergebnisse dieser Messun-

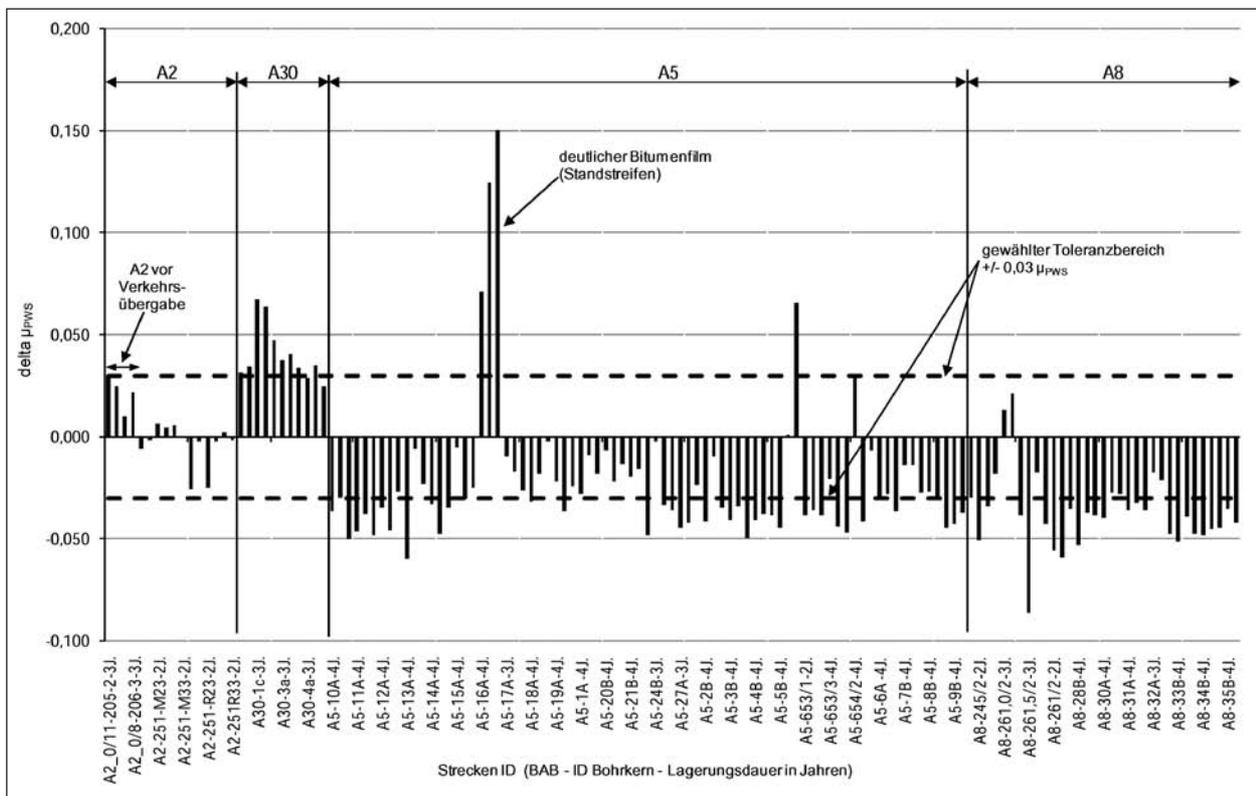


Bild 2: Differenzen zwischen Erstmessung und Nachmessung

gen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Einfluss des wiederholten Einbaus mit einer Abweichung von weniger als $0,005 \mu_{PWS}$ zu vernachlässi-

gen ist. Inwieweit diese Differenz aus der Messung selbst, vgl. Punkt 1, oder aus dem Einbau resultiert oder beeinflusst wird, kann nicht geklärt werden.

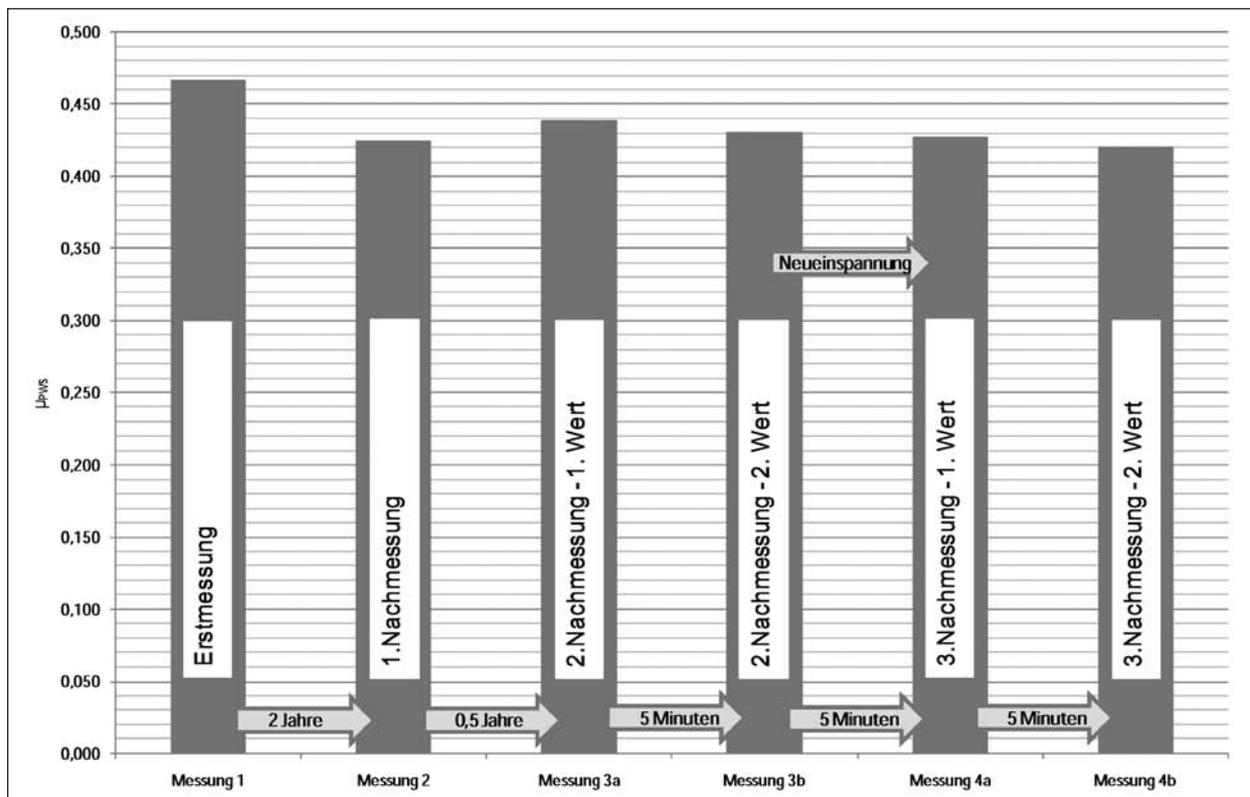


Bild 3: Nachmessungen mit Versuch zum Einfluss der Neueinspannung – BAB A 5

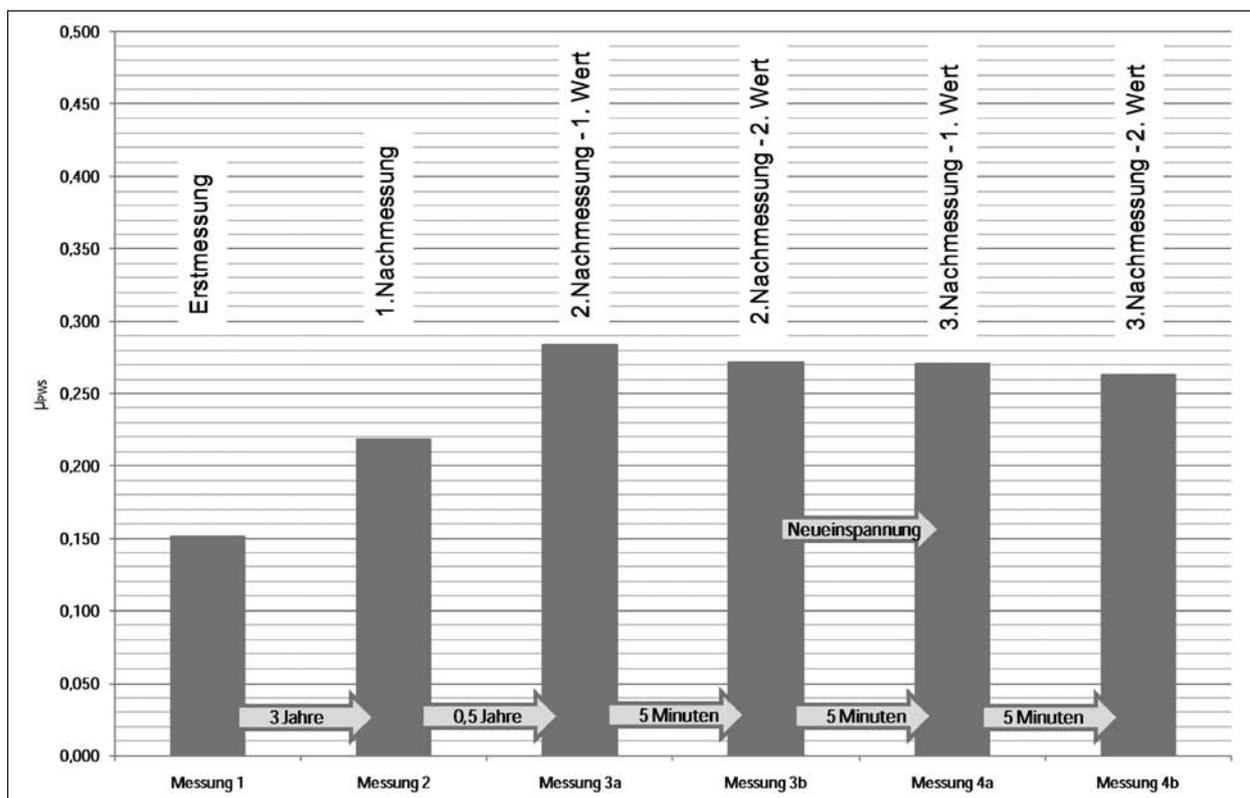


Bild 4: Nachmessungen mit Versuch zum Einfluss der Neueinspannung – BAB A 30

zu 3) Veränderung der Oberfläche durch die Lagerung

Bei der rein qualitativen Betrachtung der in Bild 2 dargestellten Differenzen zwischen Erst- und Zweitmessung fällt auf, dass eine Unterscheidung von Strecken mit künstlichen und natürlichen Gesteinskörnungen getroffen werden kann. Die Messwerte der Streckenabschnitte der BAB A 5 und BAB A 8 mit Anteilen von künstlichen Gesteinskörnungen (75 % EOS) unterscheiden sich von den Abschnitten der BAB A 2 (Grauwacke/Gabbro) und der BAB A 30 (Quarzporphyr).

Die Probekörper der BAB A 30 erzielen bei den Nachmessungen höhere PWS-Werte. Bei visueller Betrachtung der Probekörper und Vergleich mit den Probekörpern der anderen Strecken fällt auf, dass ein deutlicher Bindemittelüberschuss vorhanden ist. Dass dieser Bindemittelüberschuss in einem für die Griffigkeitsmessungen relevanten Bereich liegt, wird durch den Vergleich des Niveaus der Messwerte deutlich. Im Falle der BAB A 30 liegen diese im Mittel bei nur $0,18 \mu_{PWS}$, während die Messwerte der BAB A 5 und BAB A 8 im Mittel bei $0,41 \mu_{PWS}$ liegen. Es ist daher zu vermuten, dass die höheren Messwerte bei den Nachmessungen auf die Alterung des Bitumens zurückzuführen sind. Diese Vermutung wird durch die Betrachtung der Probekörper der BAB A 2 bestätigt, die vor der Verkehrsfreigabe entnommen worden sind. Im Vergleich zu den restlichen Probekörpern der BAB A 2, die schon einige Jahre unter Verkehr und Witterung lagen, zeigt sich deutlich der Einfluss der Bitumenalterung auf die Ergebnisse der PWS-Werte bei der Nachmessung. Gleiches zeigt sich bei Nachmessungen an zwei unvorbehandelten Probekörpern der BAB A 30, die bereits durch 270.000 PWS-Überrollungen belastet worden sind. An diesen Probekörpern konnte, im Gegensatz zu den unbelasteten Probekörpern der BAB A 30, eine Abnahme der Griffigkeit nach rund zwei Jahren Lagerungsdauer beobachtet werden.

Im Falle der Probekörper aus der BAB A 5 und BAB A 8 sind die Messwerte der Nachmessungen niedriger als die der ersten Messung. Ursächlich hierfür können nachträgliche Reaktionen wie z. B. Oxidation der bei diesen Streckenabschnitten verbauten Elektrohochofenschlacken (EOS) sein. Eine Quantifizierung dieser Einflüsse ist im Rahmen dieses Projektes nicht möglich.

Zudem fallen die Ergebnisse von drei Probekörpern der BAB A 5 auf, die deutlich höhere Werte

bei der Nachmessung erzielen. Diese aus dem Standstreifen stammenden Probekörper weisen bei visueller Betrachtung gegenüber den Probekörpern aus benachbarten Abschnitten einen deutlichen Bindemittelüberschuss an der Oberfläche auf, d. h., die Bindemittelleigenschaften dominieren hier über den Eigenschaften der künstlichen Gesteinskörnung.

Die festgestellten Differenzen der PWS-Werte bei der Nachmessung im Vergleich zu den Erstmessungen sind nach den vorliegenden Auswertungen auf die Veränderungen der Probekörperoberflächen während der Lagerungsdauer zurückzuführen und nicht auf die eventuell verschobene Messlinie durch die Neueinspannung des Probekörpers in die Prüfeinrichtung. Probekörperoberflächen mit einem deutlichen Bindemittelüberschuss erfahren durch die Alterung des Bitumens eine Zunahme der Griffigkeit, während Probekörperoberflächen mit künstlichem Gestein, hier EOS, wahrscheinlich durch nicht weiter quantifizierbare chemische Reaktionen eine Griffigkeitsabnahme erfahren. Inwieweit diese Aussage auf natürliche Gesteinskörnungen ohne Bindemittelüberzug zu übertragen ist, kann mit Hilfe der vorliegenden Datenbasis nicht geklärt werden. Die Veränderungen der Griffigkeitswerte der betrachteten Stichprobe liegen mit im Mittel $-0,03$ bzw. $+0,04 \mu_{PWS}$ nicht deutlich außerhalb des gewählten Toleranzbereiches von $0,03 \mu_{PWS}$. Zudem konnte in Anlehnung an bestehende Forschungsergebnisse gezeigt werden, dass der Messvorgang selbst einen polierenden Einfluss auf die Probekörperoberfläche besitzt. Eine Differenzierung der Anteile der verschiedenen Einflüsse ist mit der hier durchgeführten Auswertung nicht möglich.

6.1.3 Einfluss der Vorbehandlung

Bei der Prüfung mit dem PWS-Verfahren von unbefahrenen Bohrkernoberflächen und im Labor hergestellten Walzsegmentplatten wird die Griffigkeit wesentlich von dem vorhandenen Bindemittelüberschuss bestimmt. Die Messergebnisse können zudem durch Bitumenanhaftungen an der Messeinrichtung verfälscht werden. Laut der sich im Entwurf befindenden Verfahrensbeschreibung (FGSV, 2008a) sind daher derartige Oberflächen durch Sandstrahlen (Korund 0,5/1) vorzubehandeln. Dabei sollte zur vergleichbaren und gleichmäßigen Oberflächenbehandlung eine automatisierte Sandstrahleinrichtung eingesetzt werden.

Durch diese Vorbehandlung ist ein direkter Vergleich mit der Griffigkeitsentwicklung in situ nicht möglich. Theoretisch ist anzunehmen, dass der Vergleich erst dann möglich ist, wenn der Bindemittelüberschuss in situ durch die Einwirkung von Klima und Verkehr abgetragen worden ist. Ob und inwieweit die Griffigkeitsprognose mit dem PWS durch die Vorbehandlung mittels Sandstrahlens beeinflusst wird, kann an folgendem Beispiel gezeigt werden.

Es wurden zwei Bohrkernoberflächen aus der BAB A 30, km 69 + 500, einer PWS-Prognoseprüfung unterzogen. Beide Bohrkern wurden unmittelbar vor der Verkehrsfreigabe entnommen. Ein Bohrkern wurde vor der Prognoseprüfung durch circa 90 Sekunden Sandstrahlen vorbehandelt, der zweite Bohrkern wurde nicht vorbehandelt. Die Ergebnisse der Prognoseprüfungen sind in Bild 5 dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass der Einfluss der Vorbehandlung bis circa 45.000 Überrollungen deutlich feststellbar ist. Ab circa 180.000 Überrollungen sind mit 0,02 bis 0,04 μ_{PWS} nur geringe Abweichungen der verschiedenen Varianten zu erkennen.

Aufgrund der Messergebnisse kann vermutet werden, dass der Einfluss der Vorbehandlung auf die Auswertung der Prognoseprüfung für offenporige Asphalte hinsichtlich der Bestimmung einer Endgriffigkeit zu vernachlässigen ist. Zur Verifizierung dieser Aussage bedarf es weiterer umfangreicher Untersuchungen. Ergebnisse von Untersuchungen,

die an der TU München an drei Splittmastixasphalt-Varianten durchgeführt worden sind, zeigen, dass für diese Fälle die Prognosewerte bei gesandstrahlten Oberflächen ein niedrigeres Niveau aufweisen als die Prognosewerte der unvorbehandelten Oberflächen (WÖRNER & Böhnisch, 2003). Es ist aber darauf hinzuweisen, dass aufgrund des geringen Probenumfangs eine statistische Absicherung nicht möglich ist und dass im Vergleich relativ lange Sandstrahldauern von vier Minuten angewendet wurden.

6.1.4 Vergleich Bohrkern und Walzsegmentplatten

Für einige Untersuchungsstreckenabschnitte standen zusätzlich oder alternativ zu den Bohrkernen Rückstellproben des Asphaltgemisches zur Verfügung, aus denen Walzsegmentplatten für die Untersuchung des Nullzustandes, vor Verkehrsfreigabe, hergestellt wurden.

Für sechs Stationierungen auf zwei Untersuchungsstreckenabschnitten, für die beide Probenarten vorlagen, wurden die PWS-Prognoseprüfungen vergleichend ausgewertet. Diese Auswertung ist für das Projektziel relevant, da bei Durchführung der Griffigkeitsprognose vor Einbau einer Deckschicht keine Bohrkern zur Verfügung stehen und auf Bohrkern aus Probeflächen bzw. Walzsegmentplatten zurückgegriffen werden muss.

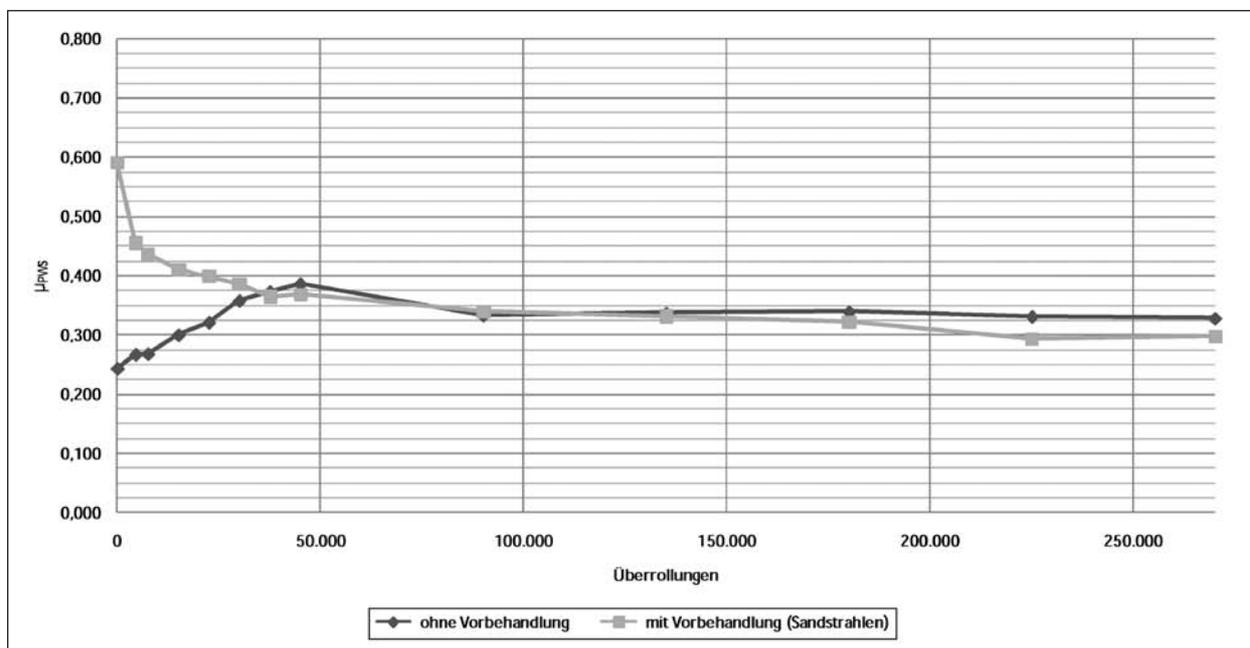


Bild 5: Vergleich PWS-Prognoseprüfung an vorbehandeltem und unvorbehandeltem Bohrkern

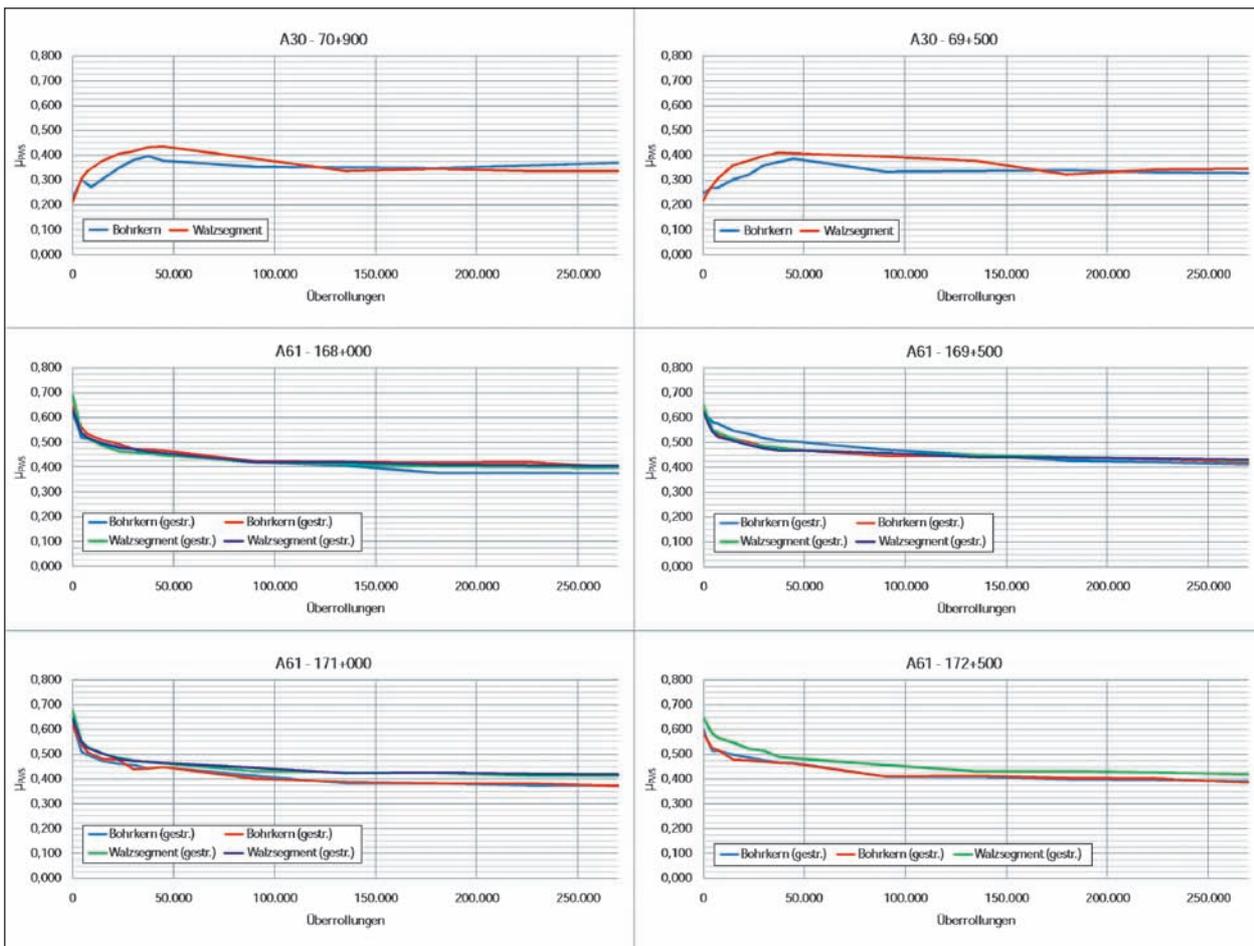


Bild 6: Vergleich der PWS-Prognoseprüfung an Bohrkernen und Walzsegmentplatten

Die Ergebnisse der Prognoseprüfungen sind in Bild 6 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass ein enger Zusammenhang der Prognoseprüfungen an Bohrkernen und Walzsegmenten besteht. Im Falle der Prüfungen an den Proben der BAB A 30 ist dieser Zusammenhang geringer als im Falle der Proben der BAB A 61, die vor der Prüfung durch Sandstrahlen vorbehandelt worden sind. Die aus dem fehlenden Baustellenverkehr, fehlenden Witterungseinflüssen und den unterschiedlichen Herstellungsprozessen resultierenden Besonderheiten scheinen somit durch den Sandstrahlprozess ausgeglichen zu werden.

Unabhängig von der Probenart wird für den hier gewählten Endwert der Prognoseprüfung bei 270.000 Überrollungen das gleiche Niveau erreicht. Es bestehen geringe Abweichungen, die jedoch keiner Systematik unterliegen (d. h., die Werte der Bohrkern sind nicht regelmäßig niedriger oder höher als die der Walzsegmente). Es ist daher anzunehmen, dass diese Abweichungen zu vernachlässigen sind.

Für die weiteren Auswertungen können daher sowohl die Ergebnisse der Prüfungen an den Bohrkernen wie auch die der Walzsegmente verwendet werden.

6.1.5 Auswertung der Prognoseprüfungen

Wie in Kapitel 4 beschrieben, wurde für jeden Untersuchungsstreckenabschnitt an mindestens einem Probekörper (Bohrkern oder Walzsegmentplatte) ausgehend vom Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe eine PWS-Prognoseprüfung durchgeführt. Die Griffigkeitsmessungen erfolgten im Nullzustand (0 Überrollungen) und jeweils nach 4.500, 7.500, 15.000, 22.500, 30.000, 37.500, 45.000, 90.000, 135.000, 180.000, 225.000 und 270.000 Überrollungen. In einigen Fällen wurde darüber hinaus die Anzahl der Überrollungen und Griffigkeitsmessungen (Intervall: 45.000 Überrollungen) so lange fortgesetzt, bis die Messwerte keine Änderung mehr zeigten. Die Proben wurden zwischen den Polierstufen nicht künstlich aufgeraut. Die einzelnen Er-

Überrollungen	μ_{PWS}						
	A 2 (0/11)	A 2 (0/8)	A 5	A 8	A 30	A 40	A 61
0	0,00	0,00	0,01	0,09	0,18	0,06	0,03
4.500	0,00	0,00	0,01	0,05	0,10	0,02	0,02
7.500	0,00	0,00	0,01	0,04	0,09	0,02	0,02
15.000	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,02	0,02
22.500	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,02	0,02
30.000	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02
37.500	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02
45.000	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01
90.000	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02
135.000	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
180.000	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02
225.000	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02
270.000	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02

Tab. 5: Standardabweichungen der Prognoseprüfungen

gebnisse der Prognoseprüfungen sind in Anlage 1 dargestellt.

Zum Vergleich der mit Hilfe der Prognoseprüfung festgestellten Griffigkeitsverläufe wurden diese streckenweise, mit Ausnahme der BAB A 2, da dort zwei Deckschichtvarianten (OPA 0/8 und OPA 0/11) verbaut sind, gruppiert. Hierzu wurden aus den Messwerten unter Beachtung der Standardabweichung, vgl. Tabelle 5, Mittelwerte gebildet. Die geringen Standardabweichungen zeigen die Zulässigkeit dieser Vorgehensweise. Als Ausnahme hiervon sind die ersten circa 30.000 Überrollungen anzusehen, da nicht zwischen unvorbehandelten, vorbehandelten Proben und nicht zwischen Bohrkernen und Walzsegmentplatten differenziert wurde.

Die berechneten Mittelwerte sind in Bild 7 dargestellt. Die unterschiedlichen Griffigkeitsniveaus sind deutlich zu erkennen. Das jeweilige Niveau stellt sich schon nach wenigen Überrollungen ein. Eine Reihung in Bezug zu den verwendeten Gesteinsarten ist nicht zu erkennen bzw. Zusammenhänge von Strecken, an denen die gleiche Gesteinsart, Bindemittelart oder Mischgutart verbaut worden sind (BAB A 5 im Vergleich mit A 8, BAB A 30 im Vergleich mit A 61), vgl. Tabelle 1, bestehen nicht. Der Unterschied der Griffigkeitswerte der BAB A 5 und A 8 fällt besonders auf, da hier der Einbau mit theoretisch gleicher Zusammensetzung des Gemisches aus Gesteinskörnungen (75 % EOS, 25 % Moräne) erfolgte. Zudem wurden bei beiden Bau-

maßnahmen die gleichen Lieferanten für die Gesteinskörnungen gewählt und der Einbau erfolgte im gleichen Zeitraum, womit eine gleiche Qualität (insbesondere der Schlacke) vermutet werden kann. Zur Ursachenklärung wurden die Gesteinskörnungen aus jeweils zwei Bohrkernen der beiden Streckenabschnitte extrahiert und die Moräne- bzw. Schlackenanteile bestimmt. Im Falle der BAB A 5 wurden 35,0 % Moräne und 65,0 % Schlacke festgestellt. Im Falle der BAB A 8 betragen die Anteile 20,5 % Moräne und 79,5 % Schlacke. Es wird daher angenommen, dass die Griffigkeitsunterschiede auf die unterschiedlichen Anteile der Gesteinsarten zurückzuführen sind. Diese Annahme kann durch Auswertung der Oberflächentextur der beiden Gesteinsarten, vgl. Kapitel 6.4.3.2, bestätigt werden.

Wird bei der Auswertung der absoluten Differenz zwischen den einzelnen Polierstufen die in Kapitel 6.1.1 hergeleitete Toleranz von $0,03 \mu_{PWS}$ angewendet, so ist festzustellen, dass die Endgriffigkeit mit Sicherheit bei 270.000 Überrollungen erreicht wird. Zudem ist zu beobachten, dass sich ab 180.000 Überrollungen nur noch eine Differenz von maximal $0,016 \mu_{PWS}$ (im Mittel $0,006 \mu_{PWS}$) bis zum Wert bei 270.000 Überrollungen einstellt. Für zwei Untersuchungsstreckenabschnitte wurden darüber hinaus Prüfungen durchgeführt, welche bei bis zu 540.000 Überrollungen die gleiche Tendenz zeigen. Ein Wert für Endgriffigkeit könnte somit bereits ab 180.000 Überrollungen abgelesen werden.

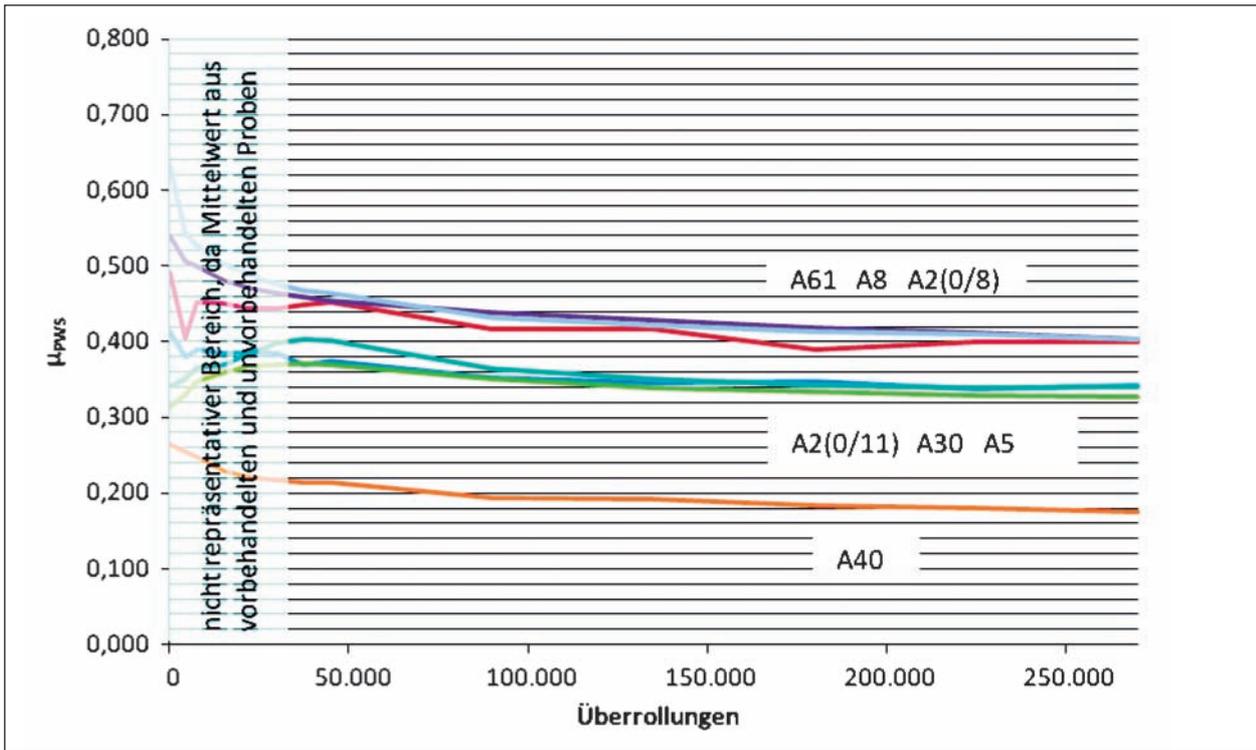


Bild 7: Vergleich der Prognosemessungen (Mittelwerte)

Überrollungen	A 2-205 + 950-BK	A 2-206 + 300-BK	A 5-654 + 100-BK	A 5-653 + 700-BK	A 8-261 + 500-BK	A 8-245 + 100-WS	A 8-245 + 100-BK	A 8-245 + 100-WS	A 8-245 + 100-WS	A 30-70 + 900-BK	A 30-70 + 900-WS	A 30-69 + 500-BK	A 30-69 + 500-BK	A 30-69 + 500-WS	A 30-68 + 950-WS	A 61-167 + 450-BK	A 61-167 + 450-BK	A 61-167 + 450-WS	A 61-167 + 450-WS	A 61-161 + 010-BK	A 61-161 + 010-BK	A 61-161 + 010-WS	A 61-161 + 010-WS	A 61-170 + 570-BK	A 61-170 + 570-BK	A 61-170 + 570-WS	A 61-170 + 570-WS	A 61-172 + 130-BK	A 61-172 + 130-BK	A 61-172 + 130-WS	
4.500	x	x			x		x			x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
7.500		x									x													x							
15.000					x						x	x		x																	x
22.500										x																					
30.000										x		x													x						
37.500																															
45.000																															
90.000		x									x	x			x	x	x	x	x	x				x	x				x	x	
135.000										x																					
180.000														x																	
225.000																															
270.000																															

Differenz liegt zwischen 0,01 und -0,01 μ_{PWS}
 Differenz liegt zwischen 0,01 und 0,03 μ_{PWS}
 Differenz ist größer 0,03 μ_{PWS}
 Differenz liegt zwischen -0,01 und -0,03 μ_{PWS}
 Differenz ist kleiner -0,03 μ_{PWS}
 BK = Bohrkern WS = Walzsegment

Tab. 6: Absolute Differenzen zwischen den Polierstufen der Prognoseprüfung

Da sich diese Aussagen auf Mittelwerte stützen, kann dies trotz geringer Standardabweichungen zu einer Fehlinterpretation führen. Die gleichen Aus-

wertungen wurden daher auch an den Einzelwerten der Prognoseprüfungen durchgeführt. In Tabelle 6 sind die absoluten Differenzen zwischen den ein-

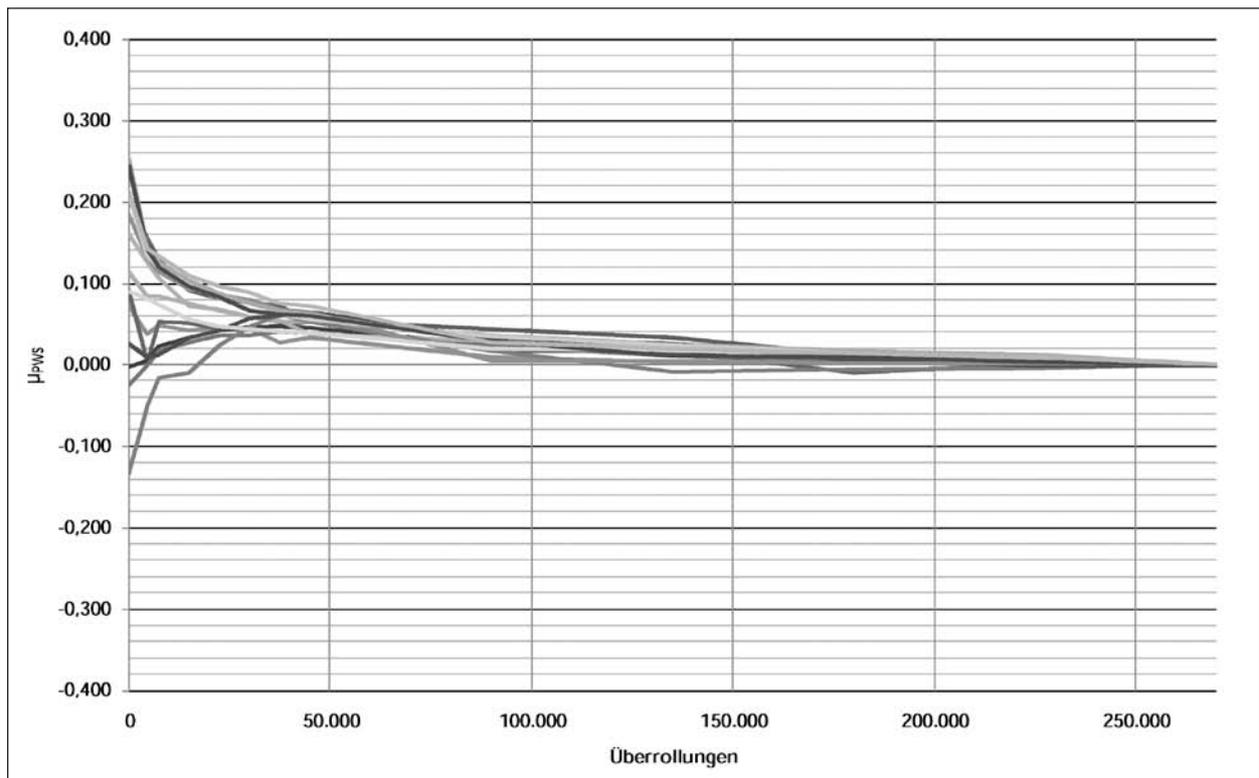


Bild 8: Niveauunabhängiger Vergleich der Prognoseprüfungen aller Untersuchungsstreckenabschnitte (Messwert bei 270.000 Überrollungen wurde zu null gesetzt)

zelen Polierstufen ausgewertet. Aus Gründen der Übersicht wurde auf eine Darstellung der Zahlenwerte verzichtet und eine Zeichencodierung verwendet. Es ist zu erkennen, dass ab 135.000 Überrollungen die absoluten Differenzen zwischen den Polierstufen geringer als $0,03 \mu_{PWS}$ bzw. größer als $-0,03 \mu_{PWS}$, sind. Lediglich zwei Proben der BAB A 30 zeigen eine betragsmäßig größere Differenz (Wert: $-0,05 \mu_{PWS}$).

Aufgrund der vorgestellten Ergebnisse ist daher anzunehmen, dass eine Polierbeanspruchung mit dem PWS-Prüfgerät von 180.000 Überrollungen ausreichend ist, um einen Wert für die Endgriffigkeit zu ermitteln. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen aus dem Projektteil „Bestandsaufnahme“.

Für einen weiteren Vergleich der Griffigkeitsprognosen wurden die Prognosekurven auf einen einheitlichen Messwert von $0,00 \mu_{PWS}$ bei 270.000 Überrollungen parallel verschoben, d. h., dieser Messwert wurde zu null gesetzt und die davor liegenden Messwerte wurden entsprechend umgerechnet. Somit ist ein niveauunabhängiger Vergleich der Griffigkeitsentwicklungen möglich. Die Ergebnisse sind in Bild 8 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Griffigkeitsentwicklungen der verschiedenen

Untersuchungsstreckenabschnitte ab 45.000 Überrollungen sehr ähnlich sind. Die Werte bei 270.000 Überrollungen liegen im Mittel $0,052 \mu_{PWS}$ (Standardabweichung: $0,011 \mu_{PWS}$) niedriger als die Werte bei 45.000 Überrollungen. Die Werte bei 180.000 Überrollungen liegen im Mittel $0,045 \mu_{PWS}$ (Standardabweichung: $0,013 \mu_{PWS}$) niedriger als die Werte bei 45.000 Überrollungen. Theoretisch ist somit eine rein rechnerische Prognose mit dem Messwert nach nur 45.000 Überrollungen auf den Messwert bei 270.000 bzw. 180.000 Überrollungen möglich. Es ist anzumerken, dass diese Aussage an einem größeren Stichprobenumfang zu verifizieren ist.

6.1.6 Auswertung der PWS-Messungen

Vor jeder Prognoseprüfung an den Probekörpern der Untersuchungsstreckenabschnitte wurde eine PWS-Messung an der Oberfläche ohne Polierbeanspruchung und ohne Vorbehandlung durchgeführt. Zusätzlich wurden an den Bohrkernen, die nach zwei und vier Jahren Verkehrsbelastung unmittelbar neben den ersten Bohrkernentnahmestellen entnommen worden sind, PWS-Messungen ohne Polierbeanspruchung und ohne Vorbehandlung durchgeführt.

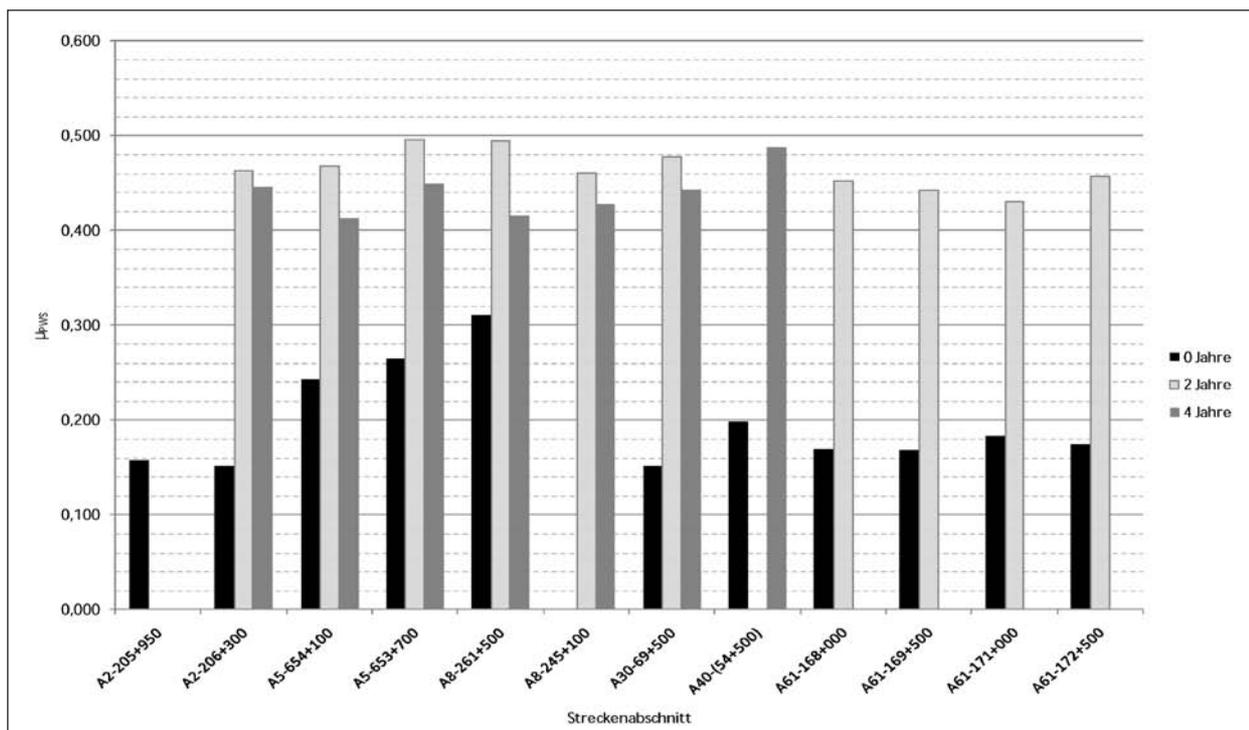


Bild 9: Ergebnisse der PWS-Messungen ohne Verkehrsbelastung (0 Jahre) sowie nach 2 und 4 Jahren Verkehrsbelastung

Die Ergebnisse dieser PWS-Messungen sind in Bild 9 dargestellt. An allen Streckenabschnitten ist nach zwei Jahren ein deutlicher Griffigkeitszuwachs festzustellen. Dies erklärt sich durch den Abtrag des Bindemittelüberschusses bzw. durch die Freilegung der Gesteinsoberflächen infolge der Verkehrsbelastung. Nach vier Jahren Verkehrsbelastung ist eine leichte Abnahme der Messwerte zu erkennen, die Messwerte liegen jedoch noch deutlich über denen der Nullmessung vor Verkehrsfreigabe. Es ist zu beachten, dass die zeitliche Entwicklung des Bindemittelabtrags nur unzureichend durch die Zeitpunkte ‚zwei und vier Jahre‘ abgebildet wird, da die Zeitpunkte der Bohrkernentnahme nur eine Momentaufnahme darstellen. Die Griffigkeitsentwicklung durch den Bindemittelabtrag ist anhand der PWS-Prognoseprüfungen an unvorbehandelten Oberflächen zu erkennen (vgl. Anlage 1: BAB A 5 und A 30).

Im Falle der Werte für den Streckenabschnitt BAB A 40 ist zu beachten, dass aufgrund der Probenlieferung für den Zustand 0 -Jahre keine exakte Positionierung der Bohrkernentnahmen nach 4 Jahren erfolgen konnte.

Die in Bild 7 erkennbare Gruppierung und Reihung der Griffigkeitsprognosen sind an den Ergebnissen der PWS-Messungen nicht erkennbar. Das Griffigkeitsniveau der PWS-Messungen nach zwei und

vier Jahren Verkehrsbelastung ist bei allen Streckenabschnitten sehr ähnlich.

6.1.7 Bezug der PWS-Messungen zu den Prognoseprüfungen und der Verkehrsbelastung

Die PWS-Messungen repräsentieren den Griffigkeitszustand nach zwei bzw. vier Jahren realer Verkehrsbelastung, vgl. Kapitel 5.2, während die Prognoseprüfung eine reine Simulation darstellt. Zur Herstellung eines Bezuges der Anzahl der PWS-Überrollungen zu den tatsächlichen Überrollungen des Verkehrs in situ wurden die Werte beider Prüfungen in Diagrammen aufgetragen und vergleichend ausgewertet, vgl. beispielhaft Bild 10. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

In einigen Fällen ist ein direkter Vergleich nicht möglich, da die Werte der PWS-Messungen über den Werten der Prognoseprüfung lagen. Daraus kann für diese Fälle, analog zum Projektteil „Bestandsaufnahme“, gefolgert werden, dass die Polierwirkung der PWS-Prüfeinrichtung deutlich stärker ist als die reale Verkehrsbelastung nach zwei oder vier Jahren. Die Fälle, bei denen ein direkter Vergleich möglich ist, zeigen jedoch ein sehr uneinheitliches Verhalten. Die Spanne für zwei Jahre Verkehrsbelastung reicht von 1.000 bis 145.000 PWS-Überrollungen mit einem Medianwert von

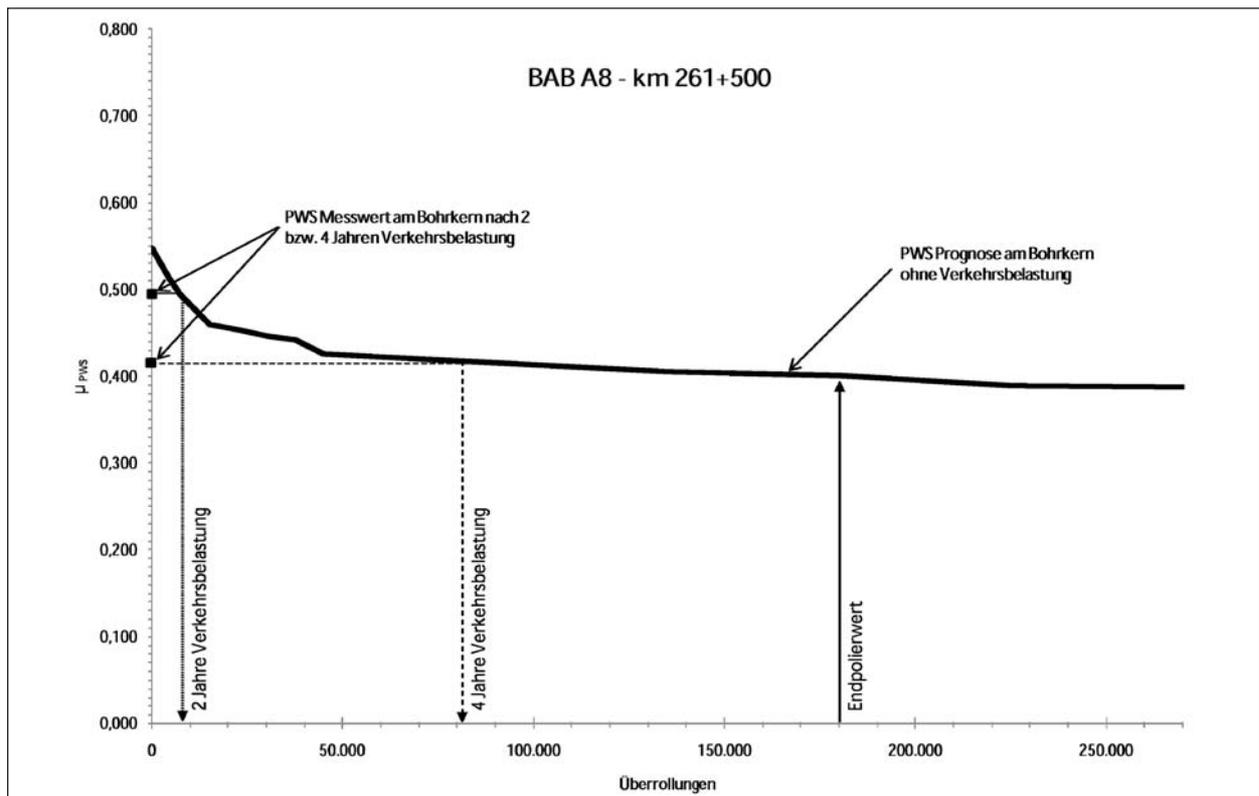


Bild 10: Bezug der PWS-Messung nach 2 und 4 Jahren zur Prognoseprüfung (Bsp.: ca. 8.000 PWS-Überrollungen entsprechen 2 Jahren Verkehrsbelastung)

Strecke	Station	Anzahl der PWS-Überrollungen vergleichbar mit Verkehrsbelastung nach		Verkehrsbelastung durch den Schwerverkehr im ersten Fahrstreifen nach		Kommentar
		2 Jahren	4 Jahren	2 Jahren	4 Jahren	
BAB A 2	206 + 300 (0/8)	1.000	8.000	6,0 Mio.	12,3 Mio.	1, 3
BAB A 5	654 + 100	n. m.	n. m.	3,8 Mio.	8,0 Mio.	
	653 + 700	n. m.	n. m.			
BAB A 8	261 + 500	8.000	90.000	3,4 Mio.	7,2 Mio.	1
	245 + 100	40.000	160.000	3,7 Mio.	7,7 Mio.	1, 2
BAB A 30	69 + 500	4.000	5.000	2,6 Mio.	5,3 Mio.	1
BAB A 40	54 + 500	-	n. m.	1,8 Mio.	3,4 Mio.	
BAB A 61	168 + 000	55.000	-	4,1 Mio.	8,0 Mio.	1, 2
	169 + 500	145.000	-			1, 2
	171 + 000	80.000	-			1, 2
	172 + 500	60.000	-			1, 2

Kommentar 1 = Prognoseprüfung an vorbehandelter Probe
 Kommentar 2 = Ablesung an Mittelwert mehrerer Prognoseprüfungen
 Kommentar 3 = Vergleichswert nach 4 Jahren kann dem Bereich von 8.000 bis 45.000 Überrollungen zugeordnet werden
 n. m. = Vergleich nicht möglich, da PWS-Messung > Prognoseprüfung

Tab. 7: Bezug der PWS-Messung zur Prognoseprüfung

47.500 Überrollungen und einem Mittelwert von rd. 53.600 Überrollungen. Die Spanne für vier Jahre Verkehrsbelastung reicht von 5.000 bis 160.000 PWS-Überrollungen mit einem Medianwert von

49.000 Überrollungen und einem Mittelwert von rd. 65.750 Überrollungen. Die Angabe des Medianwertes als Lageparameter ist hier aufgrund der großen Spannweiten und der ungleichmäßigen

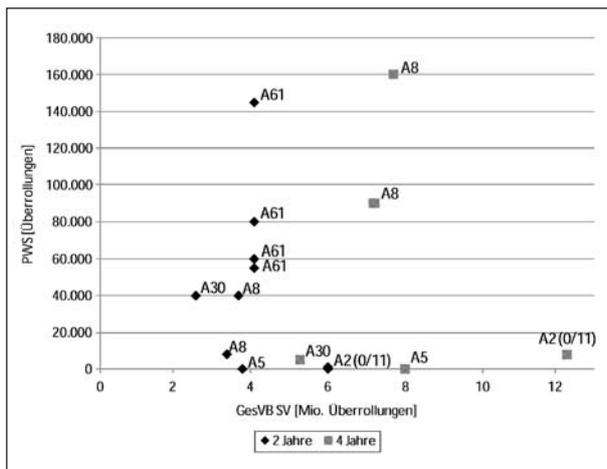


Bild 11: Bezug der PWS-Überrollungen zur Gesamtverkehrsbelastung

Verteilung günstiger als die alleinige Angabe des Mittelwertes.

Der Vergleich der zugeordneten PWS-Überrollungen mit den Verkehrsbelastungszahlen des Schwerverkehrs nach zwei und vier Jahren, vgl. Tabelle 7 und Bild 11, ergibt keinen klaren Bezug der beiden Kenngrößen zueinander, d. h., es kann demnach nicht eindeutig einer Gesamtverkehrsbelastung eine Anzahl von PWS-Überrollungen zugeordnet werden. Dies zeigt sich beispielsweise deutlich anhand der Spannweiten der Werte für die BAB A 8 und BAB A 61.

6.1.8 Zwischenfazit

Es konnte gezeigt werden, dass ein repräsentativer Wert für die Griffigkeitsentwicklung eines offenporigen Asphalt nach 180.000 Überrollungen festgestellt werden kann. Zudem zeigen die Ergebnisse der Prognoseprüfungen, dass die Griffigkeitsentwicklung der untersuchten Abschnitte trotz unterschiedlicher Gesteinsorten sich nahezu gleichwertig verhält. Es sind lediglich Niveauunterschiede festzustellen, die allerdings nicht eindeutig der Gesteinsart oder anderen betrachteten Parameter zuzuordnen sind. Eindeutige Zuordnungen der PWS-Überrollungen zu der realen Verkehrsbelastung sind hier nicht möglich. Diese Aussage wird durch abgeschlossene Forschungsprojekte bestätigt, welche die Griffigkeitsprognose für Deckschichten aus Asphaltbeton und Splittmastixasphalt, vgl. (HUSCHEK et al., 2007), (WÖRNER, WENZEL & BÖSEL, 2008), und offenporigen Asphalt, vgl. (ROHLEDER et al., 2010), betrachten. Bei den zitierten Projekten, wie auch bei dem vorliegenden,

bleibt als ein Ergebnis festzuhalten, dass der Endpolierwert eine für die Prognose größere Bedeutung besitzt als die nach bestimmten Überrollungszahlen festgestellten Zwischenwerte. Gemäß den Auswertungen in (HUSCHEK et al., 2007) hat die Bestimmung von Zwischenwerten zur Dokumentation der Griffigkeitsentwicklung jedoch keinen Einfluss auf den Endpolierwert, wodurch der Detaillierungsgrad der Aufzeichnung einer Griffigkeitsentwicklung frei gewählt werden kann.

6.2 SRT-Messungen

An den Untersuchungsstreckenabschnitten wurden jeweils zur Verkehrsfreigabe sowie zwei und vier Jahre danach SRT-Messungen zur Feststellung der Mikrorauheit durchgeführt. Die Messungen erfolgten sowohl in situ als auch an Bohrkernoberflächen im Labor. Bei den Messungen im Labor wurden die Messungen in vier Richtungen durchgeführt, da die Fahrtrichtung nicht auf den Bohrkernen markiert wurde. Die Zulässigkeit dieses Vorgehens wurde im Projektteil „Bestandsaufnahme“ nachgewiesen.

6.2.1 Auswertung der SRT-Messungen

In Bild 12 sind die Ergebnisse der SRT-Messungen dargestellt. Es fällt auf, dass die Werte, die unmittelbar vor oder nach der Verkehrsfreigabe gemessen worden sind nicht den gemäß ZTV Asphalt-StB (FGSV, 2007) erforderlichen Sollwert für die Kontrollprüfung/Abnahme von mindestens 60 SRT-Einheiten erreichen. Der Großteil dieser Werte liegt, gemäß dem Merkblatt zur Bewertung der Straßen-griffigkeit bei Nässe (FGSV, 2003), zwischen dem Warnwert von 55 SRT-Einheiten und dem Schwellenwert von 50 SRT-Einheiten. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass die durchgeführten SRT-Messungen im Rahmen dieses Projektes und nicht zur Abnahme der Bauleistung durchgeführt worden sind sowie der Zeitpunkt der SRT-Messung nicht gemäß den ZTV-Asphalt-StB vier bis acht Wochen nach der Verkehrsfreigabe angeordnet wurde, von einer Reduzierung des Bindemittelüberschusses also nicht ausgegangen werden kann.

Analog zu den Ergebnisse der PWS-Messungen, vgl. Kapitel 6.1.6, ist bei den SRT-Messwerten, die zwei Jahre nach der Verkehrsfreigabe durchgeführt worden sind, eine deutliche Zunahme der Griffigkeit zu erkennen. Es ist davon auszugehen, dass hierfür der durch Verkehr und Witterung abgetragene Bitumenfilm verantwortlich ist. Die Messwerte lie-

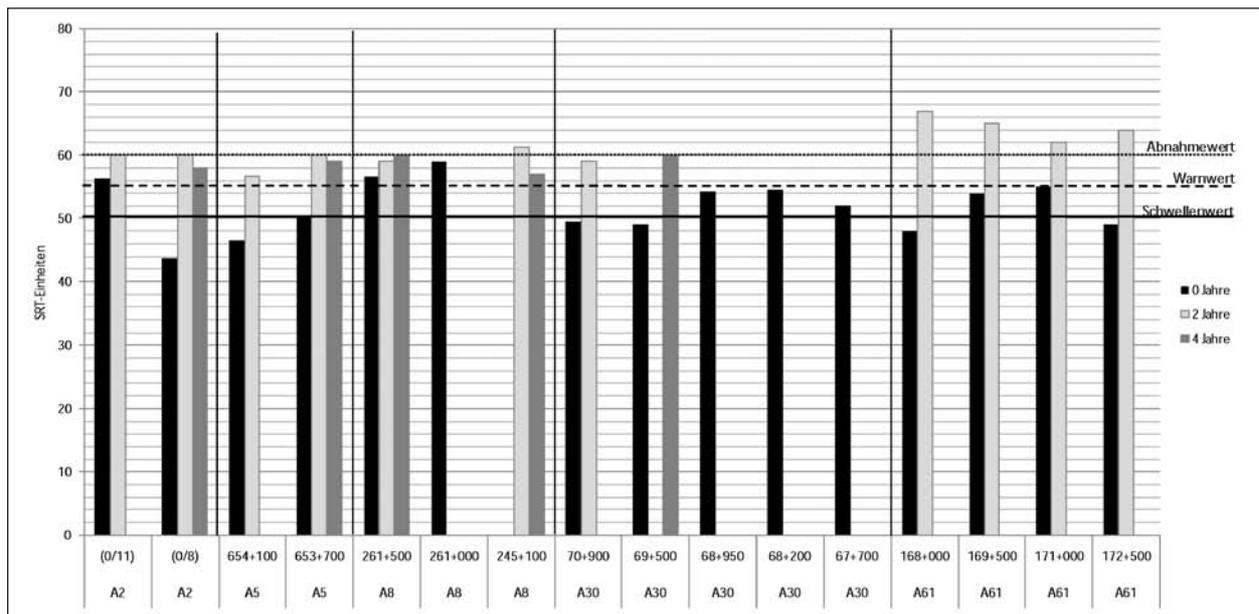


Bild 12: Ergebnisse der SRT-Messungen

gen im Mittel bei circa 60 SRT-Einheiten. Im Falle der Streckenabschnitte auf der BAB A 61 liegen die Messwerte etwas höher. Die SRT-Messwerte vier Jahre nach der Verkehrsfreigabe liegen gegenüber den Messwerten nach zwei Jahren geringfügig niedriger und im Falle des Abschnittes 261 + 500 der BAB A 8 etwas höher. Es ist zu beachten, dass diese Niveauunterschiede sich jedoch im Bereich der Messtoleranz von drei SRT-Einheiten befinden.

6.2.2 Korrelation zu den PWS-Messungen

Da die SRT-Messungen im Bereich der Bohrkernentnahmen oder direkt auf den Bohrkernoberflächen durchgeführt worden sind, ist ein Vergleich der mit der PWS-Prüfeinrichtung gemessenen Griffigkeitswerte möglich. In Bild 13 sind die SRT- und PWS-Messwerte beider Projektteile vergleichend, unabhängig von den Streckenabschnitten und Entnahmezeitpunkten, aufgetragen. Es ist ein Zusammenhang erkennbar, der mit Hilfe einer linearen Regression verdeutlicht wird. Da sowohl der Stichprobenumfang als auch Bestimmtheitsmaß R^2 relativ gering sind, kann diese Auswertung lediglich als Orientierungshilfe dienen. Zudem ist zu beachten, dass die niedrigen Griffigkeitswerte beider Messsysteme im vorliegenden Fall i. d. R. auf den zum Zeitpunkt der Verkehrsübergabe vorhandenen Bindemittelüberschuss zurückzuführen sind und nicht auf polierte Gesteinsoberflächen. Ausgehend von dieser Darstellung können in Anlehnung an das M BGriff und die ZTV Asphalt folgende Grenzwerte zur Beurteilung der PWS-Messungen genannt werden:

- Zielwert (65 SRT-Einheiten) 0,48 μ_{PWS}
- Abnahmewert (60 SRT-Einheiten) . . . 0,42 μ_{PWS}
- Warnwert (55 SRT-Einheiten) 0,35 μ_{PWS}
- Schwellenwert (50 SRT-Einheiten) . . 0,29 μ_{PWS}

Interessant festzustellen ist dabei, dass die so hergeleiteten PWS-Werte nahezu den Grenzwerten für die PWS-Prüfeinrichtung der 1. Gerätegeneration (Zielwert: 0,48 $\mu_{SRM,80}$ /Warnwert: 0,36 $\mu_{SRM,80}$ /Schwellenwert: 0,30 $\mu_{SRM,80}$), abgeleitet aus den Anforderungswerten für den Stuttgarter-Reibungsmesser (SRM), entsprechen, vgl. (HUSCHEK, DAMES, KANYI & LINDNER, 2002) und (HUSCHEK, 2004).

Es ist nochmals anzumerken, dass diese PWS-Werte aufgrund des geringen Stichprobenumfangs und des niedrigen Bestimmtheitsmaßes statistisch nicht abgesichert sind und daher nicht zu verallgemeinern sind.

Werden die so hergeleiteten Orientierungswerte auf die Ergebnisse der Prognoseprüfungen, vgl. Bild 7, angewendet, so ist festzustellen, dass die Messwerte der Prognoseprüfung, mit Ausnahme der Werte der BAB A 40, bei 180.000 Überrollungen oberhalb des Warnwertes liegen. Hierdurch wird die Anwendung dieser Anzahl von Überrollungen, vgl. Kapitel 6.1.5, als Kriterium für die Feststellung der Endgriffigkeit bestätigt.

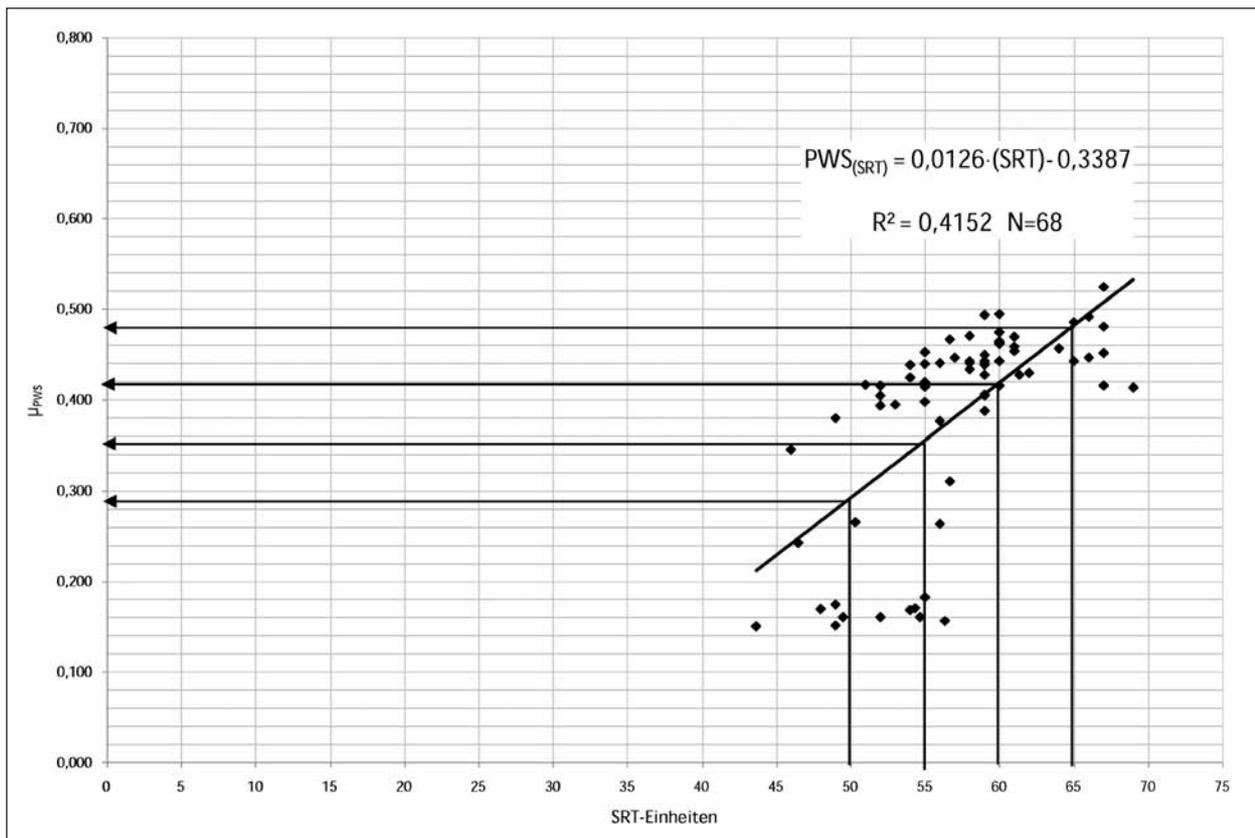


Bild 13: Zusammenhang von SRT-Messungen und PWS-Messungen an den Untersuchungsstreckenabschnitten

6.3 SKM-Messungen

Im Projektteil „Bestandsaufnahme“ wurde bereits auf die Besonderheiten der Griffigkeitsmessungen mit dem SKM auf offenporigen Asphaltdeckschichten eingegangen. So wurde u. a. festgestellt, dass im Gegensatz zu Messungen auf dichten Belägen nur eine geringe Geschwindigkeitsabhängigkeit festzustellen ist. Im vorliegenden Projektteil wurden die Griffigkeitsmessungen mit dem SKM daher nur zur Beurteilung der Griffigkeitsentwicklung und zum Vergleich mit den stationären Messverfahren SRT und PWS ausgewertet.

Als Datengrundlage dienten die regulären bauvertraglichen Abnahmemessungen nach der Verkehrsfreigabe, Messungen im Rahmen der periodischen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) sowie Messungen, die durch die BAST im Rahmen des Projektes durchgeführt worden sind. Die Messwerte sind als Streckenband pro Untersuchungsstreckenabschnitt in Anlage 1 dargestellt.

Bei der vergleichenden Betrachtung der Streckenbänder ist festzustellen, dass die Griffigkeit über die Länge der Untersuchungsstreckenabschnitte nahezu konstant ist. Die punktweise gemessenen Griff-

igkeiten mit den Messverfahren SRT und PWS sind somit repräsentativ für den jeweiligen Abschnitt.

Zum Zeitpunkt der Abnahme liegen alle betrachteten Streckenabschnitte auf einem vergleichbaren Griffigkeitsniveau von im Mittel $0,630 \mu_{SKM,80}$ (BAB A 40) bis $0,703 \mu_{SKM,80}$ (BAB A 2). Der Abnahmewert gemäß den ZTV Asphalt-StB von $0,46 \mu_{SKM,80}$ wird bei allen Streckenabschnitten erfüllt. Nach vier Jahren sind niedrigere Griffigkeitswerte festzustellen. Eine Ausnahme stellt der Abschnitt der BAB A 5 dar, bei dem die Griffigkeit nahezu gleich dem Abnahmewert geblieben ist. Alle Strecken erfüllen nach vier Jahren das Kriterium gemäß den ZTV Asphalt-StB von $0,40 \mu_{SKM,80}$ für den Zeitpunkt des Ablaufs der Verjährungsfrist für Mängelansprüche (vier bzw. fünf Jahre). Einen Vergleich der Griffigkeitsentwicklungen für jeweils den Bereich der Bohrkernentnahmen ist in Bild 14 dargestellt.

Der Vergleich der PWS- bzw. SRT-Werte mit den SKM-Werten zum Zeitpunkt der Abnahme ist insofern schwierig, als dass die bauvertraglichen Abnahmemessungen vier bis acht Wochen nach der Verkehrsfreigabe zu erfolgen haben, während die PWS- bzw. SRT-Messungen im Rahmen des Pro-

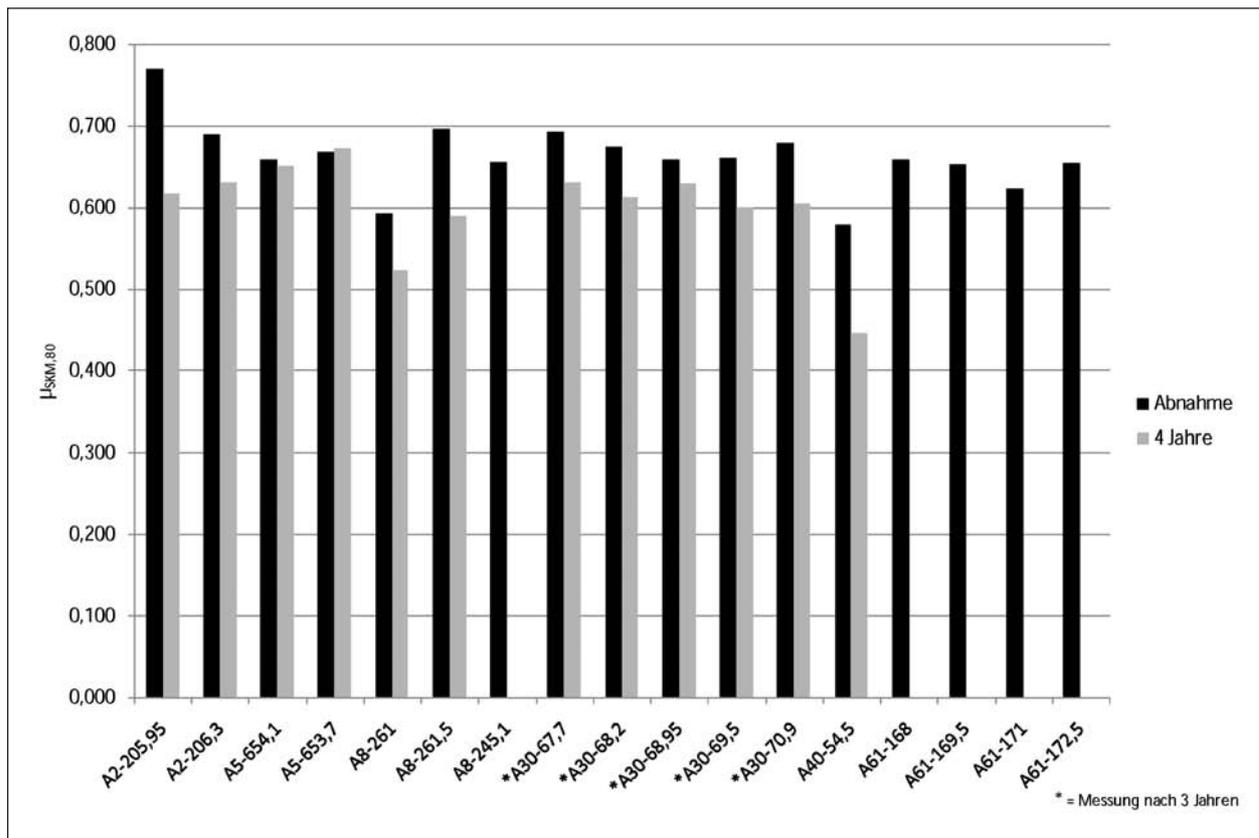


Bild 14: SKM-Werte im Bereich der Bohrkernentnahmestellen

jekt es unmittelbar vor oder nach der Verkehrsfreigabe durchgeführt worden sind. Wegen des bereits herausgestellten signifikanten Einflusses des Bindemittelüberschusses unmittelbar vor oder nach der Verkehrsfreigabe sollten SKM-, PWS- und SRT-Werte nur miteinander verglichen werden, wenn Sie im gleichen engen Zeitfenster gemessen worden sind. Wie schnell der Bindemittelüberschuss durch Verkehr und Witterung reduziert wird, kann anhand von SKM-Werten dargestellt werden, die auf dem Untersuchungsstreckenabschnitt der BAB A 61 mehrfach bis zu zwei Monaten nach der Verkehrsfreigabe gemessen worden sind. Bild 15 stellt Stichproben aus dieser Messreihe dar. Es ist zu erkennen, dass bei einer Verkehrsbelastung von rund 25.000 Kfz/24 h sich bereits ab der Messung an Tag 26 nach der Verkehrsfreigabe ein nahezu konstantes Griffigkeitsniveau einstellt, der Bindemittelüberschuss also abgetragen ist.

Aufgrund der Problematik der verschiedenen Messzeitpunkte, insbesondere bei Verkehrsfreigabe, und aufgrund der hierfür geringen Stichprobenanzahl ist die Aussagekraft des direkten Vergleiches von SKM- und PWS-Werten, wie sie in Bild 16 dargestellt sind, gering. Bei vergleichender Betrachtung aller Messwerte bestätigt sich beispielsweise für die

BAB A 5 der sehr geringe Griffigkeitsverlust (SKM) auch im Verlauf der PWS-Prognosekurve und dem PWS- bzw. SRT-Wert.

6.4 Texturaufnahmen

Die im Projektteil „Bestandsaufnahme“ durchgeführten Texturaufnahmen haben hinsichtlich des Projektziels keine wesentlichen Aussagen erbracht. Da im vorliegenden zweiten Projektteil sowohl unbelastete Proben sowie unterschiedlich belastete Proben vorlagen, wurden die Möglichkeiten der Texturaufnahme und deren Interpretation erneut geprüft. Zum Einsatz kamen das T3D-Messsystem sowie ein Digitalmikroskop. Beide Systeme erfassen die Oberflächentextur berührungslos mit optischen Verfahren, wobei das T3D-Messsystem nur den oberen Bereich der Mikrotextur erfassen kann, während das Digitalmikroskop eine detaillierte Betrachtung zulässt. Die Aufnahmen erfolgten im Labor an den Bohrkern- bzw. Walzsegmentoberflächen. Die Texturaufnahmen sollten dabei nicht als Ersatz für die Griffigkeitsmessungen dienen, sondern diese ergänzen und die Möglichkeiten der berührungslosen Texturaufnahme eruieren.

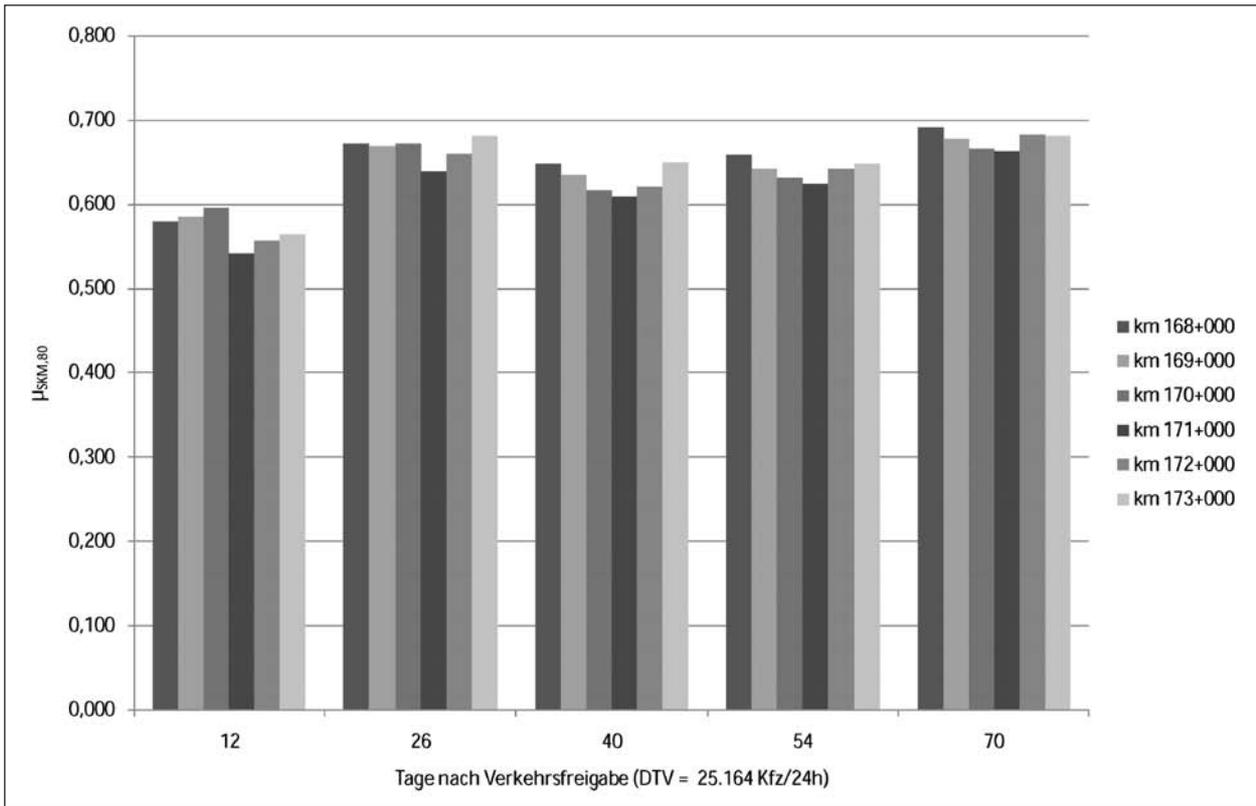


Bild 15: BAB A 61 – Ergebnisse der kurzfristigen SKM-Wiederholungsmessungen zur Dokumentation des zeitlichen Verlaufs der Anfangsgriffigkeit auf OPA

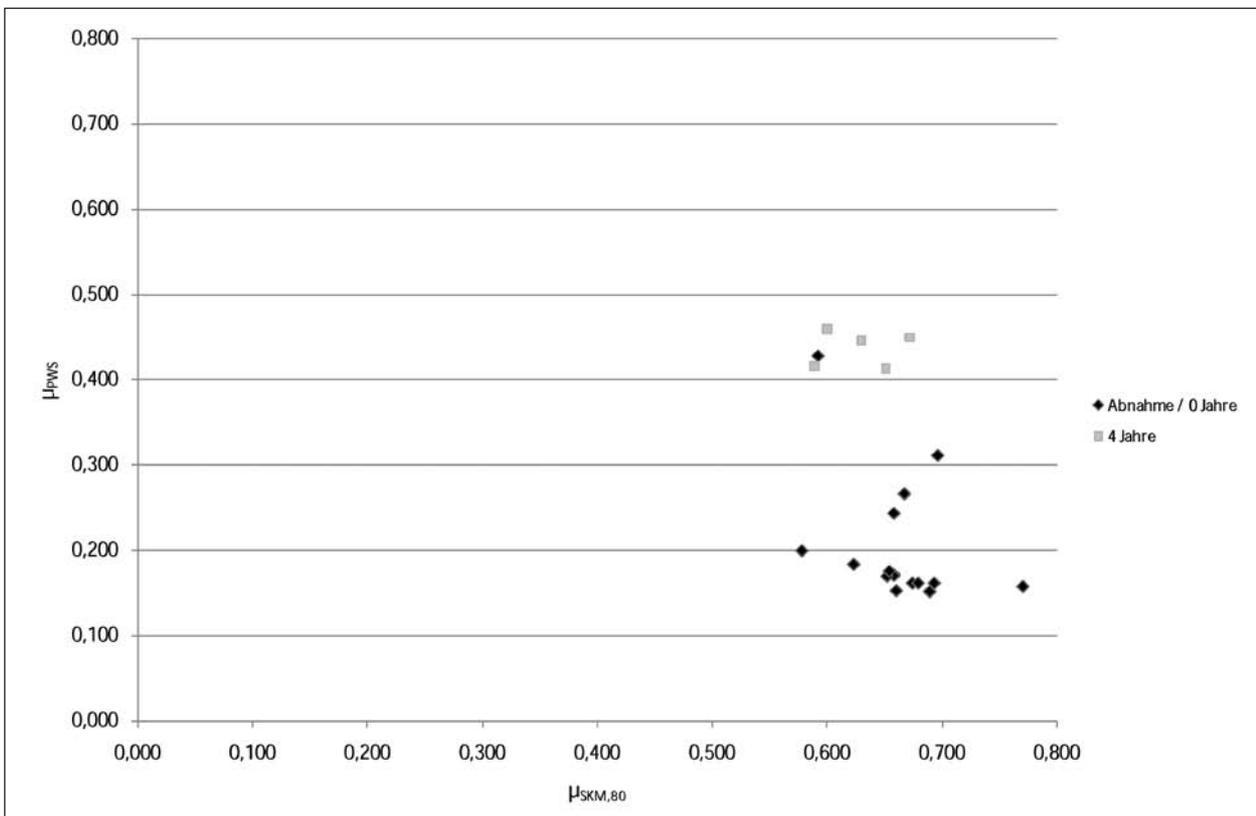


Bild 16: Vergleich der mit dem SKM und PWS gemessenen Griffigkeitswerte – Hinweis: Die SKM-Abnahmewerte sind nur bedingt vergleichbar mit den PWS-Nullmessungen, da die Einflüsse des anfänglichen Bitumenfilms nicht beachtet werden

6.4.1 Texturkenngößen

Die Aufbereitung von Texturaufnahmen und die Berechnung von Texturkenngößen können gemäß der DIN EN ISO 13473 (DIN, 2004) erfolgen, deren für den vorliegenden Fall relevante Inhalte im Folgenden zusammengefasst werden.

Die Berechnung und Bewertung von Texturkenngößen zur Charakterisierung der Oberflächenrauheit erfolgen in der Regel unter Angabe des betrachteten Wellenlängenbereiches, d. h., das aufgenommene Oberflächenprofil wird in Abschnitte mit gleicher Länge, die Wellenlänge λ , eingeteilt. Der Grenzwert zur Unterscheidung von Kenngrößen der Mikro- und Makrotextur auf Fahrbahnoberflächen liegt bei einer Wellenlänge von 500 μm , vgl. Bild 17. Das heißt, dass beispielsweise Rauheitselemente, die eine horizontale Ausdehnung kleiner 500 μm besitzen, der Mikrorauheit zuzuordnen sind.

Die Texturkenngößen beziehen sich immer auf eine Mittellinie. Die Lage der Mittellinie orientiert sich an dem Oberflächenprofil im betrachteten Wellenlängenbereich, hierdurch wird die Steigung des Profils, die keinen Einfluss auf die Rauheit besitzt, egalisiert. Die Mittellinie wird durch Einpassen einer Linie mit den kleinsten Abweichungsquadraten hergeleitet, d. h., es wird die Regressionsgerade mit dem größten Bestimmtheitsmaß R^2 verwendet. Die Texturkenngößen werden dann senkrecht zu dieser Mittellinie bzw. Regressionsgeraden abgelesen, vgl. Bild 18.

Zur Beurteilung der Rauheit werden folgende Texturkenngößen ausgewählt, die in Bild 19 zur Erklärung dargestellt sind:

- Ra – arithmetischer Mittenrauwert entspricht der durchschnittlichen Rauheit,
- Rz – gemittelte Rautiefe entspricht dem mittleren Abstand von Tal zu Spitze der größten Amplituden,
- Rt – maximale Rautiefe entspricht dem Maximum der Rz Einzelwerte,
- g – Gestaltfaktor Unterscheidung von „Plateau mit Schluchten“ (konkav/hohe Werte) oder „Gebirge mit Tälern“ (konvex/niedrige Werte) (nicht dargestellt).

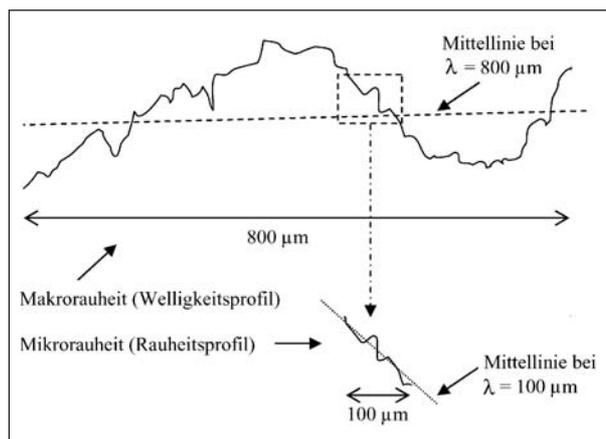


Bild 18: Einteilung des Oberflächenprofils in Rauheitsprofile

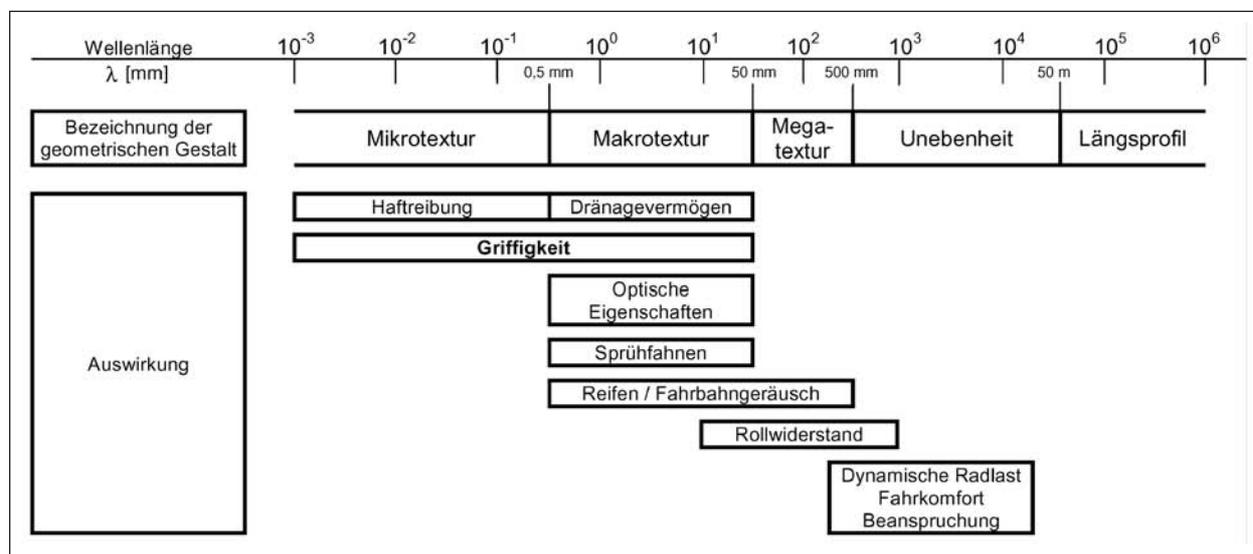


Bild 17: Wellenlängenspektrum der Fahrbahnoberfläche und deren Auswirkungen(FGSV, 2004)

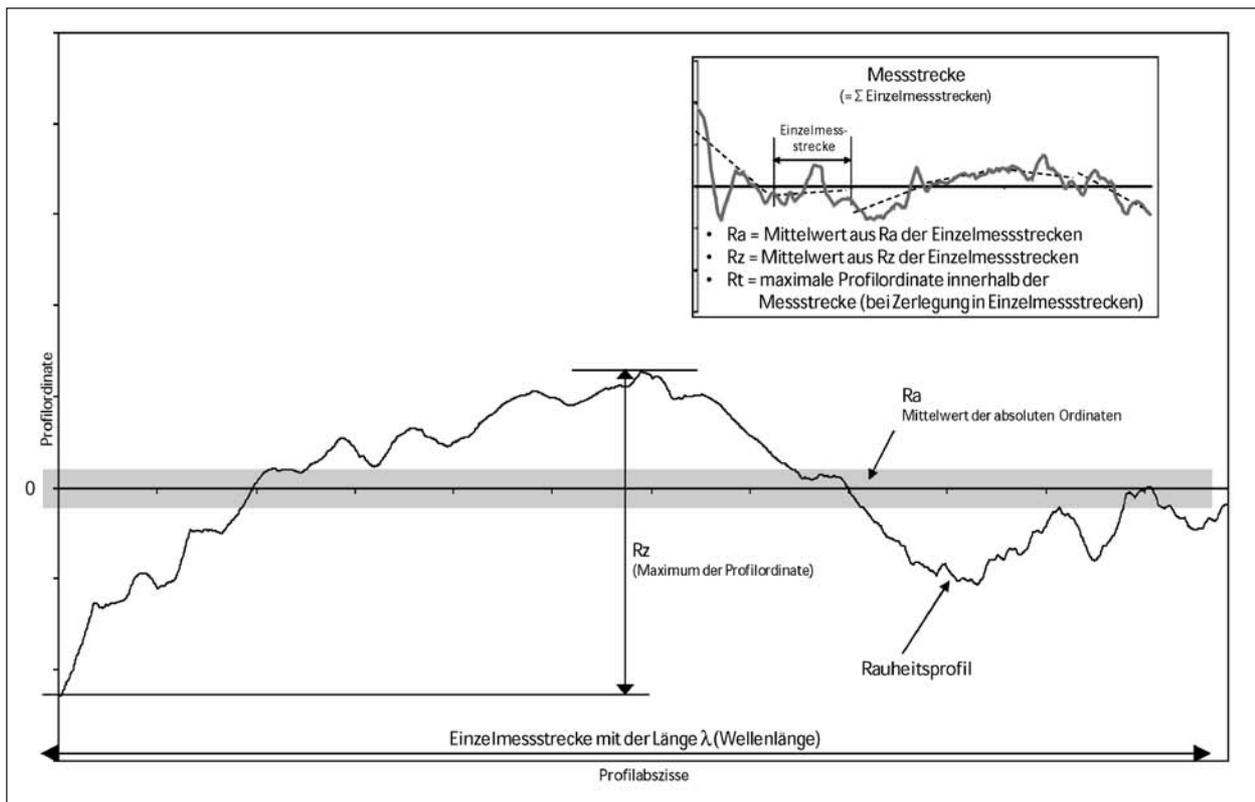


Bild 19: Texturkenngrößen

Die Texturkenngrößen R_a und R_z beziehen sich immer auf eine Einzelmessstrecke mit der gewählten Wellenlänge λ und werden, sofern nicht anders angegeben, als Mittelwert über alle Einzelmessstrecken einer Messstrecke angegeben. Zum Beispiel: Bei einer Messstreckenlänge von $3.000 \mu\text{m}$ und einer gewählten Wellenlänge von $500 \mu\text{m}$ wird der Mittelwert über $3.000/500 = 6$ Einzelmessstrecken gebildet. Zur qualitativen Beurteilung ist daher die zusätzliche Angabe der Standardabweichung notwendig.

Die Texturkenngröße R_t entspricht der maximalen Profilorinate innerhalb der gesamten Messstrecke, wenn diese in Einzelmessstrecken zerlegt wurde. Die Unterscheidung an dieser Stelle ist wichtig, da bei Angabe der maximalen Profilorinate diese durch den Bezug auf die Mittellinie der Einzelmessstrecke von der gewählten Wellenlänge abhängig ist.

Die Gestalt der Textur kann trotz gleicher Texturtiefen und gleicher Wellenlängenanteile sehr unterschiedlich sein. Zur Unterscheidung wird der Gestaltfaktor g verwendet. Hierzu wird die Tragflächenkurve oder Materialanteilskurve (Abbotkurve) aufgetragen, die definiert ist als Summenlinie der Ordinatenwerte innerhalb einer Messstrecke.

Der Tragflächenanteil bei halber Profiltiefe entspricht dem Gestaltfaktor g (BECKENBAUER et al., 2002).

6.4.2 T3D-Messsystem

Das T3D-Messsystem ist ausführlich im Projektteil „Bestandsaufnahme“ beschrieben worden. Es arbeitet nach dem Prinzip der Streifenprojektion, d. h., es wird ein Lichtstreifen unter einem bestimmten Winkel auf die Oberfläche projiziert, der von einer Digitalkamera aufgenommen wird. Aus der Lage des Lichtstreifens und aus den Grauwerten der aufgenommenen Bildpunkte kann das Höhenbild berechnet werden. Bei der Aufnahme wird ein Bereich von $40 \times 50 \text{ mm}$ erfasst und ausgewertet.

Da im Projektteil „Bestandsaufnahme“ die Texturaufnahmen mit dem T3D-Messsystem hinsichtlich des Projektziels keine wesentlichen Aussagen erbracht haben, wurden für den vorliegenden Projektteil zunächst nur Texturaufnahmen an ausgewählten Proben durchgeführt. Verwendet wurden Bohrkern aus dem Untersuchungsstreckenabschnitt km 261 + 500 der BAB A 8. Es wurden insgesamt vier Texturaufnahmen gemacht:

T3D-1..... unpolierte Fläche vor Verkehrsfreigabe,

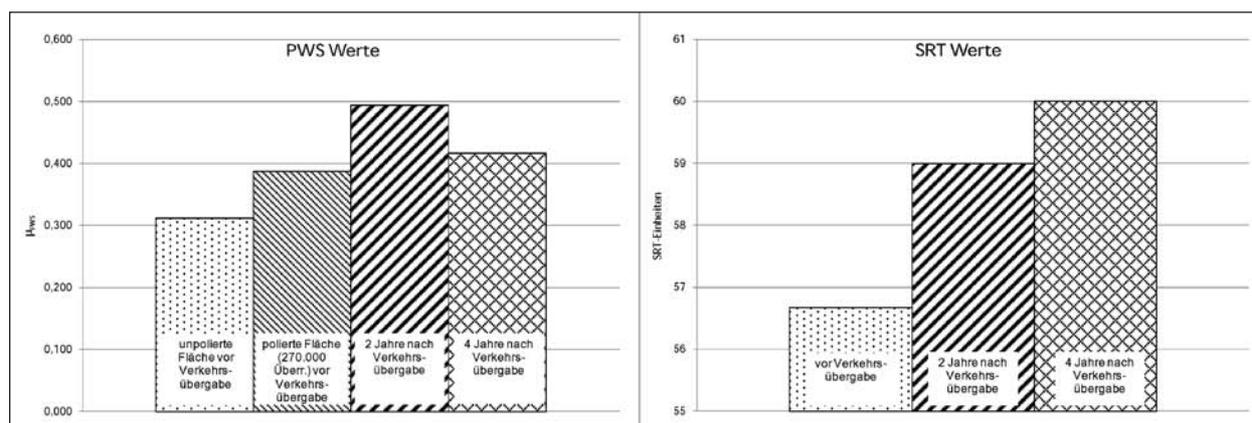


Bild 20: Vergleichswerte (PWS und SRT) zur Auswertung der Texturaufnahmen (BAB A 8, km 261 + 500)

T3D-2..... polierte Fläche (270.000 PWS-Überrollungen) vor Verkehrsfreigabe,

T3D-3..... unpolierte Fläche, 2 Jahre nach Verkehrsfreigabe,

T3D-4..... unpolierte Fläche, 4 Jahre nach Verkehrsfreigabe.

Es sollte geprüft werden, ob sich die durch Polierung, Verkehrs- und Witterungsbeanspruchung zu erwartende Änderungen insbesondere der Mikrotextur mit Hilfe der Texturaufnahmen nachweisen und evtl. quantifizieren lassen. Die Vergleichswerte in Form der Ergebnisse der PWS-Messungen, Prognoseprüfung und SRT-Messungen, die im Wesentlichen von der Mikrotextur beeinflusst werden, sind in Bild 20 dargestellt. Demnach ist mit einer für die Griffigkeit positiven Texturveränderung zwei Jahre nach der Verkehrsfreigabe und einer demgegenüber negativen Veränderung vier Jahre nach der Verkehrsfreigabe zu rechnen.

Zur Beurteilung der Texturveränderungen wurden die Makrotextur mit $\lambda = 8,0$ mm und die Mikrotextur mit $\lambda = 0,5$ mm ausgewertet.

In Bild 21 und Bild 22 sind die Texturkennwerte zur Beschreibung der Mikrotextur, respektive der Makrotextur, dargestellt. Es sind keine signifikanten Unterschiede vor und nach der PWS-Polierbeanspruchung (T3D-1 und T3D-2) festzustellen. Des Weiteren fällt auf, dass die Texturwerte nach zwei Jahren Verkehrsbelastung (T3D-3) eher eine schlechtere Griffigkeit vermuten lassen, was jedoch gegen die Aussage der Messwert vgl. Bild 20, spricht. Dies gilt ebenso bei der Betrachtung der Texturwerte bei vierjähriger Verkehrsbelastung (T3D-4). Der Gestaltfaktor g , vgl. Bild 23, hingegen, entspricht für die unter Verkehr gelegenen Ober-

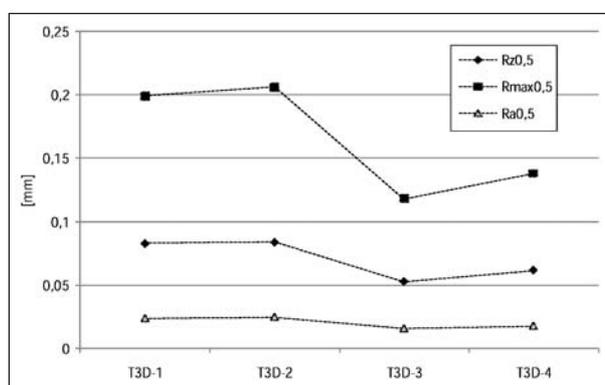


Bild 21: T3D-Aufnahmen – Mikrotextur $\lambda = 0,5$ mm – BAB A 8, km 261 + 500

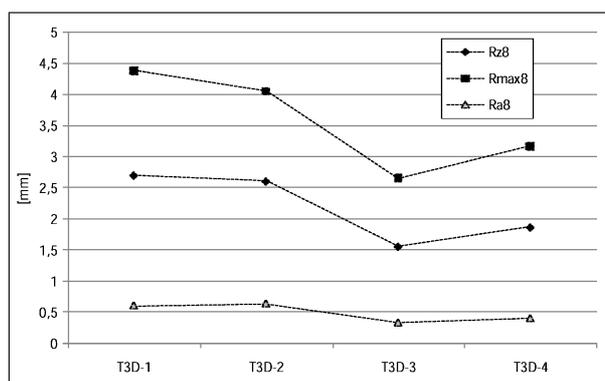


Bild 22: T3D-Aufnahmen – Makrotextur $\lambda = 8,0$ mm – BAB A 8, km 261 + 500

flächen (T3D-3 und T3D-4) den Erwartungen, dass sich mit zunehmender Verkehrsbelastung eine konkave Oberfläche ausbildet.

Die hier wesentlichen Veränderungen der Mikrotextur lassen sich weder qualitativ noch quantitativ durch die T3D-Aufnahmen nachweisen. Die Ergebnisse der SRT-Messungen lassen jedoch vermuten, dass geringe Veränderungen der Mikrotextur eingetreten sind.

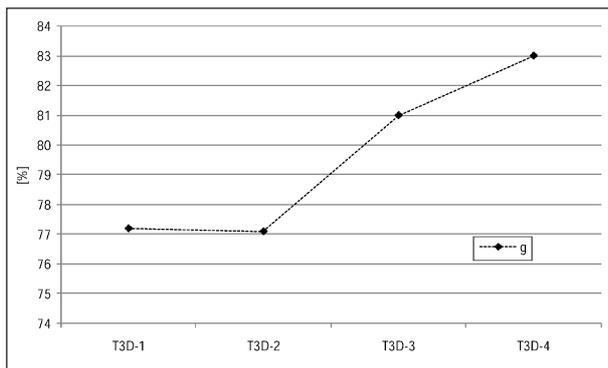


Bild 23: T3D-Aufnahmen – Gestaltfaktor – BAB A 8, km 261 + 500

Die Auflösung des T3D-Messsystems ist nicht ausreichend für die Aufnahme im Mikrotextrbereich der Gesteine. Sie sollte hierfür mindestens bei 0,003 mm (lateral) liegen. Das heißt, dass die für die Griffigkeit wesentlichen Anteile der Mikrotextr auf den Gesteinsoberflächen nicht hinreichend genau erfasst werden bzw. die „Poreneigenschaften“ des OPA über die Mikrotextr der Gesteinsoberflächen dominieren. Auf die Problematik der Beurteilung von offenporigen Oberflächen bei der Profilmessung wird in der tangierenden DIN EN ISO 13473-1 (DIN, 2004) hingewiesen. Des Weiteren kann vermutet werden, dass die Auswertung der Rauheitsparameter für den vorliegenden Fall nicht ausreichend ist. Es wurde daher auf weitere Aufnahmen verzichtet.

6.4.3 Digitalmikroskopie

Zur weiteren optischen und quantitativen Beurteilung der Oberflächentextr wurde ein Digitalmikroskop der Firma Keyence, Typ VHX 600-K/S15K, eingesetzt. Die Mikroskopeinheit, vgl. Bild 25, besteht aus zwei Objektiven mit unterschiedlichen Brennweiten (20fache bis 1.000fache Vergrößerung), zwei Stativtischen, einer Profilmesseinheit (elektrisches Stativ) und einem Steuerungscomputer.

Im Folgenden wird das Prinzip der Erstellung von dreidimensionalen Oberflächenprofilen beschrieben. In Anlage 3 werden grundlegende Untersuchungen zur Präzision der 3D-Aufnahmen mit dem Digitalmikroskop beschrieben, die im Rahmen des Projektes durchgeführt worden sind.

6.4.3.1 Prinzip und Möglichkeiten von 3D-Aufnahmen

Aufnahmen von Oberflächen mit dem Digitalmikroskop erlauben neben der klassischen Mikros-

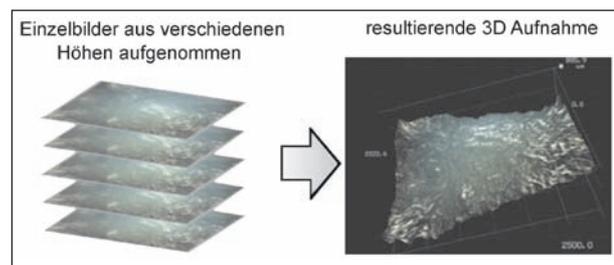


Bild 24: Prinzip der Erstellung von 3D-Aufnahmen mit dem Digitalmikroskop

kopie die Darstellung und Auswertung von dreidimensionalen Oberflächenprofilen. Hierzu werden mehrere Einzelbilder der Oberfläche aus verschiedenen Höhen aufgenommen und diese Einzelbilder zu einem 3D-Bild zusammengestellt, vgl. Bild 24. Möglich wird dies durch die geringe Tiefenschärfe der Aufnahmen, d. h., aus der Position der Kamera und des bekannten Tiefenschärfebereiches des Objektivs kann die Höhe der im Bild scharfen Bereiche abgeleitet werden. Sowohl die Erstellung der Aufnahmen als auch die Überlagerung und Berechnung der Höhen erfolgen rechnergesteuert durch den Steuerungscomputer.

Die Ausgabe erfolgt als Oberflächenprofilbild, aus dem einzelne oder mehrere Profillinien an frei wählbaren Positionen abgegriffen werden können, vgl. Bild 26. Die Ordinaten der Profillinien können zur weiteren Auswertung, beispielsweise mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogrammes, gespeichert werden. Bei der hier verwendeten Mikroskopeinheit sind 3D-Aufnahmen bei einer Vergrößerung von 100fach bis 1.000fach möglich, das bedingt, dass maximal ein Ausschnitt von 2.963 μm (2,9 mm) bei einer lateralen Auflösung von 1,85 μm betrachtet werden kann. Aufgrund des kleinen Ausschnitts beziehen sich die ableitbaren Texturkenngrößen primär auf die Gesteinsoberflächen und weniger auf einen repräsentativen Ausschnitt der gesamten Fahrbahnoberfläche.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit die 3D-Aufnahmen durch freie Rotation und Vergrößerung rein optisch zu beurteilen. Als Hilfestellung können die Höhenunterschiede durch eine Farbskalierung oder überhöhte Darstellung sichtbar gemacht werden sowie Distanzen, Volumen und Flächen zwischen frei wählbaren Punkten vermessen werden, vgl. Bild 27.



Bild 25: Digitalmikroskop (v. l.: Steuerungscomputer, Stativ 1, Stativ 2 mit Profilmesseinheit)

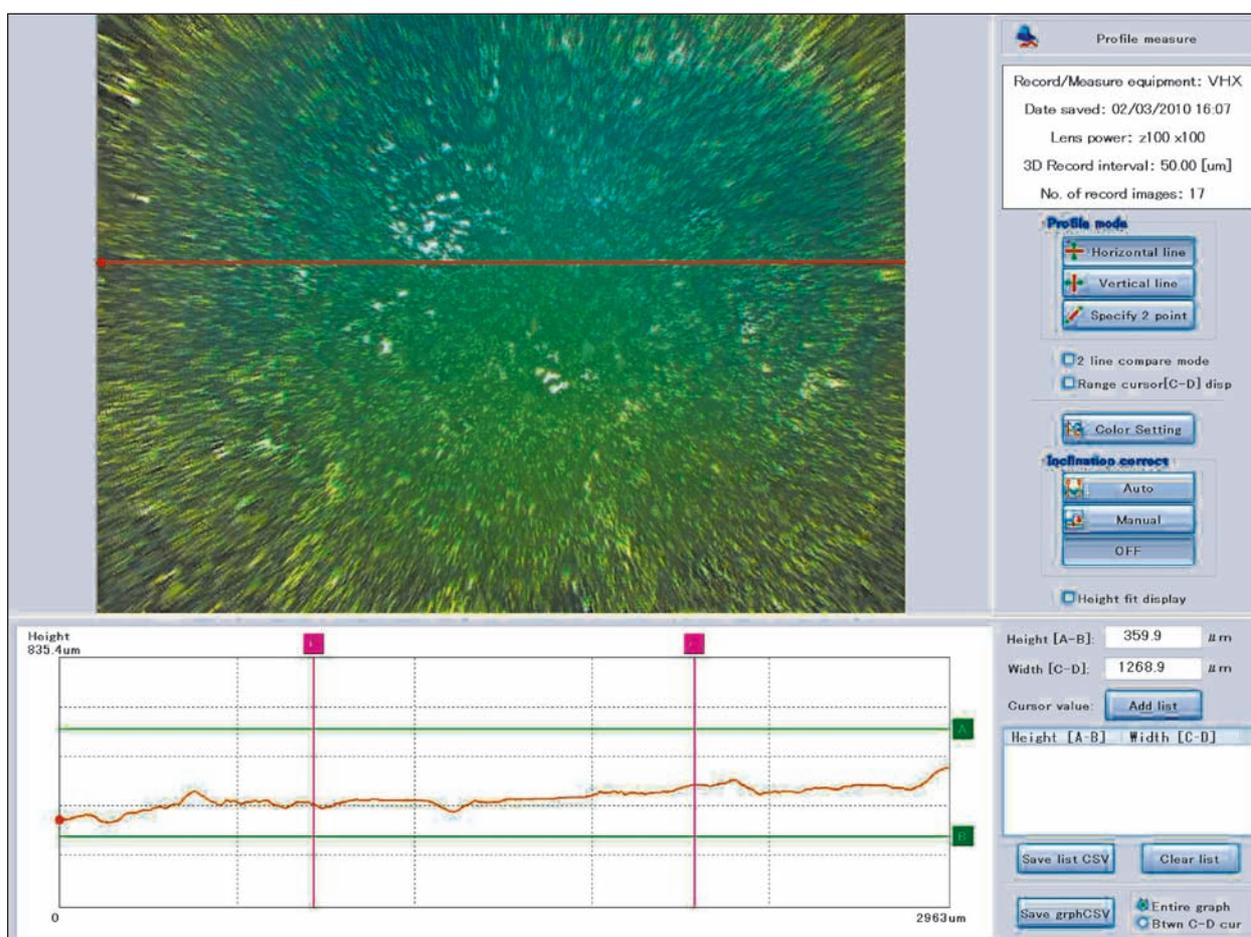


Bild 26: Beispiel für ein Oberflächenprofilbild mit einer Profillinie

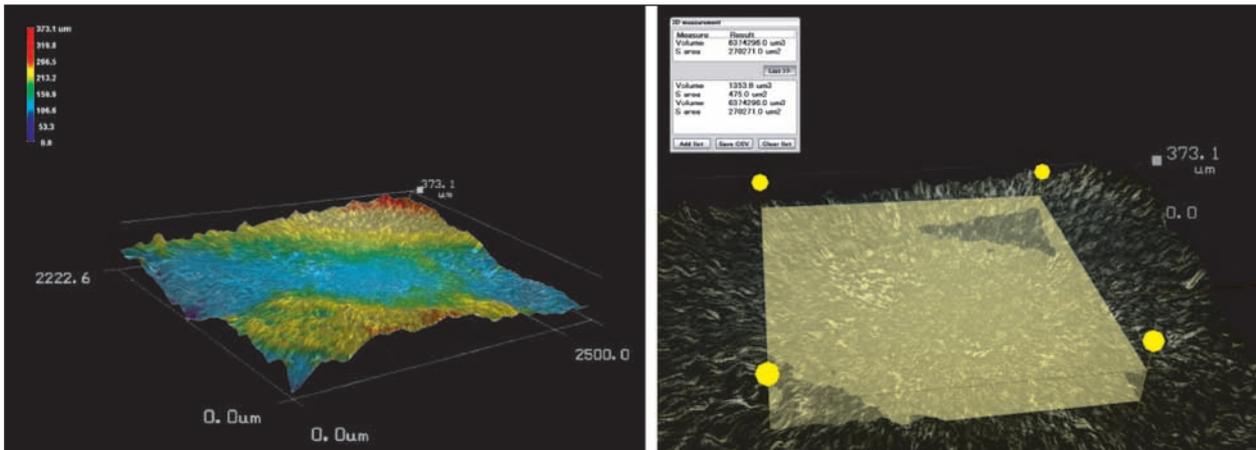


Bild 27: 3D-Aufnahme mit Höhenmarkierung (links) und mit Beispiel für Flächen-/Volumenmessung (rechts)

6.4.3.2 Auswertung der Mikroskopaufnahmen

Für verschiedene Untersuchungsstrecken wurden Texturaufnahmen bei unterschiedlichen Belastungszuständen (unbelastet, PWS-Polierung, 2 oder 4 Jahre Verkehrsbelastung) mit dem Digitalmikroskop erstellt. Aufgrund der kurzen Messstrecke von maximal 2,9 mm wurden acht Aufnahmen pro Probenoberfläche erstellt und für jede Aufnahme zwei Profillinien ausgewertet. Die Aufnahmepunkte wurden nach einem Raster gleichmäßig über die Probenoberfläche verteilt, vgl. Bild 28. Die Auswahl des einzelnen Gesteins am Rasterpunkt und der Aufnahmeposition erfolgte zufällig, jedoch so, dass die oben liegende Gesteinsoberfläche erfasst wird.

An jedem Aufnahmepunkt erfolgten eine 2D-Aufnahme mit 20facher und 100facher Vergrößerung sowie eine 3D-Aufnahme bei 100facher Vergrößerung. Die Profillinien wurden digital gespeichert und mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms ausgewertet. Die Texturkenngrößen wurden für die Wellenlängen 100, 200, 300, 400, 500 und 1.000 µm berechnet. Die Darstellung der Texturkenngrößen erfolgt, wenn nicht anders angegeben, als Mittelwert der 16 Einzelprofile.

In Bild 29 ist die mittlere Rauheit (R_a) vergleichbarer Probenoberflächen der BAB A 30 dargestellt. Da die Tendenzen der Werte unabhängig von der gewählten Wellenlänge ($< 500 \mu\text{m}$) sind, werden hier nur die Ergebnisse bei $\lambda = 300 \mu\text{m}$ dargestellt. Die Probe von km 70 + 900 wurde im unbeanspruchten Zustand (vor Verkehrsfreigabe) und nach 405.000 Überrollungen in der PWS-Prüfeinrichtung, ohne Vorbehandlung, betrachtet. Gleiches gilt für die Probe von km 68 + 950, nur dass hier eine Belastung durch 270.000 Überrollungen und eine Pro-

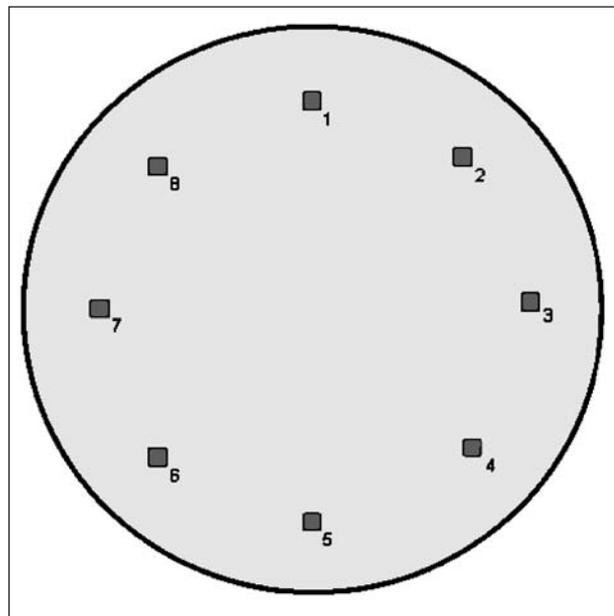


Bild 28: Verteilung der Aufnahmepunkte über die Probenoberfläche

benvorbehandlung durch Sandstrahlen erfolgten. Des Weiteren wird eine Probe von km 69 + 500 betrachtet, die zwei Jahre in situ durch Verkehr und Witterung belastet wurde. In der Abbildung sind zudem die zu den Mittelwerten gehörenden Standardabweichungen dargestellt sowie als Vergleichswerte die mit der PWS-Prüfeinrichtung gemessenen μ_{PWS} -Werte (zur besseren Darstellung mit dem Faktor 10 multipliziert).

Werden lediglich die Werte der belasteten Oberflächen betrachtet, so ist eine vergleichbare bzw. im Falle der Station km 69 + 500 eine ähnliche Reihung der Texturkenngröße und des PWS-Messwerts feststellbar. Werden zudem die Werte auf den unbelasteten Oberflächen betrachtet, so fällt auf,

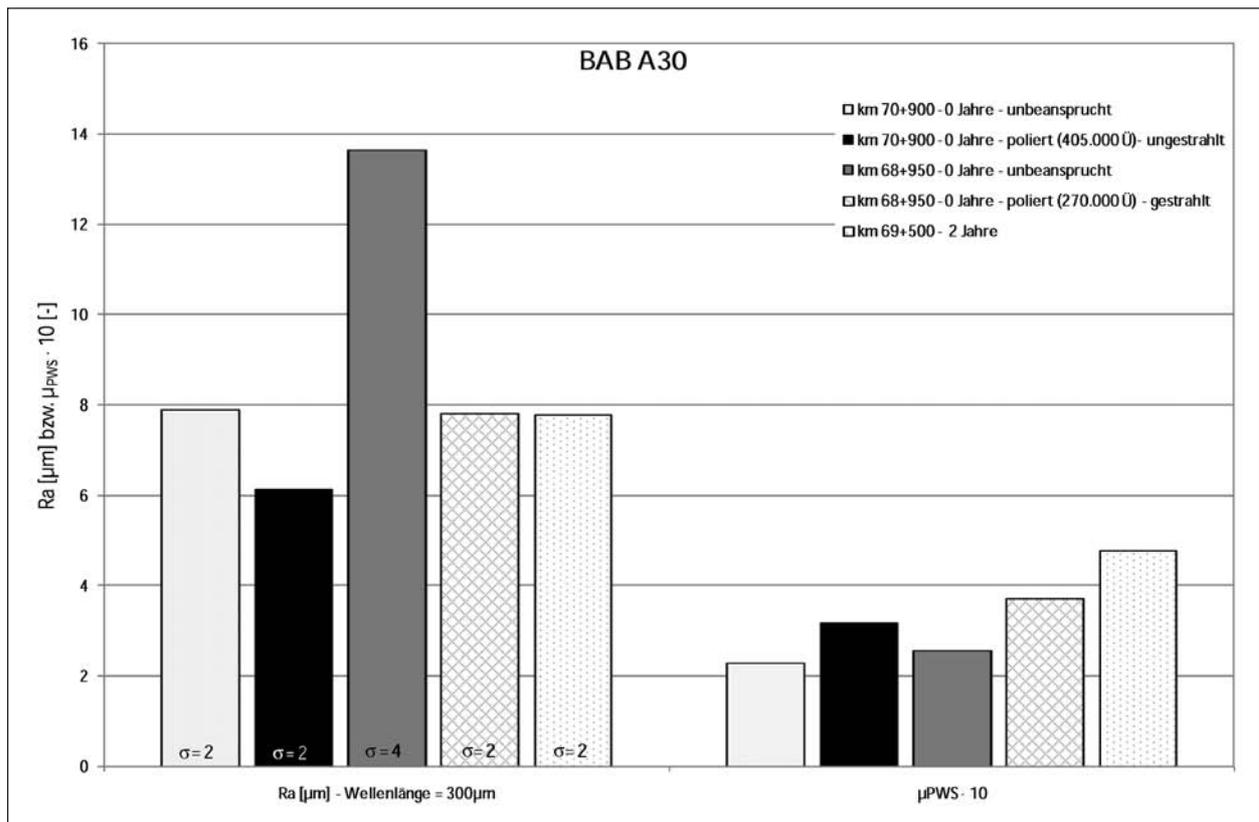


Bild 29: Texturkennwert Ra (mit Standardabweichung) und PWS-Werte (multipliziert mit Faktor 10) der BAB A 30 bei verschiedenen Belastungszuständen

dass diese Oberflächen wesentlich rauer sind, obwohl eine deutlich geringere Griffigkeit gemessen wird. Die optische Betrachtung der Probenoberfläche und die Betrachtung in 20facher und 100facher Vergrößerung zeigen, dass bei den unbelasteten Proben ein deutlicher Bindemittelfilm vorhanden ist, vgl. Bild 31. Dieser besitzt zwar, auch durch die Textur des überlagerten Gesteins, eine raue Oberflächenstruktur, die aber unter mechanischer Belastung keinen positiven Einfluss auf die Griffigkeit hat. Aufgrund der schwarz glänzenden Oberfläche des Bitumenfilms, der daraus resultierenden schwierigen Kontrastverhältnisse und starken Reflexionen sind zudem Ungenauigkeiten bei der Texturmessung zu erwarten. Weitere Auswertungen von Oberflächen aus der BAB A 5, A 8, A 30 und A 40 zeigen jedoch, dass die am Beispiel der BAB A 30 gezeigten schwachen Zusammenhänge der Texturkenngrößen – aufgenommen mit dem Digitalmikroskop – und der Griffigkeit nicht eindeutig reproduzierbar sind, vgl. Bild 30. Die Auswertungen wurden daher um weitere Parameter erweitert, welche die Schärfe der Gesteinsoberfläche beschreiben. Hierzu wurden die Parameter Kantenschärfe und Flächenschärfe ausgewertet, vgl. (SCHULZE, 2009).

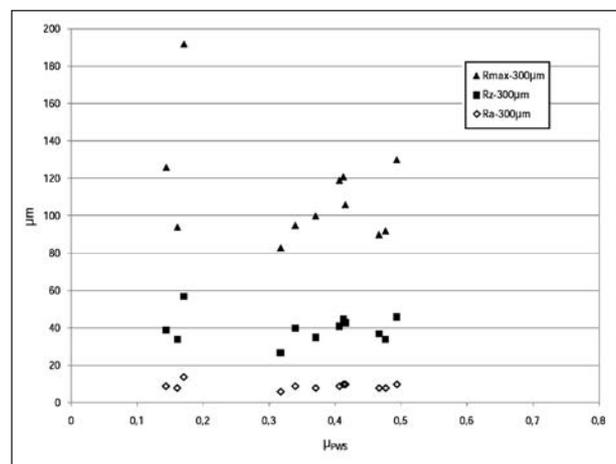


Bild 30: Zusammenhang der mit dem Digitalmikroskop ausgewerteten Texturparameter Rmax, Rz und Ra, jeweils bei $\lambda = 300 \mu\text{m}$, mit dem im gleichen Zustand gemessenen PWS-Wert

Durch die Kantenschärfe wird die Ausprägung der Kanten bzw. der Kuppen eines Kornumrisses quantitativ dargestellt. Die Kantenschärfe wird durch die Änderung der Steigung, also durch die zweite Ableitung des Höhenprofils, beschrieben, vgl. Bild 32. Abrupte Änderungen der Steigung, d. h. hohe Funktionswerte der zweiten Ableitung, kennzeichnen scharfe Kanten auf dem Gesteins-

korn. Da für den Bezug zur Griffigkeit nur die Kuppen der Kornoberfläche relevant sind, werden lediglich die negativen Werte der zweiten Ableitung betrachtet. Der Wert für die Kantenschärfe berechnet sich aus der Summierung der negativen Funktionswerte der zweiten Ableitung über die

Profillänge und wird hier relativ zur Profillänge angegeben.

Die Häufigkeitsverteilung der Differenz zwischen lokalen Maxima und Minima beschreibt die Flächenschärfe. Nach SCHULZE weisen glatte Ober-

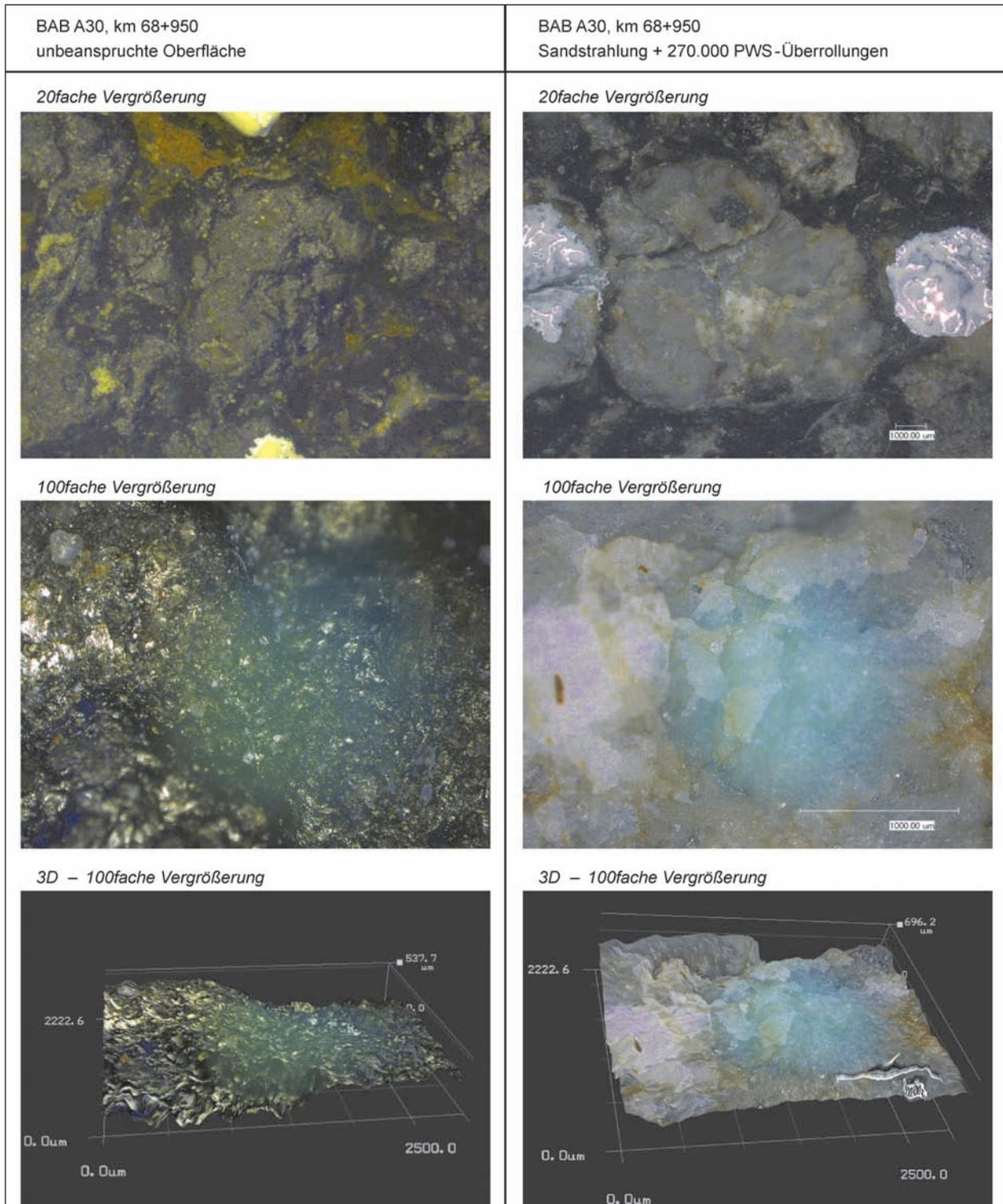


Bild 31: Mikroskopaufnahme im unbelasteten (links) und belasteten (rechts) Zustand (Anm.: Es handelt sich nicht um dieselbe Gesteinsoberfläche, aber um dieselbe Bohrkerndoberfläche)

flächen beispielsweise eine große Anzahl kleiner Höhendifferenzen auf, während raue Oberflächen sich durch eine hohe Anzahl großer Höhenunterschiede auszeichnen.

Die Parameter Kanten- und Flächenschärfe können zur Ableitung der Griffigkeit über eine Funktion miteinander verknüpft werden. Hierzu wurden zum Berichtszeitpunkt die Grundlagen im Rahmen eines Forschungsprojektes an der RWTH Aachen ge-

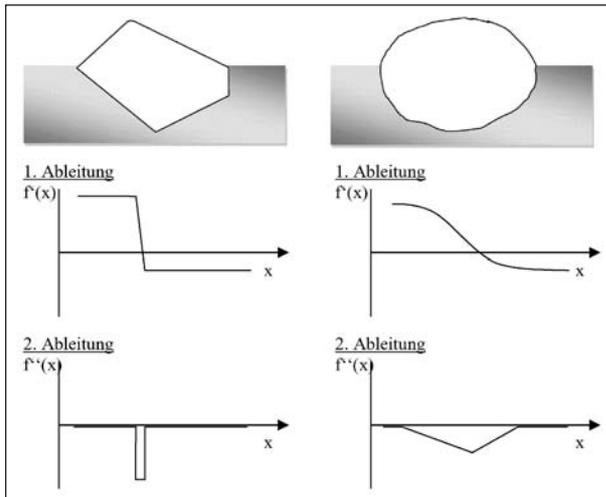


Bild 32: Beschreibung der Kanten- und Flächenschärfe am Beispiel eines kantigen und runden Gesteins (idealisierte Darstellung), vgl. (SCHULZE, 2009)

schaffen, weshalb eine derartige Auswertung an dieser Stelle nicht möglich ist. Bei der alleinigen Betrachtung des jeweiligen Parameters sind jedoch

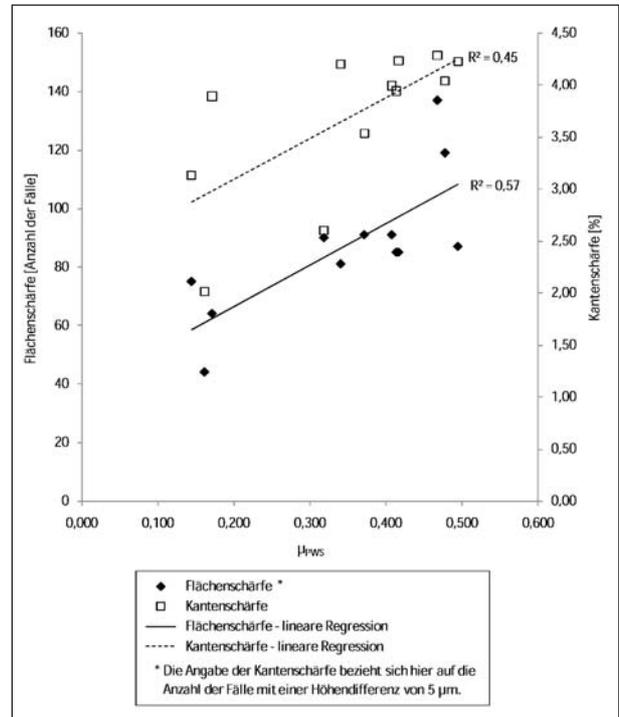


Bild 33: Zusammenhang von Kanten- und Flächenschärfe zu dem PWS-Wert verschiedener Oberflächen unterschiedlicher Belastungszustände

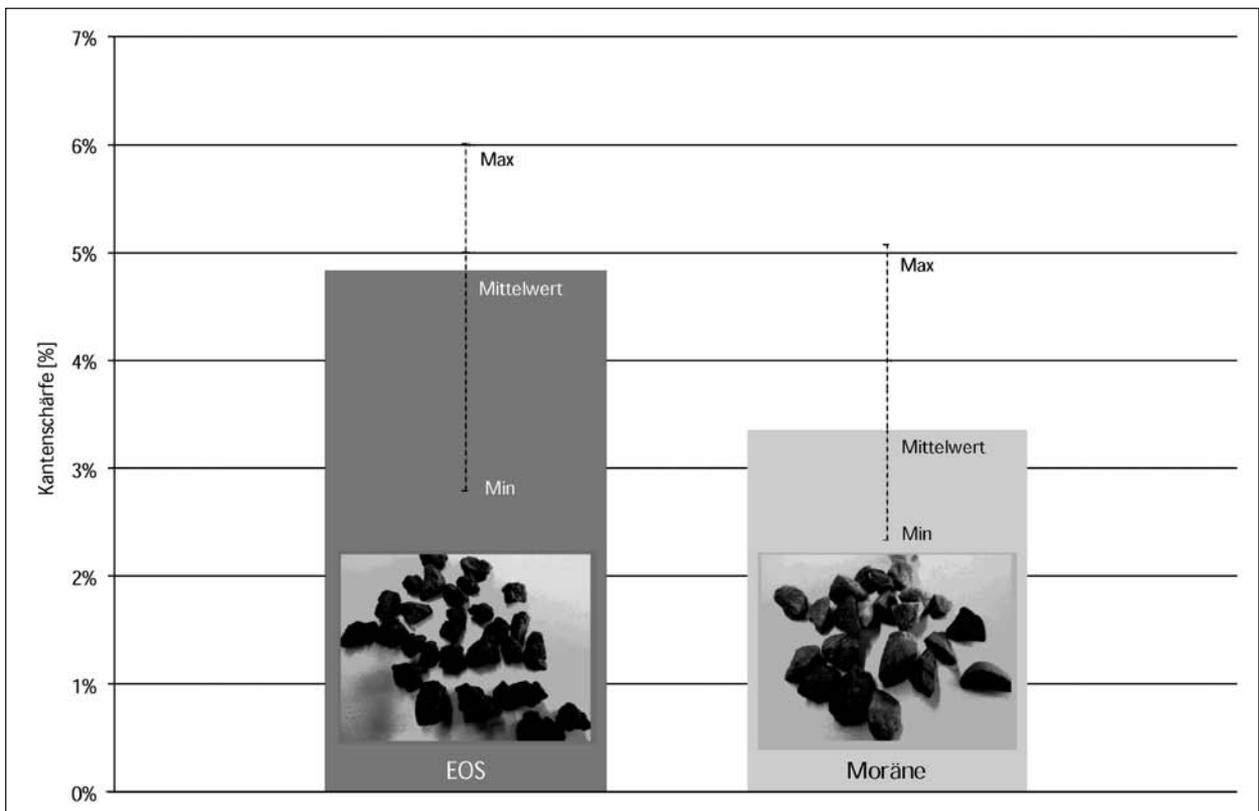


Bild 34: Auswertung der Kantenschärfe getrennt für die Gesteinsarten EOS und Moräne

Liste der OPA-Strecken auf BAB, Basisliste für Unfallauswertung										
Ild.Nr	BAB-Nr	Ort	Str-Typ	OPA-Bereich				Untersuchungszeitraum		Bemerkungen
				OPA-von	OPA-bis	OPA-Länge	Inbetriebnahme	Vorher	Nachher	
1	1	Schwerte	U	71,50	67,45	4,05	2000	97-99	01-03	
2	1	Schwerte	U	67,45	71,50	4,05	2001	98-00	02-04	
3	1	Schwerte	U	67,45	64,37	3,08	2002	99-01	04-05	
4	1	Schwerte	U	64,37	67,45	3,08	2003	00-02	04-06	
7	1	Schwerte	VGL	64,00	54,00	10,00				
8	1	Schwerte	VGL	54,00	64,00	10,00				Kontrollstrecke nicht offiziell bestätigt
9	2	Hannover	U	250,35	253,50	3,15	1998	96-97	99-00	
10	2	Hannover	U	209,19	202,60	6,59	1996			kein V-Zeitraum, Erneuerung in 2006
11	2	Hannover	U	202,64	209,19	6,56	1996			kein V-Zeitraum, Erneuerung in 2007/09
12	2	Hannover	VGL	240,70	244,60	3,90				Kontrollstrecke offiziell bestätigt
13	2	Peine	U	199,10	196,42	2,68	1998	96-97	99-00	
14	2	Peine	U	195,25	199,10	3,85	1998	96-97	99-00	
15	2	Peine	U	196,42	189,80	6,62	2002	99-01	03-05	
16	2	Peine	U	189,80	196,42	6,62	2002	99-01	03-05	
17	2	Peine	U	189,80	185,90	3,90	1997	96	98	
18	2	Peine	U	185,90	189,80	3,90	1998	96-97	99-00	
19	2	Braunsch.	U	175,90	169,00	6,90	2002	99-01	03-05	
20	2	Braunsch.	U	169,00	175,90	6,90	2002	99-01	03-05	
21	2	Braunsch.	U	169,70	158,00	11,70	1996-1998			kein V-Zeitraum
22	2	Braunsch.	U	155,00	169,70	14,70	1996-1998			kein V-Zeitraum
23	2	Braunsch.	U	153,71	146,74	6,97	1996-1998			kein V-Zeitraum
24	2	Braunsch.	U	146,74	153,71	6,97	1996-1998			kein V-Zeitraum
25	2	Helmstedt	U	140,50	136,00	4,50	1998-1999	96-97	00-01	
26	2	Helmstedt	U	136,00	140,50	4,50	1999	96-97	00-01	
27	2	Helmstedt	U	134,15	129,18	4,97	1998	96-97	99-00	
28	2	Helmstedt	U	129,18	134,15	4,97	1998	96-97	99-00	
29	2	diverse	VGL	202,60	134,15	45,76				Kontrollstrecke nicht offiziell bestätigt
30	3	Oberhausen	U	69,00	71,00	2,00	2001	98-00	02-04	
31	3	Oberhausen	U	71,00	69,00	2,00	2001	98-00	02-04	
32	3	Duisburg	VGL	83,00	85,00	2,00				
33	3	Duisburg	VGL	85,00	83,00	2,00				Kontrollstrecke nicht offiziell bestätigt
34	5	Baaden-Baader	U	655,80	652,90	2,90	2005			
35	5	Rastatt	U	652,90	651,00	1,90	2004			
36	5	Rastatt	U	651,00	648,10	2,90	2003			
37	5	Baaden-Baader	U	648,10	652,90	4,80	2004			
38	5	Baaden-Baader	U	652,90	655,80	2,90	2005			OPA auf allen Bereichen seit 1993-1997
39	8	Karlsbad	U	264,04	260,12	3,92	2005			- OPA auf beiden Richtungsfahrbahnen seit 1998/99
40	8	Rastatt	U	260,12	264,04	3,92	2005			- keine VGL-Strecke
41	9	Nürnberg	U	358,65	358,50	0,16	09/1998	96-97	99-00	
42	9	Nürnberg	U	365,39	358,65	6,74	09/2007	05-06	08-09	
43	9	Nürnberg	VGL	350,26	343,40	6,86				Kontrollstrecke offiziell gemeldet
44	9	Nürnberg	U	358,62	360,02	1,40	??/1998	96-97	99-00	
45	9	Nürnberg	U	360,02	365,15	5,13	09/2005	02-04	06-08	
46	9	Nürnberg	U	365,15	371,85	6,70	09/2006	03-05	07-09	
47	9	Nürnberg	VGL	343,40	350,26	6,86				Kontrollstrecke offiziell gemeldet
48	30	Osnabrück	U	66,90	72,10	5,20	01/2007	05-06	08-09	
49	30	Osnabrück	U	72,10	76,21	4,11	02/2008	07	09	
50	30	Osnabrück	U	76,21	72,12	4,80	10/2004	01-03	05-07	
51	30	Osnabrück	U	72,12	66,90	5,22	11/2005	02-04	06-08	
52	30	Osnabrück	VGL	76,90	82,30	5,40				
53	30	Osnabrück	VGL	82,30	76,90	5,40				Kontrollstrecke offiziell gemeldet
56	40	Mühlheim	U	52,82	56,18	3,36	07/2007	05-06	08-09	
57	40	Mühlheim	U	56,18	52,82	3,36	07/2007	05-06	08-09	
58	40	Mühlheim	VGL	47,10	52,82	5,72				
59	40	Mühlheim	VGL	52,82	47,10	5,72				offiziell gemeldete Kontrollstrecke verlängert und Gegenrichtung hinzugenommen
60	57	Dormagen	U	97,06	98,41	1,35	2005	02-04	06-08	
61	57	Dormagen	U	98,29	97,14	1,15	2004	01-03	05-07	
62	57	Dormagen	VGL	95,38	97,14	1,76				
63	57	Dormagen	VGL	99,22	98,29	0,93				Kontrollstrecke offiziell gemeldet
64	61	Meckenheim	U	167,45	173,70	6,25	07/2007	05-06	08-09	
65	61	Meckenheim	VGL	163,16	165,34	2,18				Kontrollstrecke offiziell gemeldet
66	96	Landsberg	U	129,70	134,30	4,60	2006			
67	96	Landsberg	U	134,30	139,70	5,40	2004			
68	96	Landsberg	U	139,70	133,60	6,10	2005			- OPA auf beiden Richtungsfahrbahnen seit 1991 bis 1996
69	96	Landsberg	U	133,60	129,70	3,90	2003			- kleine Fallzahlen (<10)
70	96	Landsberg	VGL	139,76	150,00	10,24				Kontrollstrecke offiziell bestätigt
71	99	München-West	U	5,39	7,23	1,84	2005			
72	99	München-West	U	7,23	9,89	2,66	1999			- Änderung der Betriebskilometrierung in 2000,
73	99	München-West	U	9,91	10,20	0,30	1998			- kleine Fallzahlen (< 5)
74	99	München-West	U	12,79	11,63	1,16	1999			- keine VGL-Strecke

Tab. 8: OPA-Untersuchungsstrecken auf BAB (grau unterlegte Strecken wurden nicht ausgewertet)

6.5.4 Ergebnisse der Unfallanalyse

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.

6.5.5 Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken

In Tabelle 9 ist die Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken bei allen Witterungslagen dargestellt. Dabei wurden die im Zeitraum 1996 bis 2009 regis-

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		866	783	-10%
- 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%
- A9 __ OPA-komplett		136	119	-13%
1 Schnaittach - Homersdorf FR Berlin 358,65-358,50	96-97 vs. 99-00	1	7	600%
2 Lauf - Schnaittach FR Berlin 365,39-358,65	05-06 vs. 08-09	47	23	-51%
3 Homersdorf - Lauf/Hersbruck FR München 358,62-360,02	96-97 vs. 99-00	4	5	25%
4 Lauf/Hersbruck- Lauf FR München 360,02-365,15	02-04 vs. 06-08	41	38	-7%
5 Lauf - Nürnberg FR München 365,15-371,85	03-05 vs. 07-09	43	46	7%
- A30 __ OPA-komplett		58	54	-7%
1 Hasbergen-Gaste- OS-Sutthausen FR B-Oeynhsn 66,90- 72,10	03-05 vs. 07-09	19	25	32%
2 OS-Hellern - Kreuz OS-Süd FR B-Oeynhsn 72,10- 76,21	2007 vs. 2009	6	2	-67%
3 Kreuz OS-Süd - OS-Hellern FR Niederl. 76,21- 72,12	01-03 vs. 05-07	14	18	29%
4 OS-Sutthausen - Hasbergen-Gaste FR Niederl. 72,12- 66,90	02-04 vs. 06-08	19	9	-53%
- A40 __ OPA-komplett		36	30	-17%
1 Mülh.-Winkhausen - Essen-Frohnhausen FR Dortmund 52,82- 56,18	05-06 vs. 08-09	27	18	-33%
2 Essen-Frohnhausen- Mülh.-Winkhausen FR Duisburg 56,18- 52,82	05-06 vs. 08-09	9	12	33%
- A57 __ OPA-komplett		17	8	-53%
1 Neuss-Süd - Dormagen FR Köln 97,06- 98,41	02-04 vs. 06-08	8	3	-63%
2 Dormagen - Neuss-Süd FR NL 98,29- 97,14	01-03 vs. 05-07	9	5	-44%
- A61 __ OPA-komplett		7	12	71%
1 Miel - Meckenheim FR Süd 167,45- 173,70	05-06 vs. 08-09	7	12	71%

U(P): Unfälle mit Personenschaden
U(SS): Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (mindestens ein Fahrzeug war nicht mehr fahrbereit)

BAST-U2p-41/2010

Tab. 9: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf OPA-Strecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum

trierten 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 A 2 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 137 km) ergibt sich ein Rückgang der Unfälle mit Personenschaden und der schwerwiegenden Unfälle mit Sachschaden um 10 % (vgl. Tabelle 9).

Dieser Rückgang zeigt sich nicht auf allen Teilstrecken. Auf 13 der 25 OPA-Teilstrecken sind Rückgänge zu beobachten. Die Rückgänge fallen überwiegend deutlicher aus als die Anstiege. Auf der A 1 zeigt sich eine uneinheitliche Entwicklung. Während auf Teilstrecke 1 und 2 deutliche Anstiege zu verzeichnen sind, hat sich im anschließenden Teilbereich 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 A 1 aus und betrachtet den Zeitraum 1997-99 gegenüber 2004-06, so ergibt sich auf den OPA-Strecken ein Rückgang der Unfälle um 39 %. Dieser Rückgang wird insbesondere durch die Teilstrecke 1 geprägt. Auf dieser Teilstrecke wurden in diesem veränderten Nachherzeitraum (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 möglicherweise der deutliche Rückgang der Unfallzahlen erst 3 Jahre nach Einführung der OPA-Deckschicht dann erklärt werden.

Die extrem ungünstige Veränderung auf der A 3 zwischen der Anschlussstelle OB-Holten und Oberhausen-West in Fahrtrichtung Passau kann aufgrund der vorliegenden Informationen nicht eindeutig geklärt werden. In beiden Fahrtrichtungen war von 1996 bis 2000 eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 120 km/h angeordnet, die mit Fertigstellung der OPA-Deckschicht aufgehoben wurde.

Ebenfalls wurden bereits ab 1998 Unfälle in Arbeitsstellen registriert, sodass von einer „normalen“ Verkehrssituation nicht ausgegangen werden kann. Im Nachher-Zeitraum gab es auf beiden Richtungsfahrbahnen weder Tempolimit noch Unfälle in Arbeitsstellen. Die uneinheitliche Unfallentwicklung auf beiden Richtungsfahrbahnen muss demnach andere Ursachen haben. Auch eine Verlängerung des Vorher-/Nachher-Zeitraums auf 5 Jahre zeigt einen Anstieg der Unfallzahlen um 89 % (von 23 im Zeitraum 1996-2000 auf 61 im Zeitraum 2002-2006).

6.5.6 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 -20 %), die sogar stärker ausfallen als die Rückgänge auf den OPA-Strecken. Da jedoch nur 36 km Kontrollstrecken von den Ländern offiziell bestätigt wurden und der mögliche Einfluss örtlicher Besonderheiten bei der geringen Streckenlänge zu groß erschien, wurde ein neuer Ansatz für die Auswahl der Kontrollstrecken getroffen.

Es wurden die von der OPA-Einführung nicht betroffenen Bereiche der BAB im jeweiligen Bundesland bzw. Regierungsbezirk ausgewählt. Dabei wurden auch die zunächst ausgewählten Kontrollstrecken – wegen ihrer räumlichen Nähe – aus diesem neuen erweiterten Kollektiv ausgeschlossen. Es ergeben sich die in Tabelle 10 aufgeführten „erweiterten“ 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 Nachher-Zeitraum (-8 %, vgl. Tabelle 10). Auch die einzelnen Zeiträume treten bis auf zwei Ausnahmen durch Rückgänge hervor.

Der direkte Vergleich der OPA-Strecken mit den Kontrollstrecken zeigt auf vier BAB stärkere Rückgänge im Bereich der OPA-Deckschicht und ebenfalls auf vier BAB stärkere Rückgänge auf den erweiterten Kontrollstrecken.

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	25.547	23.464	-8%
- 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: 2000-2002, Nachher: 2004-2006	1.096	878	-20%
- A2 ___ in Niedersachsen gesamt	8.102	6.899	-15%
1 verschiedene Zeiträume aggregiert	2.999	2.435	-19%
2 Vorher: 1996, Nachher: 1998	1.300	1.208	-7%
3 Vorher: 1996-1997, Nachher: 2000-2001	2.686	2.481	-8%
4 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%
- A9 ___ in BY, Regierungsbezirk Ober- und Mittelfranken	8.276	8.453	2%
1 Vorher: 1996-1997, Nachher: 1999-2000	1.545	2.020	31%
2 Vorher: 2005-2006, Nachher: 2008-2009	1.555	1.363	-12%
3 Vorher: 2002-2004, Nachher: 2006-2008	2.560	2.621	2%
4 Vorher: 2003-2005, Nachher: 2007-2009	2.616	2.449	-6%
- A30 ___ in NI, Landkreis+Stadtkreis Osnabrück	381	320	-16%
1 Vorher: 2003-2005, Nachher: 2007-2009	110	88	-20%
2 Vorher: 2007 Nachher: 2009	40	22	-45%
3 Vorher: 2001-2003, Nachher: 2005-2007	124	117	-6%
4 Vorher: 2002-2004, Nachher: 2006-2008	107	93	-13%
- A40 ___ in NW, Regierungsbezirk Düsseldorf	619	566	-9%
1 Vorher: 2005-2006, Nachher: 2008-2009	619	566	-9%
- A57 ___ in NW, Regierungsbezirk Düsseldorf	1.947	1.585	-19%
1 Vorher: 2002-2004, Nachher: 2006-2008	924	771	-17%
2 Vorher: 2001-2003, Nachher: 2005-2007	1.023	814	-20%
- A61 ___ in NW, Regierungsbezirk Köln	349	247	-29%
1 Vorher: 2005-2006, Nachher: 2008-2009	349	247	-29%
U(P): Unfälle mit Personenschaden			BAST-U2p-41/2010
U(SS): Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (mindestens ein Fahrzeug war nicht mehr fahrbereit)			

Tab. 10: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum

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 (vgl. Tabelle 9).

6.5.7 Unfallentwicklung bei Nässe

In einem weiteren Schritt wurden – analog zur bisherigen Systematik – Unfälle auf nasser Fahrbahn ausgewertet (vgl. Tabelle 11). Wegen der teilweise sehr kleinen Fallzahlen ist die Aussagekraft einzelner Teilstrecken eingeschränkt.

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) ¹⁾		
		Vorher	Nachher	Ver- änderung in %	Vorher	Nachher	Ver- änderung in %
- Alle OPA-Strecken		283	213	-25%	9.377	9.141	-3%
- A1 __ OPA-komplett		118	96	-19%	1.860	1.565	-16%
1 Schwerte FR Köln 71,50- 67,45	97-99 vs. 01-03	61	44	-28%	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%	2.609	2.495	-4%
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%
- A9 __ OPA-komplett		38	26	-32%	3.116	3.415	10%
1 Schnaittach - Hornersdorf FR Berlin 358,65-358,50	96-97 vs. 99-00	0	2	-	496	680	37%
2 Lauf - Schnaittach FR Berlin 365,39-358,65	05-06 vs. 08-09	10	9	-10%	660	587	-11%
3 Hornersdorf - Lauf/Hersbruck FR München 358,62-360,02	96-97 vs. 99-00	0	1	-	496	680	37%
4 Lauf/Hersbruck- Lauf FR München 360,02-365,15	02-04 vs. 06-08	15	7	-53%	1.000	1.057	6%
5 Lauf - Nürnberg FR München 365,15-371,85	03-05 vs. 07-09	13	7	-46%	960	1.091	14%
- A30 __ OPA-komplett		16	14	-13%	92	94	2%
1 Hasbergen-Gaste- OS-Sutthausen FR B-Oeynhsn 66,90- 72,10	03-05 vs. 07-09	4	10	150%	23	24	4%
2 OS-Hellern - Kreuz OS-Süd FR B-Oeynhsn 72,10- 76,21	2007 vs. 2009	1	0	-100%	12	7	-42%
3 Kreuz OS-Süd - OS-Hellern FR Niederl. 76,21- 72,12	01-03 vs. 05-07	3	4	33%	31	34	10%
4 OS-Sutthausen - Hasbergen-Gaste FR Niederl. 72,12- 66,90	02-04 vs. 06-08	8	0	-100%	26	29	12%
- A40 __ OPA-komplett		22	14	-36%	280	249	-11%
1 Mülh.-Winkhausen - Essen-Frohnhausen FR Dortmund 52,82- 56,18	05-06 vs. 08-09	17	7	-59%	280	249	-11%
2 Essen-Frohnhausen- Mülh.-Winkhausen FR Duisburg 56,18- 52,82	05-06 vs. 08-09	5	7	40%	280	249	-11%
- A57 __ OPA-komplett		4	2	-50%	686	531	-23%
1 Neuss-Süd - Dormagen FR Köln 97,06- 98,41	02-04 vs. 06-08	3	2	-33%	319	250	-22%
2 Dormagen - Neuss-Süd FR NL 98,29- 97,14	01-03 vs. 05-07	1	0	-100%	367	281	-23%
- A61 __ OPA-komplett		2	5	150%	81	72	-11%
1 Miel - Meckenheim FR Süd 167,45- 173,70	05-06 vs. 08-09	2	5	150%	81	72	-11%

U(P): Unfälle mit Personenschaden
U(SS): Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (mindestens ein Fahrzeug war nicht mehr fahrbereit)
¹⁾ Kontrollstrecken mit identischen Zeiträumen wurden bei der Summierung nur einmal berücksichtigt.

BASU-U2p-41/2010

Tab. 11: Entwicklung der U(P) und U(SS) auf nasser Fahrbahnoberfläche auf OPA- und den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum

Auf den zusammengefassten OPA-Strecken ist die Anzahl der Nässeunfälle mit -25 % deutlich stärker zurückgegangen als auf den erweiterten Kontrollstrecken (-3 %, vgl. Tabelle 11). Dieser Rückgang ist statistisch signifikant.

Die einzigen OPA-Strecken, die keine Verbesserungen aufweisen, sind die A 61 und die A 3. Hier ist die Entwicklung bei Nässe sogar noch ungünstiger als auf trockener Fahrbahn. Allerdings wurden auf

diesen beiden Strecken nur wenige Unfälle registriert. Auf der BAB A 3 zeigt auch eine Verlängerung des Untersuchungszeitraumes auf 5 Jahre keine bessere Entwicklung.

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. Auf den erweiterten Kontrollstrecken

Anteil der Unfälle auf NASSER Fahrbahnoberfläche an allen Unfällen	Betrachtete Zeiträume	Untersuchungs- strecke		Kontrollstrecke (sonstige Bereiche der BAB im entspr. Bundesland) (nicht OPA nicht VGL)	
		Vorher individ.	Nachher individ.	Vorher individ.	Nachher individ.
- Alle OPA-Strecken		33%	27%	37%	39%
- A1 __ OPA-komplett		42%	33%	45%	42%
1 Schwerte FR Köln 71,50- 67,45	97-99 vs. 01-03	41%	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 Amheim 71,00- 69,00	98-00 vs. 02-04	17%	36%	38%	42%
- A9 __ OPA-komplett		28%	22%	38%	40%
1 Schnaittach - Homersdorf FR Berlin 358,65-358,50	96-97 vs. 99-00	0%	29%	32%	34%
2 Lauf - Schnaittach FR Berlin 365,39-358,65	05-06 vs. 08-09	21%	39%	42%	43%
3 Homersdorf - Lauf/Hersbruck FR München 358,62-360,02	96-97 vs. 99-00	0%	20%	32%	34%
4 Lauf/Hersbruck- Lauf FR München 360,02-365,15	02-04 vs. 06-08	37%	18%	39%	40%
5 Lauf - Nürnberg FR München 365,15-371,85	03-05 vs. 07-09	30%	15%	37%	45%
- A30 __ OPA-komplett		28%	26%	24%	29%
1 Hasbergen-Gaste- OS-Sutthausen FR B-Oeynhsn 66,90- 72,10	03-05 vs. 07-09	21%	40%	21%	27%
2 OS-Hellern - Kreuz OS-Süd FR B-Oeynhsn 72,10- 76,21	2007 vs. 2009	17%	0%	30%	32%
3 Kreuz OS-Süd - OS-Hellern FR Niederl. 76,21- 72,12	01-03 vs. 05-07	21%	22%	25%	29%
4 OS-Sutthausen - Hasbergen-Gaste FR Niederl. 72,12- 66,90	02-04 vs. 06-08	42%	0%	24%	31%
- A40 __ OPA-komplett		61%	47%	45%	44%
1 Mülh.-Winkhausen - Essen-Frohnhausen FR Dortmund 52,82- 56,18	05-06 vs. 08-09	63%	39%	45%	44%
2 Essen-Frohnhausen- Mülh.-Winkhausen FR Duisburg 56,18- 52,82	05-06 vs. 08-09	56%	58%	45%	44%
- A57 __ OPA-komplett		24%	25%	35%	34%
1 Neuss-Süd - Dormagen FR Köln 97,06- 98,41	02-04 vs. 06-08	38%	67%	35%	32%
2 Dormagen - Neuss-Süd FR NL 98,29- 97,14	01-03 vs. 05-07	11%	0%	36%	35%
- A61 __ OPA-komplett		29%	42%	23%	29%
1 Miel - Meckenheim FR Süd 167,45- 173,70	05-06 vs. 08-09	29%	42%	23%	29%

BAST-U2p-42/2010

Tab. 12: Anteil der U(P) und U(SS) auf nasser Fahrbahnoberfläche auf OPA- und den erweiterten Kontrollstrecken mit jeweils individuellem Vorher-/Nachher-Zeitraum

hingegen ist der Anteil der Nässeunfälle im Nachherzeitraum überwiegend höher als im Vorherzeitraum. Dadurch ist auch der mittlere Anteil von 37 % auf 39 % im Nachher-Zeitraum angestiegen.

7 Zusammenfassung

Durch die Festlegung von Anforderungswerten an die Griffigkeit mit Ablauf der Verjährungsfrist für Mängelansprüche in den ZTV Asphalt-StB hat die Griffigkeitsprognose für den Auftragnehmer eine wichtige Rolle bekommen. Da in den ZTV Asphalt-StB weder die Prognoseprüfung im Allgemeinen noch Prüfverfahren genannt werden, ist der Auftragnehmer in der Pflicht, die Griffigkeitsentwicklung aufgrund von Erfahrungswerten bzw. aus dem Stand der Technik heraus abzuschätzen. Der Einsatz von polierresistenten Gesteinsarten ist eine bedeutende Grundlage für die Herstellung einer lang anhaltend griffigen Fahrbahnoberfläche, garantiert diese aber nicht in allen Fällen aufgrund des komplexen Zusammenspiels der Parameter von Bindemittel und Mineralstoffgemisch. Die Prognoseprüfung nach Wehner/Schulze (PWS) am fertigen bzw. eingebauten Schichtmaterial stellt eine Möglichkeit dar, den Griffigkeitsverlauf infolge der Verkehrsbelastung zu simulieren und zu prognostizieren. Ziel des Forschungsprojektes „Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten“ war es, die für offenporige Asphaltdeckschichten spezifischen Eigenschaften bei der Prognoseprüfung und bei Griffigkeitsmessungen mit dem Seitenkraftmessverfahren (SKM) zu beschreiben. Der Schwerpunkt des zweiten Projektteils „Neue Baumaßnahmen“ lag bei der Verifizierung und Weiterentwicklung der im ersten Projektteil „Bestandsaufnahme“ entwickelten Vorgehensweise zur Griffigkeitsprognose.

7.1 Vorgehen

In den Bundesländern Baden-Württemberg, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen wurden Streckenabschnitte auf Bundesautobahnen ausgewählt, die mit offenporigem Asphalt, überwiegend OPA 0/8, instand gesetzt bzw. erneuert wurden. Mit Beginn der Verkehrsübergabe, genauer gesagt unmittelbar davor oder danach, wurden die Streckenabschnitte über vier Jahre hinweg beobachtet. Hierzu wurden bei Verkehrsübergabe Bohrkerne aus der Deckschicht (\varnothing 225 mm) im Standstreifen und im ersten Fahrstreifen entnommen sowie SRT-Messungen durchgeführt. An den Bohrkernoberflächen erfolgten Prognoseprüfungen nach Wehner/Schulze mit mindestens 270.000 Überrollungen. Vor der Polierbeanspruchung wurde in der Regel der Bindemittelüberschuss auf der Bohrkern-

oberfläche durch automatisiertes Sandstrahlen entfernt. Der Griffigkeitsverlauf wurde nach festgelegten Überrollungszahlen gemessen.

Von einigen Streckenabschnitten standen Rückstellproben zur Verfügung, aus denen Probeplatten im Walzsegmentverdichter gefertigt wurden. Die aus den Walzsegmentplatten entnommenen Bohrkernkerne wurden analog zu den Bohrkernen aus der Straßenbefestigung vorbehandelt (Sandstrahlen) und der Prognoseprüfung unterzogen. Nach zwei und vier Jahren Verkehrsbelastung erfolgten an den Streckenabschnitten in der Rollspur des ersten Fahrstreifens weitere Bohrkernentnahmen und SRT-Messungen. Die Griffigkeit dieser Bohrkernoberflächen wurde mit Hilfe der PWS-Prüfeinrichtung ohne Vorbehandlung und ohne Polierbeanspruchung bestimmt. An ausgewählten Bohrkernoberflächen wurde die Oberflächentextur nach verschiedenen Beanspruchungsstufen untersucht und ausgewertet.

Die Datenbasis wurde ergänzt mit den Ergebnissen der SKM-Abnahmeprüfungen vier bis acht Wochen nach der Verkehrsfreigabe sowie mit SKM-Daten bis zu vier Jahre nach der Verkehrsfreigabe. Zur Beurteilung der Belastung der Oberflächen infolge des Verkehrs wurden die Verkehrsbelastungsdaten von Dauerzählstationen ausgewertet. Zusätzlich wurde das Unfallgeschehen auf den Streckenabschnitten ausgewertet.

7.2 PWS

Während der Projektbearbeitung zeigten sich Veränderungen der PWS-Messwerte, sofern die Probekörper ein zweites Mal nach längerer Lagerungsdauer gemessen wurden. Die Veränderungen liegen zwar innerhalb des für das Verfahren gewählten Toleranzmaßes, sollten aber bei der ‚Reaktivierung‘ von Probekörpern für weitere Auswertungen beachtet werden. Zur Ursachenklärung wurden Untersuchungen zum Einfluss der Veränderung der Oberfläche durch die Messung, zu den Einflüssen durch die erneute Montage des Probekörpers in die Prüfeinrichtung und zur Veränderung der Oberfläche durch die Lagerung durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass die Messung selbst einen polierenden Einfluss besitzen, der jedoch für die Beurteilung nicht maßgebend ist. Des Weiteren wurde nachgewiesen, dass die geringe Verschiebung der Messspur durch die erneute Montage des Probekörpers in die Prüfeinrichtung keine relevanten

Einflüsse auf das Ergebnis der Griffigkeitsmessung besitzt. Die Lagerung eines Asphaltprobekörpers bei Raumtemperatur und geringer UV-Belastung wurde als relevanter Einfluss identifiziert. Entscheidend dabei ist der Anteil an künstlichen Gesteinskörnungen, die z. B. Oxidationsprozessen ausgesetzt sind, und der Bindemittelüberschuss an der Probenoberfläche.

In der Regel sind die zu prüfenden Asphaltoberflächen vor der Prognose mit einer automatischen Sandstrahleinrichtung vorzubehandeln. Hierdurch soll der Bindemittelüberschuss von den Gesteinsoberflächen entfernt werden, der in situ nach wenigen Tagen der Verkehrsbelastung und ebenfalls durch Witterungseinflüsse abgetragen wird. In wie weit diese Vorbehandlung Einfluss auf die Ergebnisse der Prognoseprüfung besitzt, wurde anhand von vorbehandelten und unvorbehandelten Probekörpern des jeweils gleichen Streckenabschnittes überprüft, an denen die Prognose vergleichend durchgeführt worden ist. Es konnte gezeigt werden, dass die Vorbehandlung bei offenporigen Asphalten keinen Einfluss auf die Ergebnisse der Prognose besitzen, wenn mehr als 45.000 Überrollungen angesetzt werden. Die Verifizierung an einer größeren Stichprobenmenge wird vorgeschlagen.

Da für die Anwendung der Prognoseprüfung im Rahmen von Bauprojekten vor dem Bau keine Bohrkern zur Verfügung stehen, muss die Prognose beispielsweise an im Labor hergestellten Oberflächen erfolgen. Es wurden daher die Prognoseprüfungen beider Probenarten – Bohrkern aus der Straße und Bohrkern aus Walzsegmentplatten – vergleichend ausgewertet und für die untersuchten offenporigen Asphalte festgestellt, dass keine relevanten Unterschiede festzustellen sind.

Die Verläufe der Griffigkeitsprognosen der geprüften Oberflächen ähneln sich sehr, wenn auch auf verschiedenen Niveaus. Das jeweilige Niveau stellt sich schon nach wenigen Überrollungen ein. Eine Reihung in Bezug zu den verwendeten Gesteinsarten ist nicht zu erkennen, bzw. Zusammenhänge von Strecken, an denen die gleiche Gesteinsart, Bindemittelart oder Mischgutart verbaut worden sind, bestehen nicht. An zwei vergleichbaren Streckenabschnitten konnte der Einfluss unterschiedlicher Anteile künstlicher Gesteinskörnungen auf das Griffigkeitsniveau nachgewiesen werden. Bei allen ausgewerteten Prognoseprüfungen konnten ab 180.000 Überrollungen keine relevanten Abnahmen der Griffigkeit mehr

festgestellt werden, weshalb diese Überrollungsanzahl für die Bestimmung eines Endpolierwertes vorgeschlagen wird. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Ergebnissen des ersten Projektteils „Bestandsaufnahme“.

Um die Überrollungen in der PWS-Prüfeinrichtung mit den tatsächlichen Überrollungen durch den Verkehr in situ zu vergleichen, wurden die PWS-Messwerte an den nach zwei und vier Jahren Verkehrsbelastung entnommenen Bohrkernen der kumulierten Verkehrsbelastung gegenübergestellt. Wie auch schon im Rahmen anderer Forschungsprojekte gezeigt wurde, ist kein klarer Zusammenhang festzustellen. Es kann aber angenommen werden, dass die Polierwirkung der PWS-Prüfeinrichtung deutlich intensiver als die Verkehrsbelastung ist.

7.3 SRT

Die Beobachtung der Streckenabschnitte im zweijährigen Intervall durch SRT-Messungen zeigt wie auch die PWS-Messungen die Problematik der Anfangsgriffigkeit, wenn noch ein deutlicher Bindemittelüberschuss vorhanden ist. Die Messwerte nach zwei Jahren haben ein deutlich höheres Niveau als zum Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe, die Messwerte nach vier Jahren sind abnehmend.

Die Daten der SRT-Messungen und der PWS-Messungen wurden vergleichend ausgewertet. Aufgrund der geringen Stichprobenmenge und großer Streuungen können lediglich Orientierungswerte abgeleitet werden. Ein dem ‚Warnwert‘ (vgl. ZEB) vergleichbarer Wert liegt für die hier ausgewerteten Daten bei circa 0,35 μ_{PWS} Einheiten.

7.4 SKM

Auf die Besonderheiten von SKM-Messungen auf offenporigen Asphaltdeckschichten wurde im ersten Projektteil „Bestandsaufnahme“ eingegangen. Im vorliegenden Projektteil wurden die SKM-Werte zur Beurteilung der PWS-Prognosen verwendet. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die Beurteilung der Griffigkeit nach vier Jahren Verkehrsbelastung gelegt, da die PWS-Messungen vor der Verkehrsfreigabe und die SKM-Abnahmemessungen aufgrund unterschiedlicher Messzeitpunkte und des dominierenden Einflusses des anfänglichen Bindemittelüberschusses nur bedingt vergleichbar sind.

Anhand mehrfacher SKM-Messungen auf einem Streckenabschnitt über die ersten beiden Monate nach Verkehrsfreigabe konnte der Einfluss des Bindemittelüberschusses auf die Griffigkeitsmessungen dokumentiert werden. Bereits nach weniger als einem Monat unter Verkehr und unter Witterungseinflüssen zeigen die Messwerte den Abtrag des Bindemittelüberschusses. Alle untersuchten Streckenabschnitte erfüllen das Abnahmekriterium.

Wie bei den PWS- und SRT-Messungen wird auch durch die SKM-Messungen die Abnahme der Griffigkeit nach vier Jahren bestätigt. Die SKM-Messungen nach vier Jahren erfüllen alle das Kriterium gemäß den ZTV Asphalt zum Ende der Verjährungsfrist für Mängelansprüche. Ein direkter Vergleich der SKM- und PWS-Werte zeigt aufgrund der geringen Streubreite der Stichprobe keine quantifizierbaren Tendenzen auf. Hierfür sind umfangreiche Messkampagnen, nach Möglichkeit zum gleichen Zeitpunkt und an mehreren Positionen, erforderlich.

7.5 Texturaufnahmen

Zur Klärung von Wirkmechanismen und Ergänzung der Griffigkeitsmessungen wurden Texturaufnahmen unterschiedlich belasteter Probenoberflächen durchgeführt. Die Aufnahmen mit dem T3D-Messsystem (Lichtschnittverfahren) in Verbindung mit der Auswertung von Rauheitskenngrößen zeigten dabei keine klaren Zusammenhänge zu den gemessenen Griffigkeitswerten. Es wurden daher die Möglichkeiten der Texturaufnahmen mit dem Digitalmikroskop geprüft.

Zunächst wurde die Wiederholpräzision der Texturaufnahmen mit dem Digitalmikroskop untersucht. Trotz der nachgewiesenen Sensibilität des Verfahrens gegenüber unterschiedlichen Beleuchtungssituationen ist das Verfahren für vergleichende und grundsätzliche Untersuchungen geeignet. Da pro Aufnahme nur ein Ausschnitt von rund drei Millimeter Länge betrachtet werden kann, wurde nur eine geringe Stichprobenmenge ausgewertet. Auch dabei zeigten die Rauheitskenngrößen keine klaren Zusammenhänge zu den gemessenen Griffigkeitswerten. Es wurden daher die Flächen- und Kantenschärfen der aufgenommenen Gesteinsoberflächen ausgewertet. Es konnten Zusammenhänge dieser beiden Parameter zu den Griffigkeitswerten festgestellt werden. Ein Bewertungshintergrund hierfür wird derzeit an anderer Stelle erarbeitet.

Anhand der Texturaufnahmen und der daraus abgeleiteten Parameter Flächen- und Kantenschärfe war es möglich, das unterschiedliche Griffigkeitsniveau zweier vergleichbarer Oberflächen unterstützend zu interpretieren.

7.6 Unfallgeschehen

Im Rahmen der Unfallanalyse wurden knapp 137 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 schwerwiegender Unfälle mit Sachschaden der Jahre 1996 bis 2009 insgesamt sowie bei Nässe. Die Unfallentwicklung auf den OPA-Strecken wurde der Entwicklung auf ausgewählten Kontrollstrecken gegenübergestellt.

Sowohl auf den OPA-Strecken (-10 %) als auch auf den Kontrollstrecken (-8 %) ist 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 3 % 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.

8 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse zeigen die Anwendbarkeit des Polierverfahrens nach Wehner/ Schulze auf offenporigen Asphaltdeckschichten zur Prognose eines Endpolierwertes. Dieser kann ab einer

Überrollungszahl von 180.000 festgestellt werden. Zwischenwerte sollten nicht in Bezug zur Verkehrsbelastung oder Liegedauer des Streckenabschnittes gebracht werden, da die PWS-Polierung zwar verkehrssimulierend ist, aber die komplexen Verhältnisse in situ nicht exakt abbilden kann.

Eine Bewertung des Endpolierwertes ist an die Entwicklung eines Bewertungshintergrundes für PWS-Messungen gebunden, die derzeit in den zuständigen Gremien der Forschungsgesellschaft und der europäischen Normung vordringlich behandelt wird. Hilfreich hierfür wird die kurzfristig zur Verfügung stehende neue Generation einer mobilen PWS-Prüfeinrichtung sein. Diese wird auf die Poliereinrichtung verzichten, weswegen ein sehr mobiler Aufbau möglich sein wird. Umfangreiche und vor allem zerstörungsfreie Messungen in situ werden möglich sein. Ziel der zukünftigen Forschungstätigkeit mit der mobilen PWS-Prüfeinrichtung wird sein, die im Rahmen der Erstprüfung an Walzsegmentplatten erstellten Griffigkeitsprognosen in einen konkreten Zusammenhang mit in situ gemessenen SKM-Werten zu den Zeitpunkten der bauvertraglichen Kontrollprüfung und der periodischen Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) zu bringen.

Hinsichtlich der optischen Bewertung der Oberflächentextur werden derzeit national und international Forschungsprojekte bearbeitet. Die im vorliegenden Bericht durchgeführten Auswertungen verdeutlichen das Potenzial der optischen bzw. berührungslosen Bewertung der Oberflächentextur.

Unter Beachtung der geringen Anfangsgriffigkeit von offenporigen Asphaltdeckschichten, die nicht wie bei dichten Asphaltbelägen üblich durch Aufbringen von Abstreumaterial verbessert werden kann, ergeben sich keine Einschränkungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit. Dies wird durch die Auswertung von Unfalldaten belegt, in der gezeigt wurde, dass im Vergleich mit Kontrollstrecken aus anderen Deckschichtmaterialien kein negativer Einfluss der OPA-Deckschichten festzustellen ist. Die Unfallzahlen zeigen zudem, dass auf OPA-Deckschichten weniger Unfälle bei Nässe im Vergleich zu Kontrollstrecken auftreten.

9 Literatur

- BECKENBAUER, T., SPIEGLER, P., Van BLOKLAND, G., KUIJPERS, A., REININK, F., HUSCHEK, S. et al., (2002): Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch (Bd. 847). Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
- Bundesanstalt für Straßenwesen (März 2010): Automatische Zählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen. Abgerufen am 03. März 2010 von <http://www.bast.de>
- DIN (2004): DIN EN ISO 13473-1 „Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe“. Berlin: Beuth-Verlag
- DIN (1998): DIN EN ISO 4287 „Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren“. Berlin: Beuth-Verlag
- FGSV (2004): Merkblatt für den Bau griffiger Asphaltdeckschichten, M BgA. Köln: FGSV-Verlag
- FGSV (2003): Merkblatt zur Bewertung der Straßen-griffigkeit bei Nässe, M BGriff. Köln: FGSV-Verlag
- FGSV (2008a): Technische Prüfvorschrift: Bestimmung der Griffigkeitsentwicklung von Fahrbahnoberflächen mit dem Prüfverfahren Wehner/Schulze (PWS). Entwurf
- FGSV (2008b): Technische Prüfvorschriften für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Teil 5.5.2: Bestimmung des Polierwertes mit dem Verfahren nach Wehner/Schulze. Köln: FGSV-Verlag
- FGSV (2007): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, ZTV Asphalt-StB. Köln: FGSV-Verlag
- HUSCHEK, S. (2004): Entwicklung der Oberflächeneigenschaften auf der Versuchsstrecke Bamberg A 70 – Messtechnische Erfassung 1999-2001 (Bd. 898). Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

- HUSCHEK, S., BÖCK, M., ÖZIPEK, V., ROHLEDER, M., BOULET, M., DO, M.-T. et al. (2007): Straßengriffigkeit im Rahmen der Deutsch-Französischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Straßenwesens (Bd. 963). Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- HUSCHEK, S., DAMES, J., KANYI, J. & LINDNER, J. (2002): Untersuchungen zum Griffigkeitsverhalten von Splittmastixasphalt-Deckschichten (Bd. 837). Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
- ROHLEDER, M., KUNZ, K., WASSER, B., PULLWITT, E., MÜLLER, I., RIPKE, O. et al. (2010): Schriftenreihe der BAST, Heft S 64: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten (OPA), Teil 1: Bestandsaufnahme an vorhandenen Strecken. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- SCHULZE, C. (2009): Erfassung des Oberflächenzustandes – Entwicklungsstand zu berührungslosen Griffigkeitsmessungen. FGSV-Arbeitsgruppentagung Infrastrukturmanagement
- WÖRNER, T. & BÖHNISCH, S. (2003): Untersuchungen zur Qualifizierung von Geräten zur Prognose von Griffigkeitskennwerten – Vorstudie; Forschungsbericht FGSV-Nr. 4/2002. TU München
- WÖRNER, T., WENZEL, P. & BÖSEL, P. (2008): Bewertungshintergrund für Verfahren zur Griffigkeitsprognose – Forschungsbericht FE07.204/2003/EGB. TU München

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2000

S 20: 36. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 14,00

S 21: Walzbeton: Ergebnisse aus neuester Forschung und lang-
jähriger 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-Trag-
schicht an der B54 bei Stein-Neukirch
Eisenmann, Birmann

Teil 4: Temperaturdehnung, Schichtenverbund, vertikaler Dichte-
verlauf und Ebenheit von Walzbeton
Burger € 17,00

2001

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

2002

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 Konsolida-
tionsverfahren
Koch € 17,50

S 25: 37. Erfahrungsaustausch über Erdarbeiten im Straßenbau
€ 16,50

2003

S 26: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-
grund - Aufgeständerte Gründungspolster
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 Bundes-
fernstraßen – 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 For-
schungsseminars der Universität des Saarlandes und des Arbeits-
ausschusses „Straßenrecht“ am 24./25. September 2001 in Saar-
brücken € 13,50

2004

S 30: 4. Bund-Länder-Erfahrungsaustausch zur systematischen
Straßenerhaltung – Workshop Straßenerhaltung mit System –
€ 19,50

S 31: Arbeitsanleitung für den Einsatz des Georadars zur Gewin-
nung von Bestandsdaten des Fahrbahnaufbaues
Golkowski € 13,50

S 32: Straßenbaufinanzierung und -verwaltung in neuen Formen
– Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saar-
landes 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

2005

S 35: Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Unter-
grund – Bodenersatzverfahren
Grundhoff, Kahl € 17,50

S 36: Umsetzung und Vollzug von EG-Richtlinien im Straßenrecht
– Referate eines Forschungsseminars der Universität des Saar-
landes 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

2006

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 Ver-
formungswiderstandes von Asphalt
Renken, Büchler € 16,00

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

S 41: Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Boden-
kontakt – 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

2007

S 45: Stoffmodelle zur Voraussage des Verformungswiderstan-
des 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

2008

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

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 € 16,00

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

S 65: Untersuchungen von Dübellagen zur Optimierung des Betondeckenbaus
Freudenstein, Birmann € 14,00

2011

S 66: Qualitätssicherung von Waschbetonoberflächen
Breitenbücher, Youn € 14,50

S 67: Weiterentwicklung der automatisierten Merkmalerkennung im Rahmen des TP3
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rohleder, Kunz, Wasser, Pullwitt, Müller, Canzler, Winkler € 16,50

S 68: Lärmindernder Splittmastixasphalt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> heruntergeladen werden.
Ripke

S 69: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen
Müller, Wasser, Germann, Kley € 14,50

S 70: Erprobungsstrecke mit Tragschichten ohne Bindemittel aus ziegelreichen RC-Baustoffen
Dieser Bericht liegt außerdem in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> heruntergeladen werden.
Jansen, Kurz € 16,00

S 71: Enteignung für den Straßenbau – Verfahrensvereinheitlichung – Privatisierung,
Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises "Straßenrecht" am 20./21. September 2010 in Bonn € 15,00

S 72: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten - Teil 2: Neue Baumaßnahmen
Jansen, Pöppel-Decker € 15,00

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.

ANLAGENVERZEICHNIS

- Anlage 1 Datenblätter der Untersuchungsstreckenabschnitte
- Anlage 2 Fotodokumentation ausgewählter Bohrkerne
- Anlage 3 Untersuchungen zur Präzision von 3D Aufnahmen
mit dem Digitalmikroskop

BAB: **A2**
 Ort: **Lehrte**
 Fahrtrichtung: **Hannover**
 Station: **205+950**

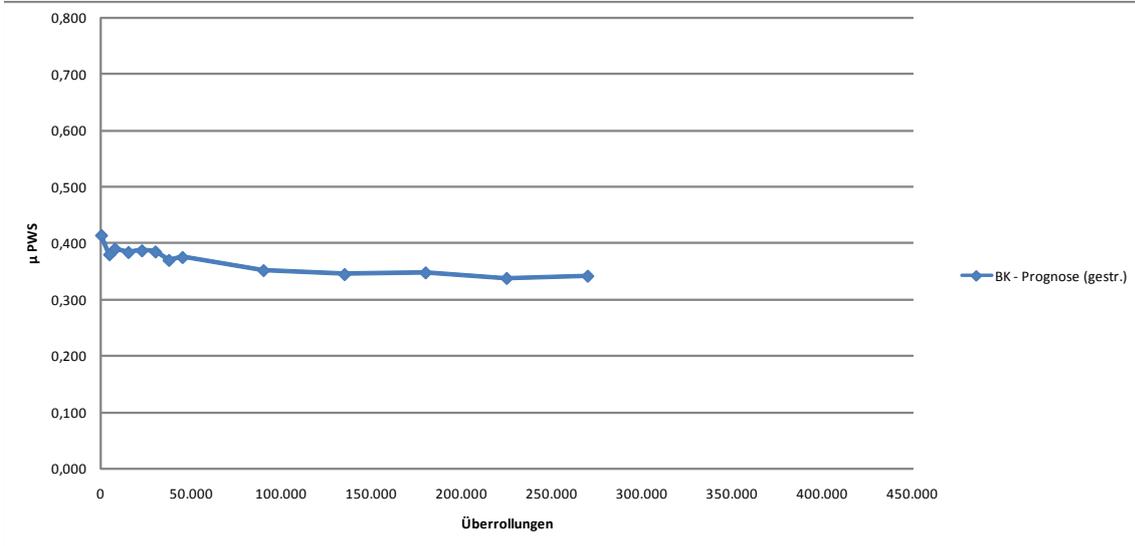
Bauweise: OPA 0/11
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2006

DTV: 42 Tsd.
 SV-Anteil: 23%

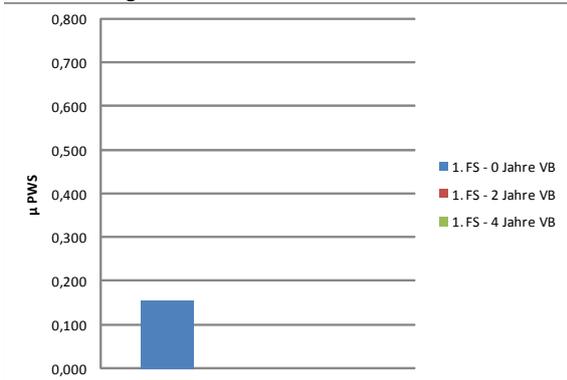
Gestein: Grauwacke
 Gesteinslieferant: ASW Anderten (?)
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: PmB 40/100

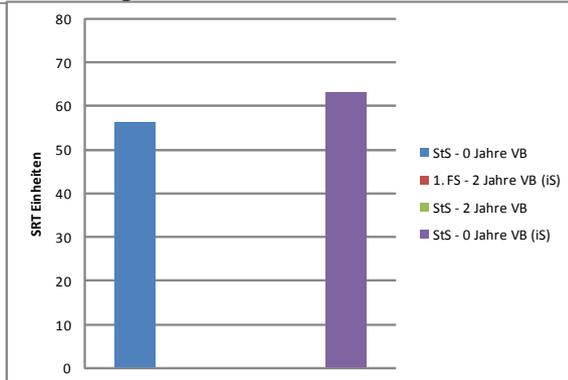
PWS Prognose



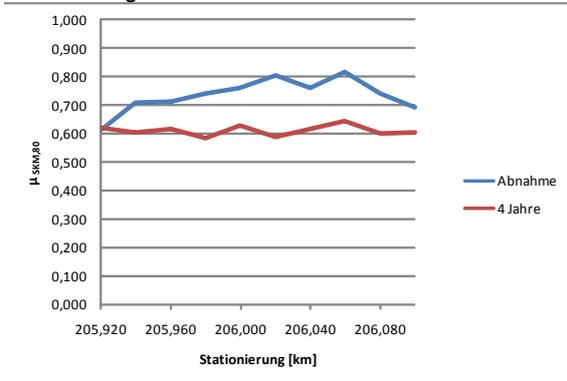
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:
 SKM Abnahme 1 Woche nach Verkehrsfreigabe

Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen

BAB: **A2**
 Ort: **Lehrte**
 Fahrtrichtung: **Hannover**
 Station: **206+300**

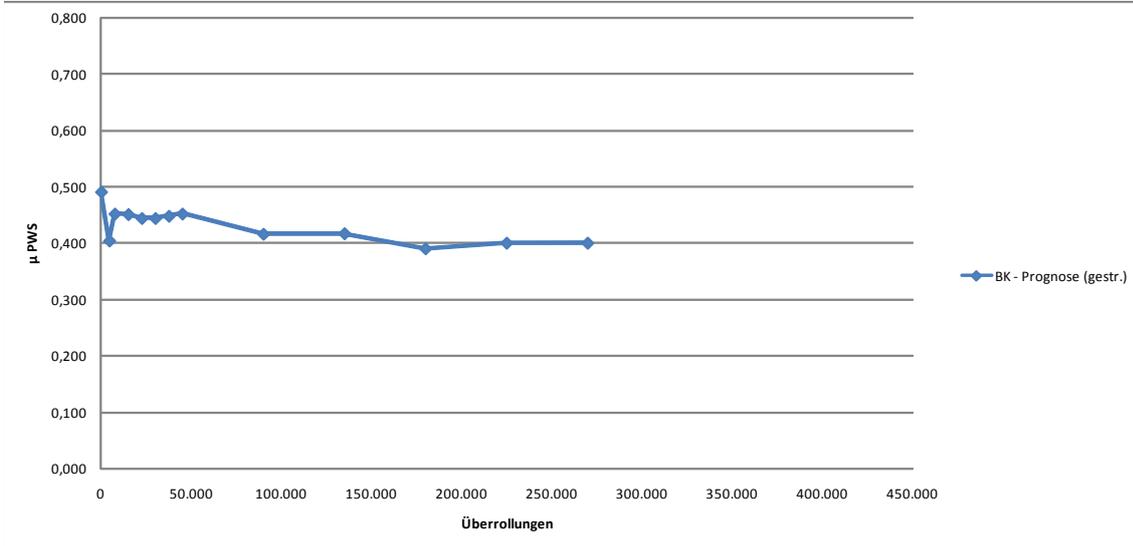
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2006

DTV: 42 Tsd.
 SV-Anteil: 23%

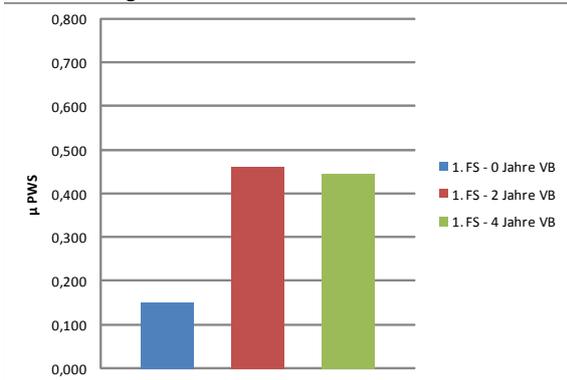
Gestein: Grauwacke
 Gesteinslieferant: ASW Anderten (?)
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 25,8%

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: PmB 40/100

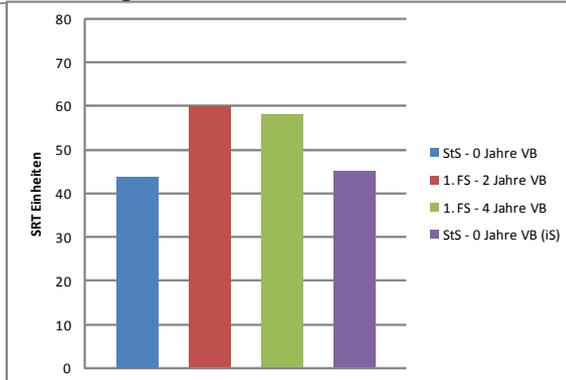
PWS Prognose



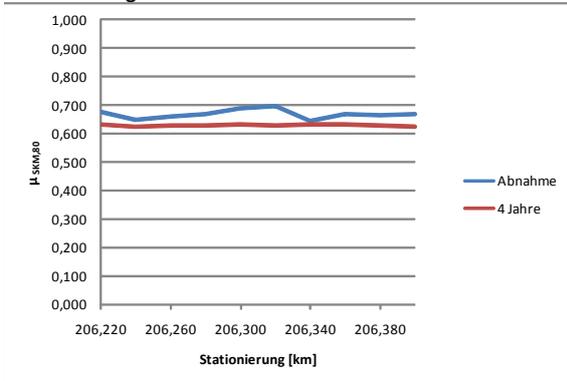
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:
 SKM Abnahme 1 Woche nach Verkehrsfreigabe

Abkürzungen: STS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen

BAB: **A5**
 Ort: **Sandweier**
 Fahrtrichtung: **Karlsruhe**
 Station: **654+100**

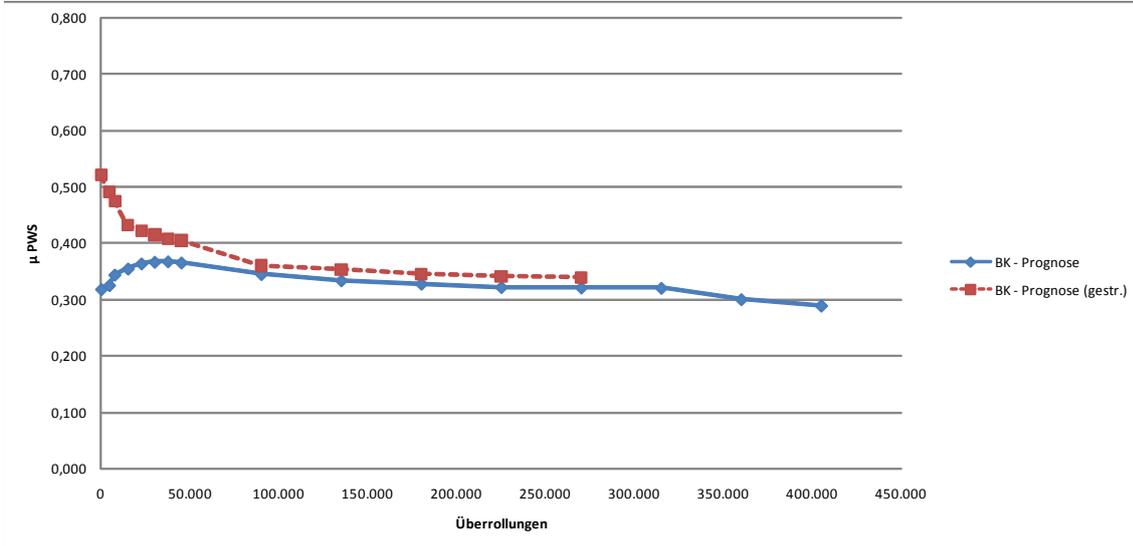
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2005

DTV: 33 Tsd.
 SV-Anteil: 20%

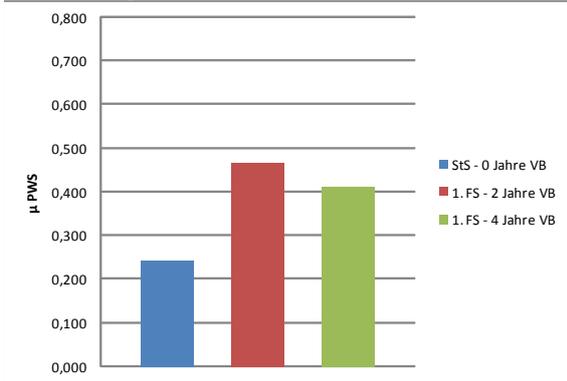
Gestein: 25% Moräne / 75% EOS
 Gesteinslieferant: KBI Kern / Stahlw. Kehl
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 21,6%

PSV (lt. EP): 63
 PSV (lt. KP): 58
 Bindemittel: PMB 40/100-65H

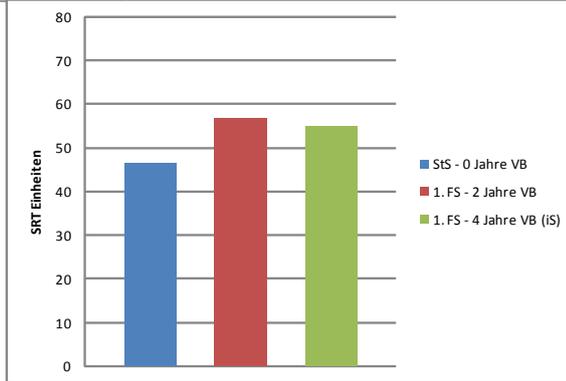
PWS Prognose



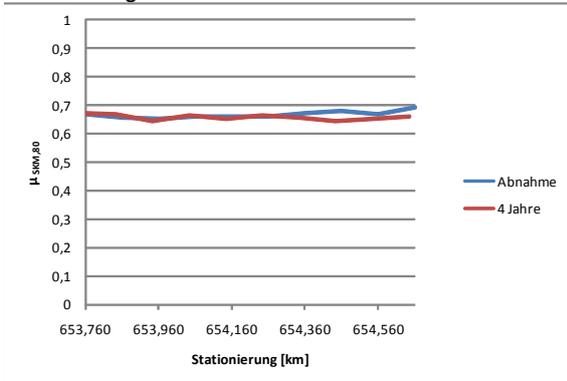
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:

"BK-Prognose (gestr.)" erst nach 4 Jahren Lagerung durchgeführt (Prognose wg. Lagerungseinflüssen nicht repräsentativ)

Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A5**
 Ort: **Sandweier**
 Fahrtrichtung: **Karlsruhe**
 Station: **653+700**

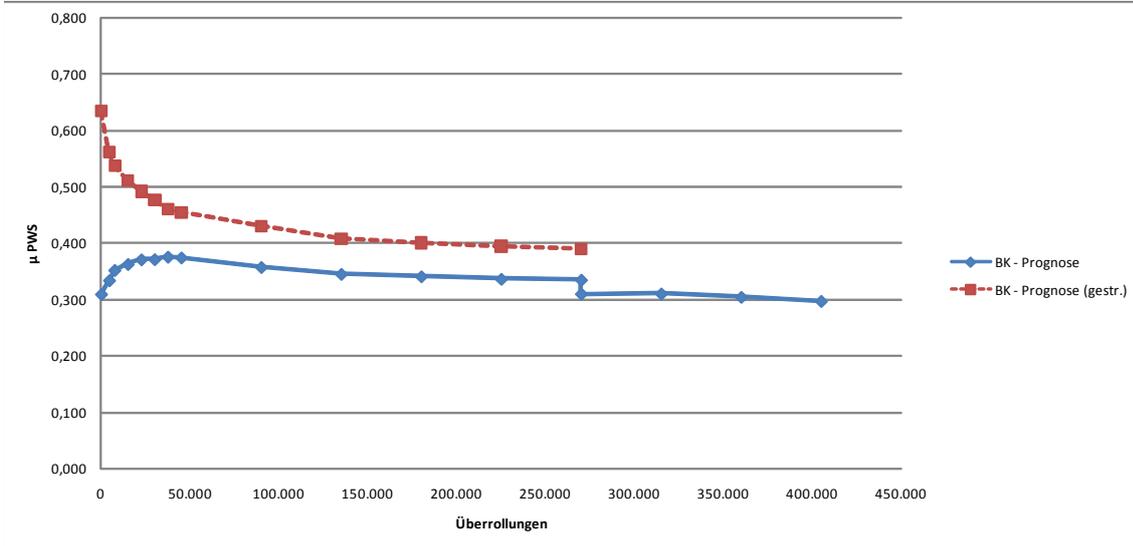
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2005

DTV: 33 Tsd.
 SV-Anteil: 20%

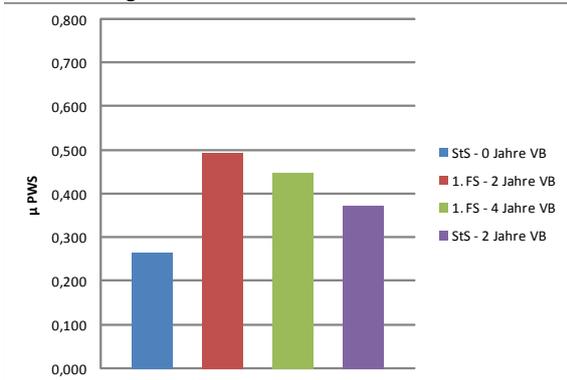
Gestein: 25% Moräne / 75% EOS
 Gesteinslieferant: KBI Kern / Stahlw. Kehl
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 27,1%

PSV (lt. EP): 63
 PSV (lt. KP): 58
 Bindemittel: PMB 40/100-65H

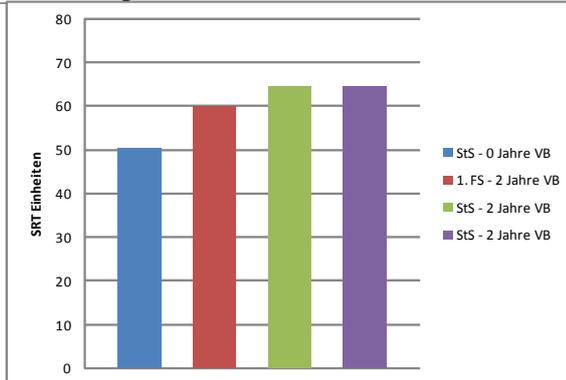
PWS Prognose



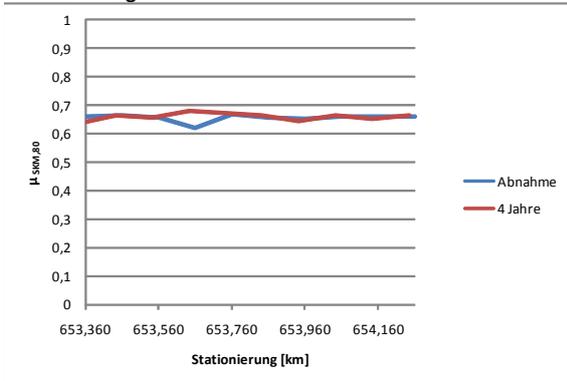
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:

"BK-Prognose (gestr.)" erst nach 4 Jahren Lagerung durchgeführt (Prognose wg. Lagerungseinflüssen nicht repräsentativ)

Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen

BAB: **A8**
 Ort: **Karlsbad**
 Fahrtrichtung: **Stuttgart**
 Station: **261+500**

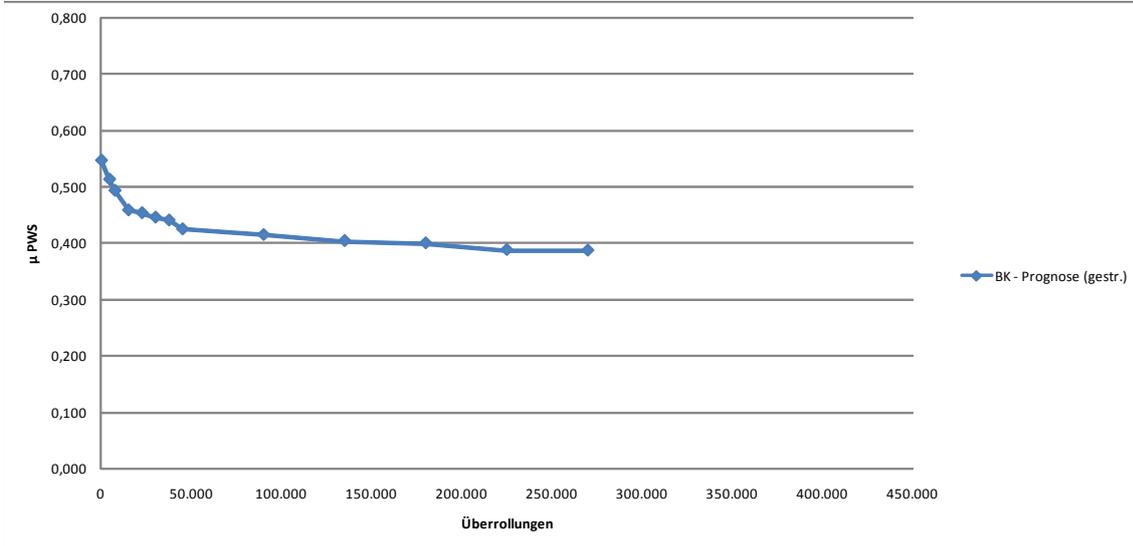
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2005

DTV: 37 Tsd.
 SV-Anteil: 16%

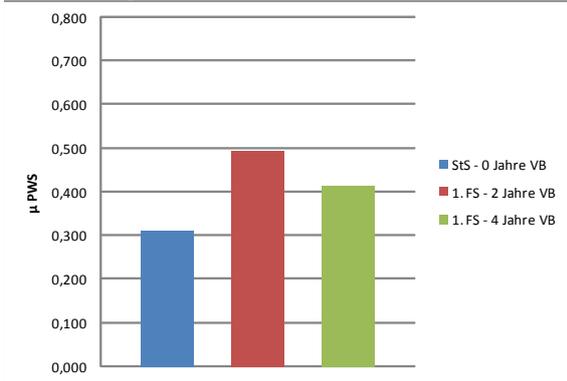
Gestein: 25% Moräne / 75% EOS
 Gesteinslieferant: KBI Kern / Stahlw. Kehl
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 22,5%

PSV (lt. EP): 63
 PSV (lt. KP): 58
 Bindemittel: PMB 40/100-65H

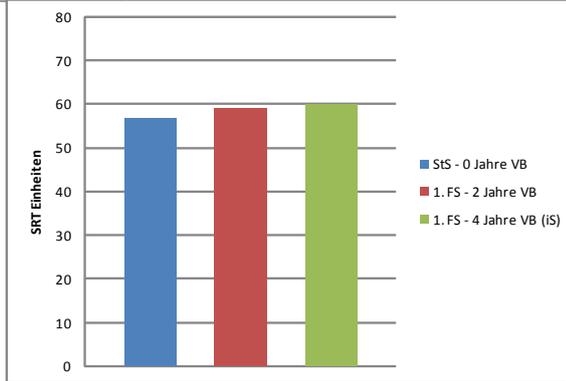
PWS Prognose



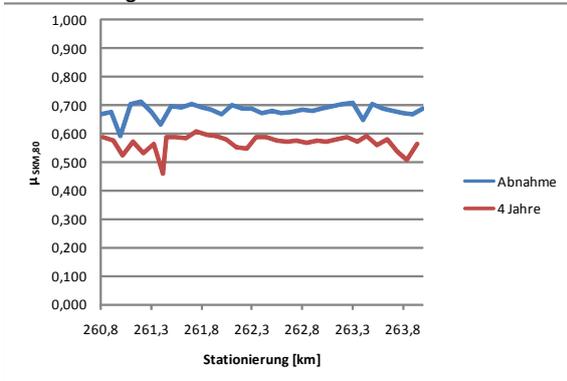
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A8**
 Ort: **Karlsbad**
 Fahrtrichtung: **Stuttgart**
 Station: **261+000**

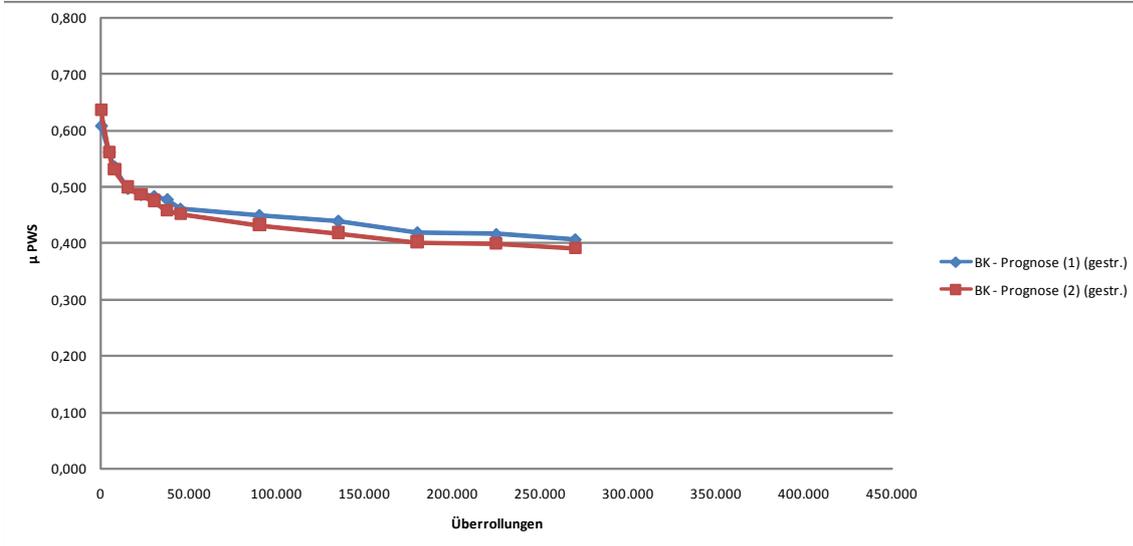
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2005

DTV: 37 Tsd.
 SV-Anteil: 16%

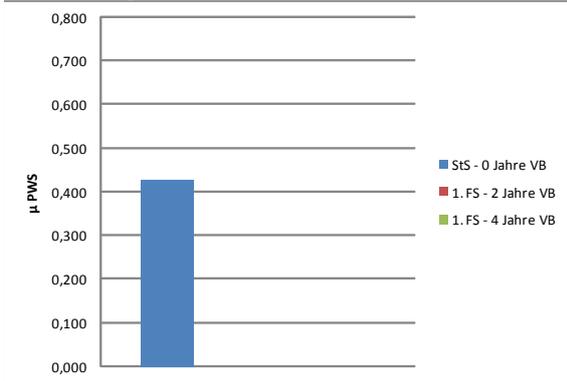
Gestein: 25% Moräne / 75% EOS
 Gesteinslieferant: KBI Kern / Stahlw. Kehl
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 22,2%

PSV (lt. EP): 63
 PSV (lt. KP): 61
 Bindemittel: PMB 40/100-65H

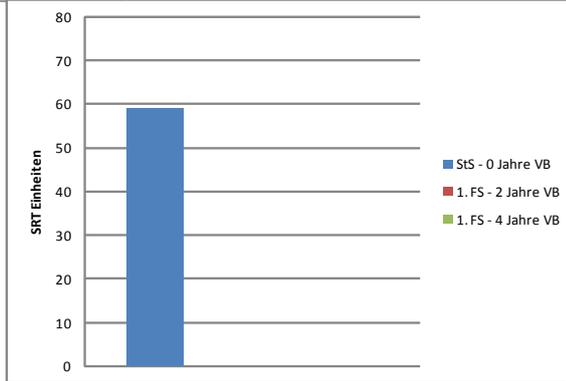
PWS Prognose



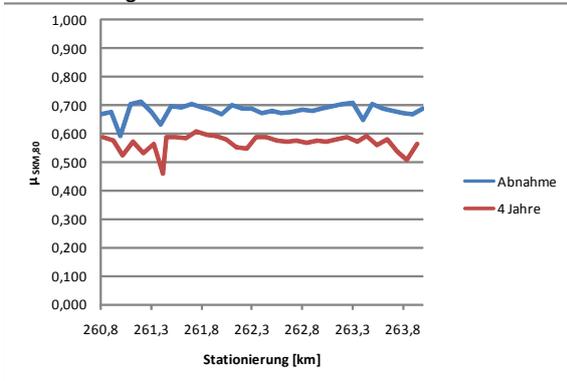
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A8**
 Ort: **Karlsbad**
 Fahrtrichtung: **Karlsruhe**
 Station: **245+100**

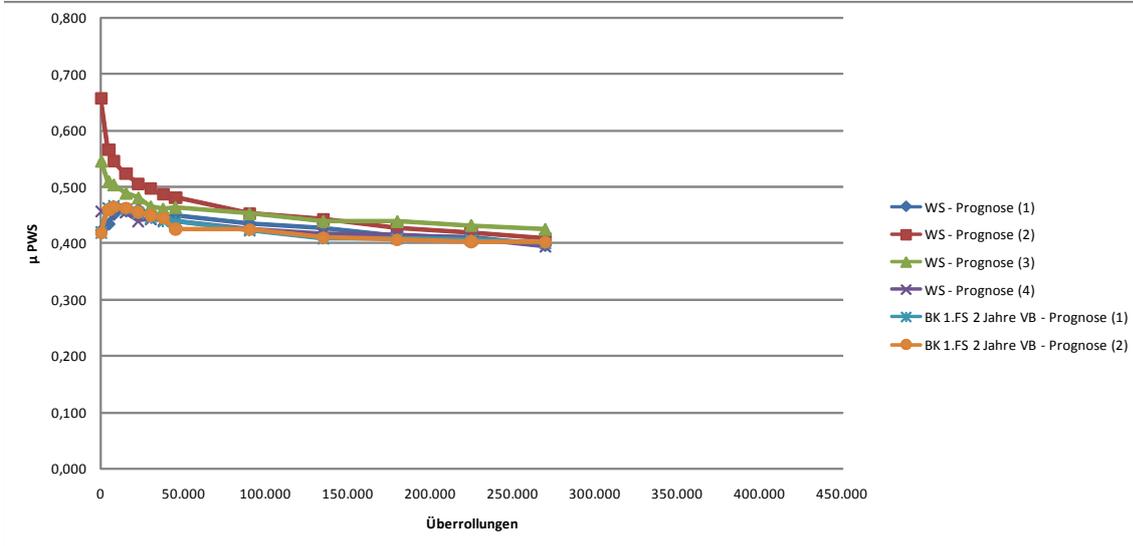
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 3
 Baujahr: 2005

DTV: 39 Tsd.
 SV-Anteil: 16%

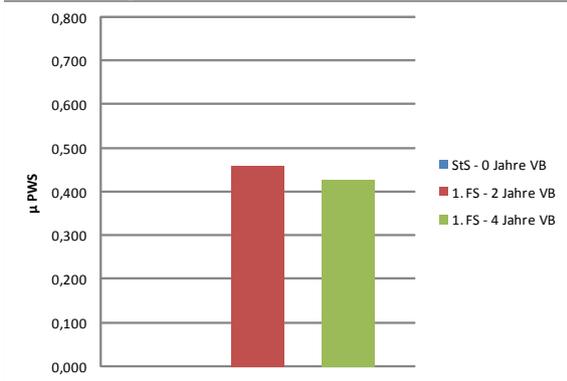
Gestein: 25% Moräne / 75% EOS
 Gesteinslieferant: KBI Kern / Stahlw. Kehl
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): 63
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: PMB 40/100-65H

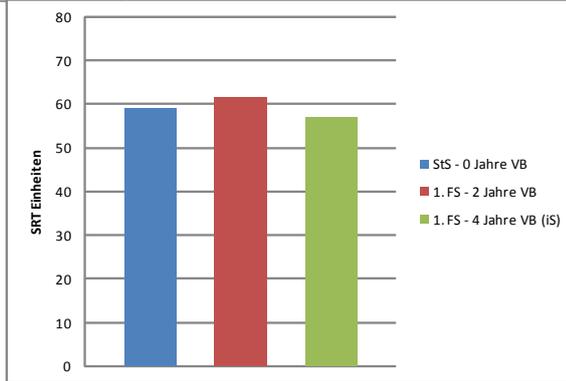
PWS Prognose



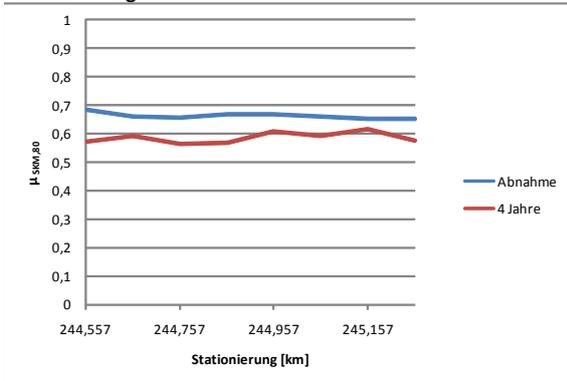
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:
 Prognose versuchsweise an BK
 nach 2 Jahren Verkehrsbelastung

Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen

BAB: **A30**
 Ort: **Osnabrück**
 Fahrtrichtung: **Bad-Oeyenhausen**
 Station: **70+900**

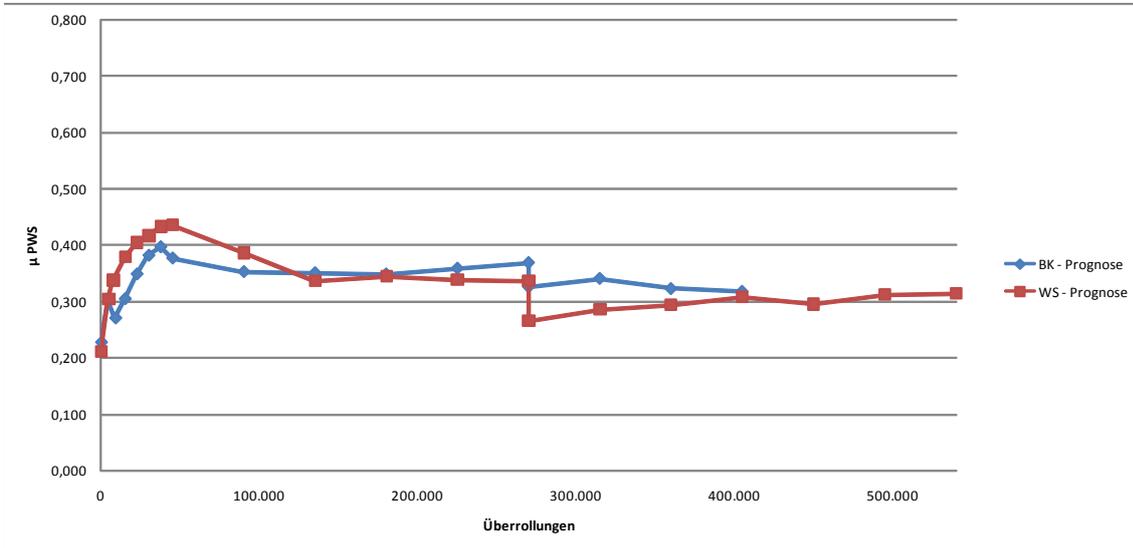
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2006

DTV: 20 Tsd.
 SV-Anteil: 18%

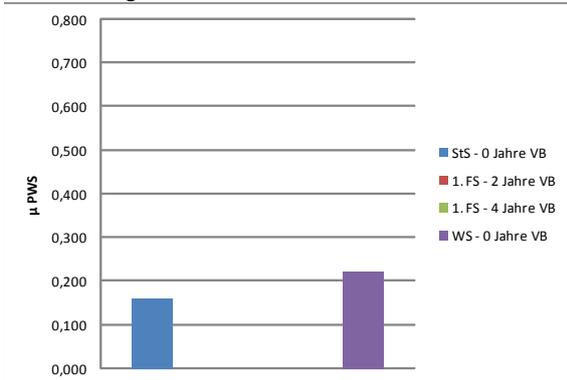
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 23,6%

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): 57
 Bindemittel: PmB 40/100-65H

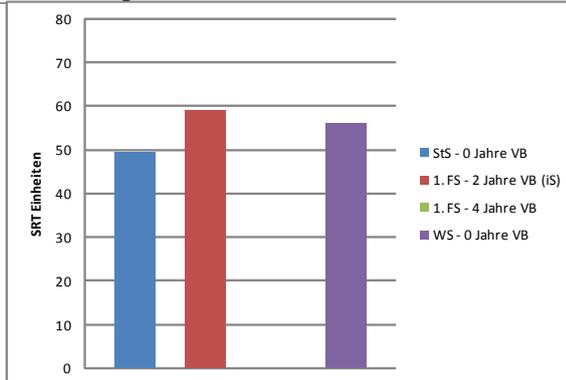
PWS Prognose



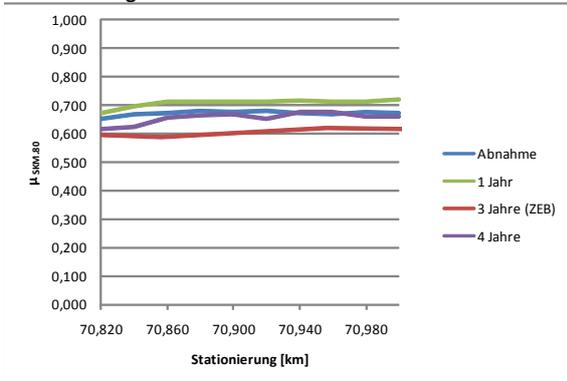
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:
 Prognose versuchsweise
 bis 540.000 Überrollungen

Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen

BAB: **A30**
 Ort: **Osnabrück**
 Fahrtrichtung: **Bad-Oeyenhausen**
 Station: **69+500**

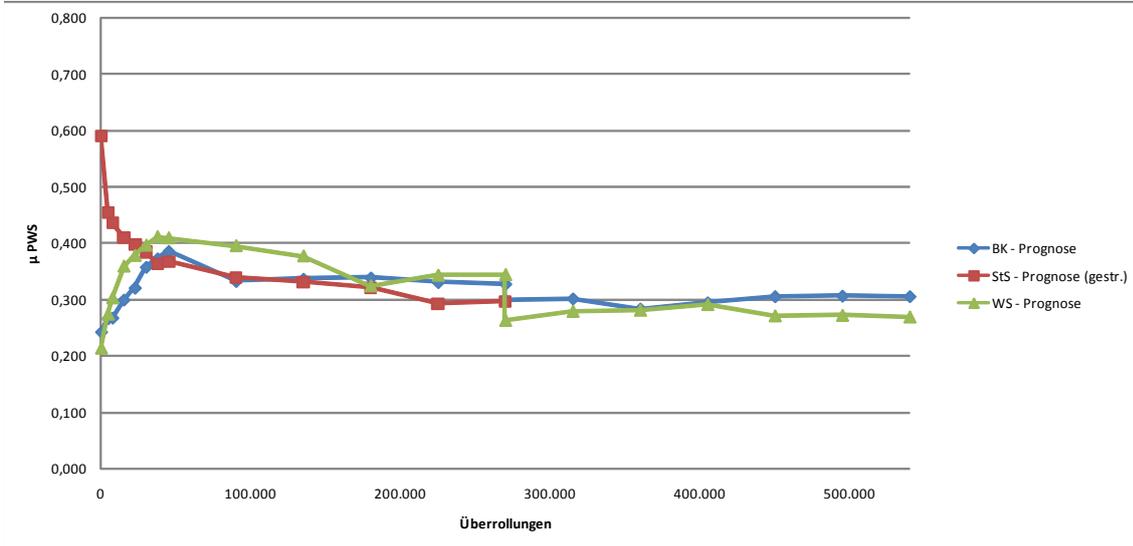
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2006

DTV: 20 Tsd.
 SV-Anteil: 18%

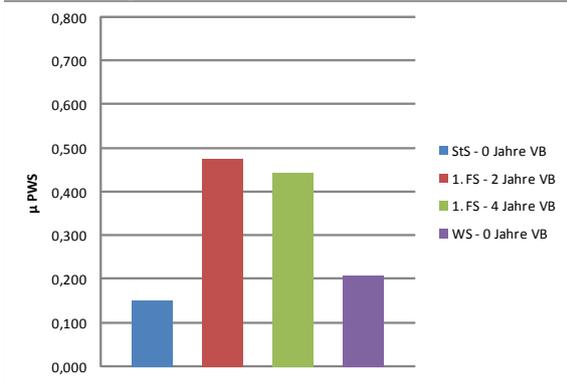
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 24,3%

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): 57
 Bindemittel: PmB 40/100-65H

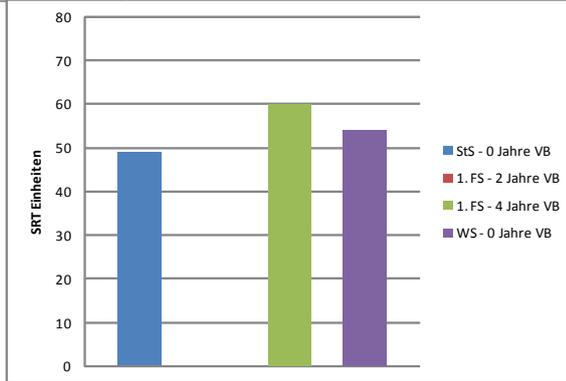
PWS Prognose



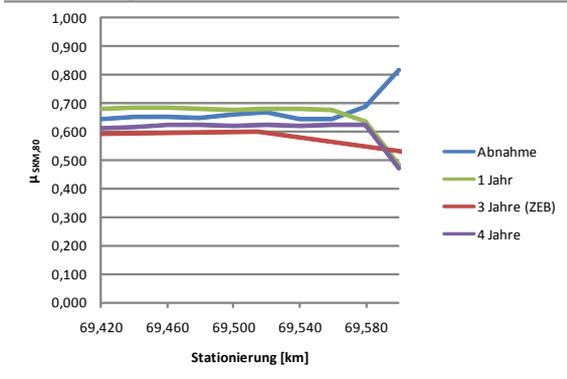
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Kommentar:
 Prognose versuchsweise
 bis 540.000 Überrollungen

Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen

BAB: **A30**
 Ort: **Osnabrück**
 Fahrtrichtung: **Bad-Oeyenhausen**
 Station: **68+950**

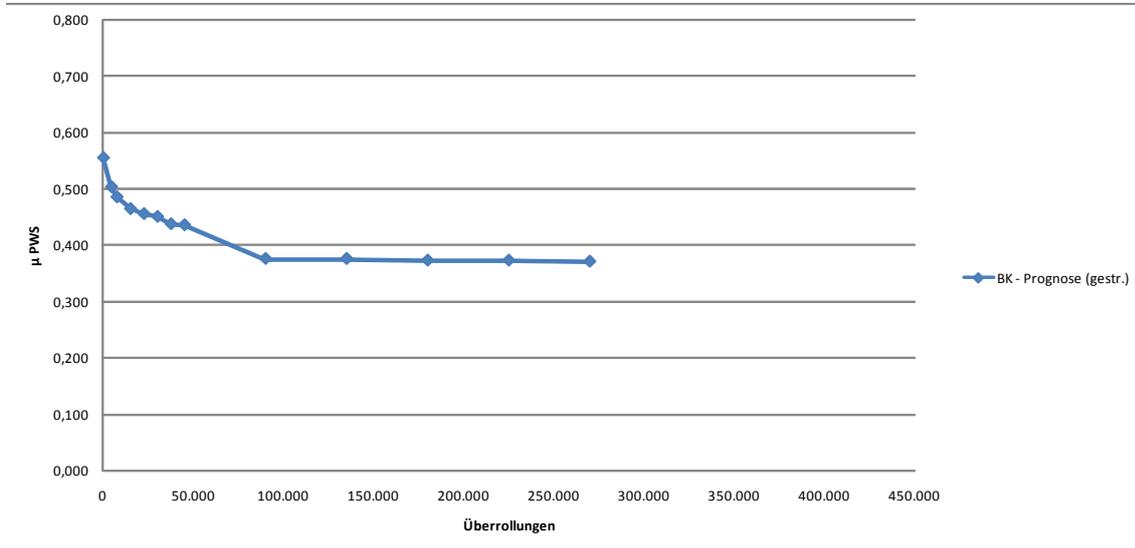
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2006

DTV: 20 Tsd.
 SV-Anteil: 18%

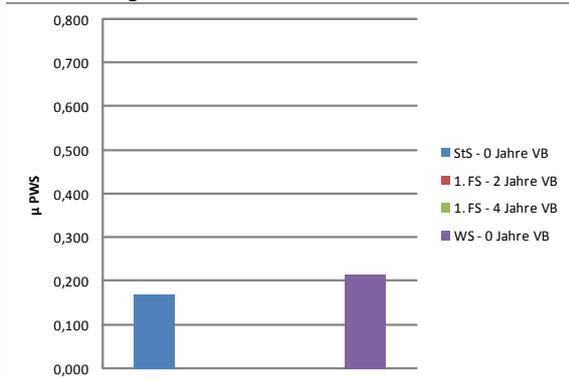
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 23,5%

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): 57
 Bindemittel: PmB 40/100-65H

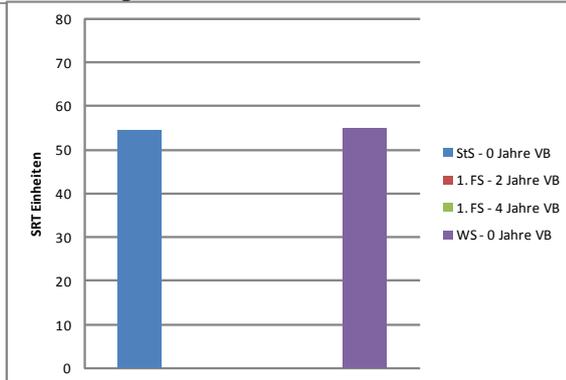
PWS Prognose



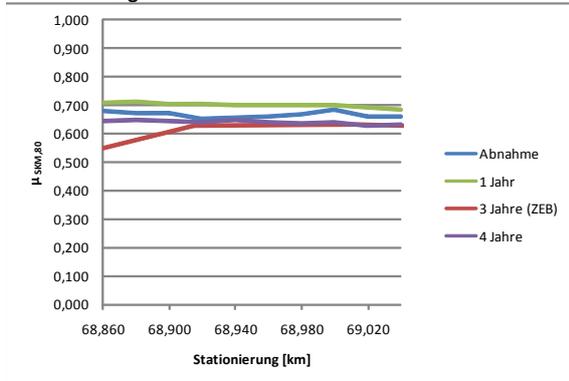
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A30**
 Ort: **Osnabrück**
 Fahrtrichtung: **Bad-Oeyenhausen**
 Station: **68+200**

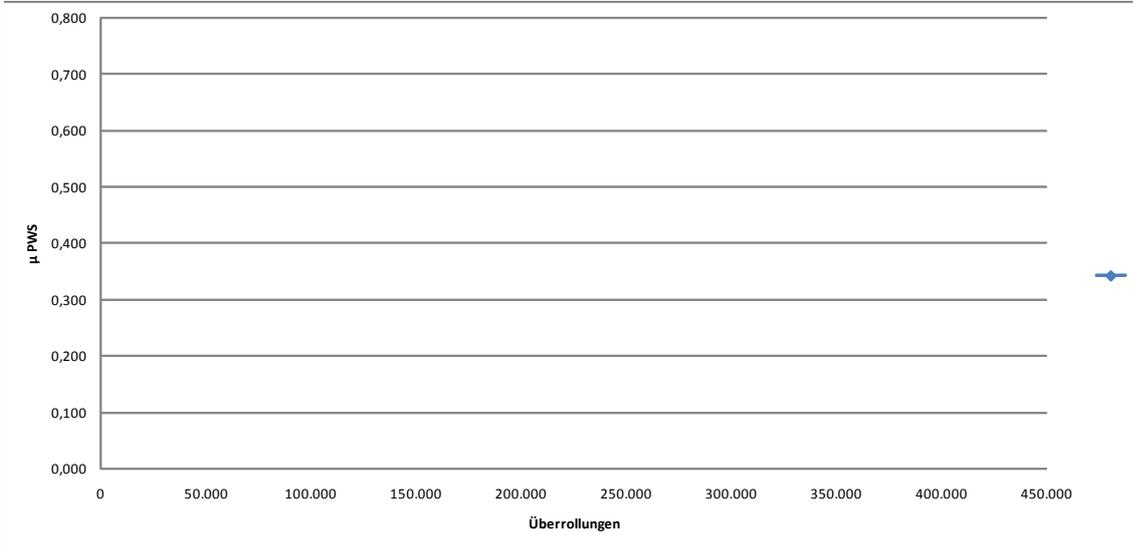
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2006

DTV: 20 Tsd.
 SV-Anteil: 18%

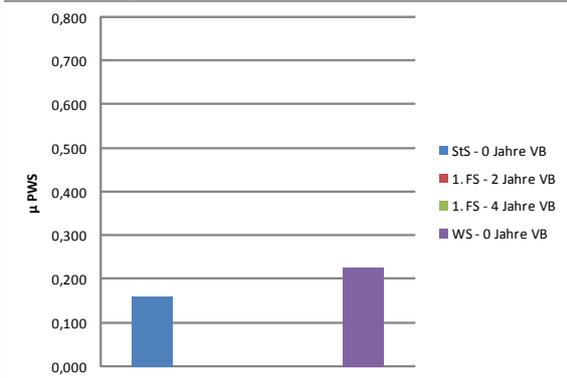
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): 24,6%

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): 57
 Bindemittel: PmB 40/100-65H

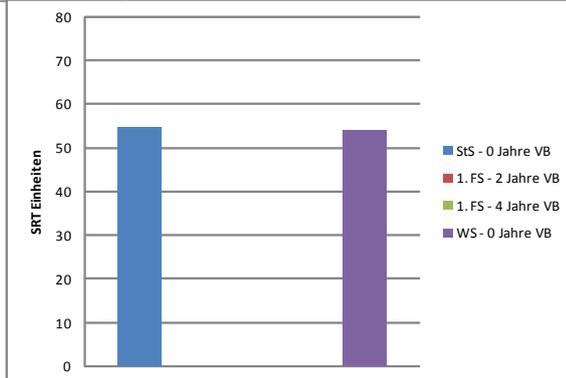
PWS Prognose



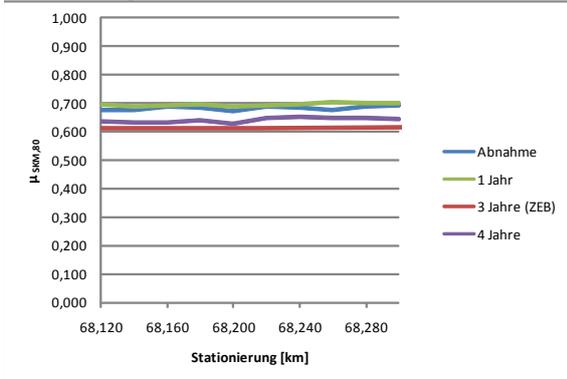
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A30**
 Ort: **Osnabrück**
 Fahrtrichtung: **Bad-Oeyenhausen**
 Station: **67+700**

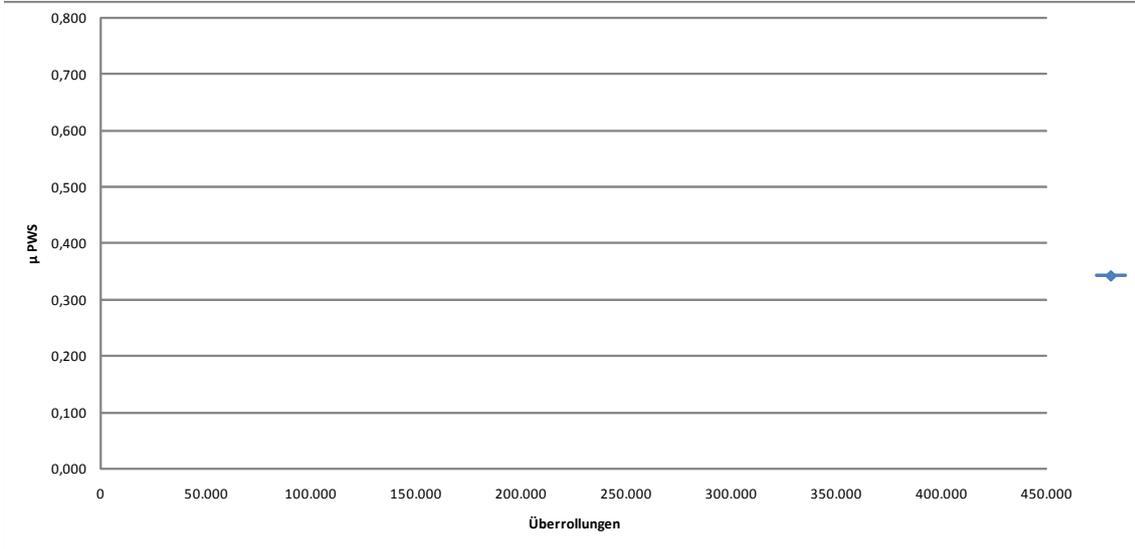
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2006

DTV: 20 Tsd.
 SV-Anteil: 18%

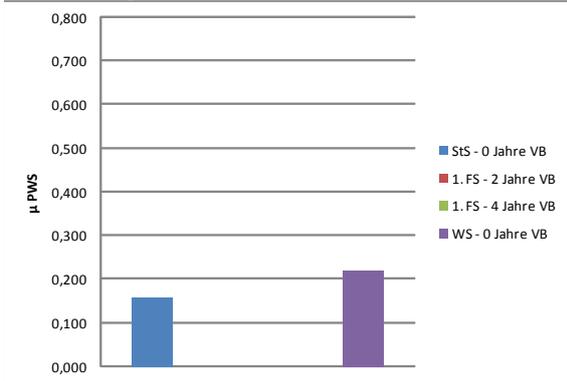
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): 57
 Bindemittel: PmB 40/100-65H

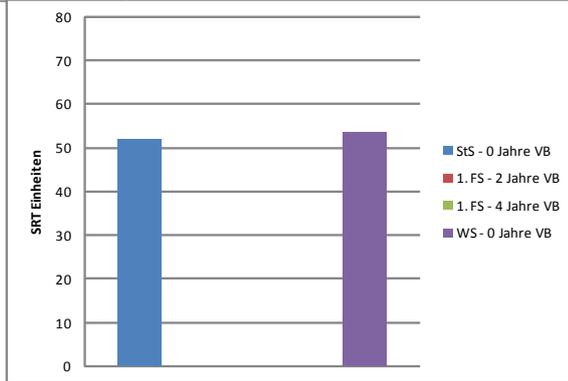
PWS Prognose



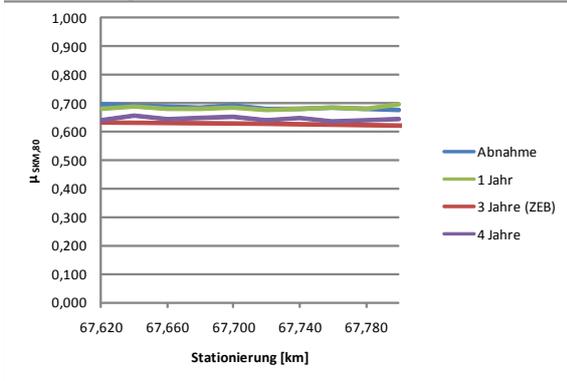
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A40**
 Ort: **Mülheim**
 Fahrtrichtung: **Duisburg**
 Station: **54+500**

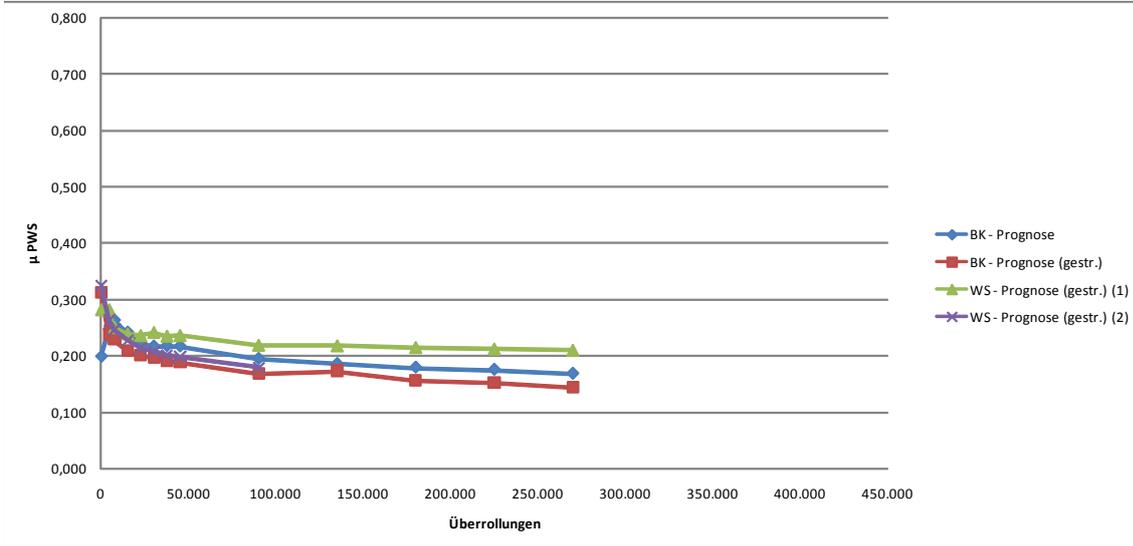
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2007

DTV: 35 Tsd.
 SV-Anteil: 8%

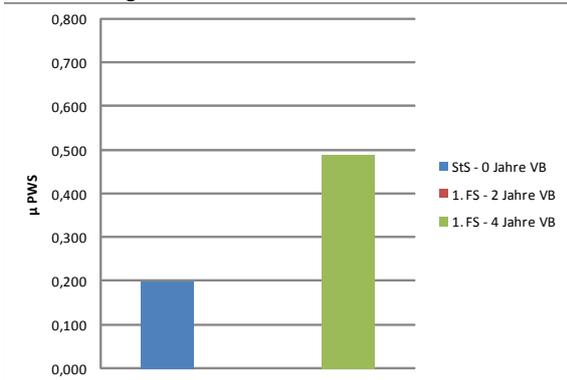
Gestein: LD-Schlacke
 Gesteinslieferant: LiDonit
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): -
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: PmB H

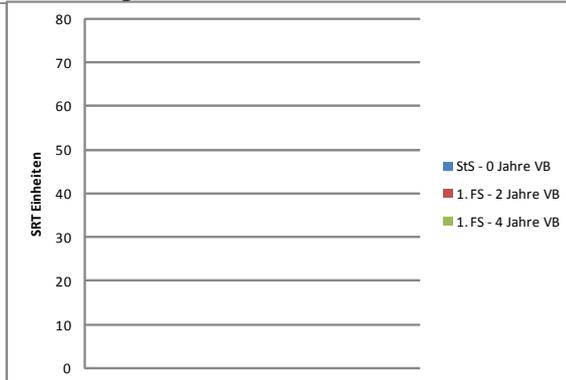
PWS Prognose



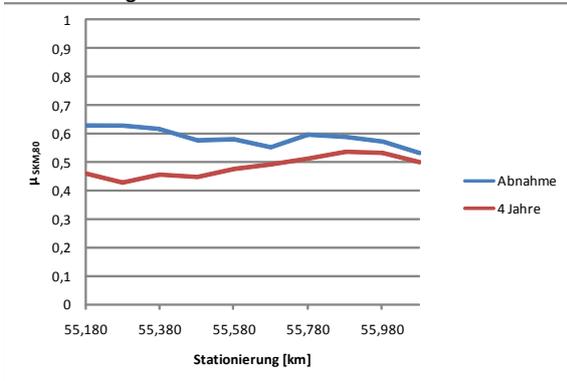
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A61**
 Ort: **Meckenheim**
 Fahrtrichtung: **Koblenz**
 Station: **168+000**

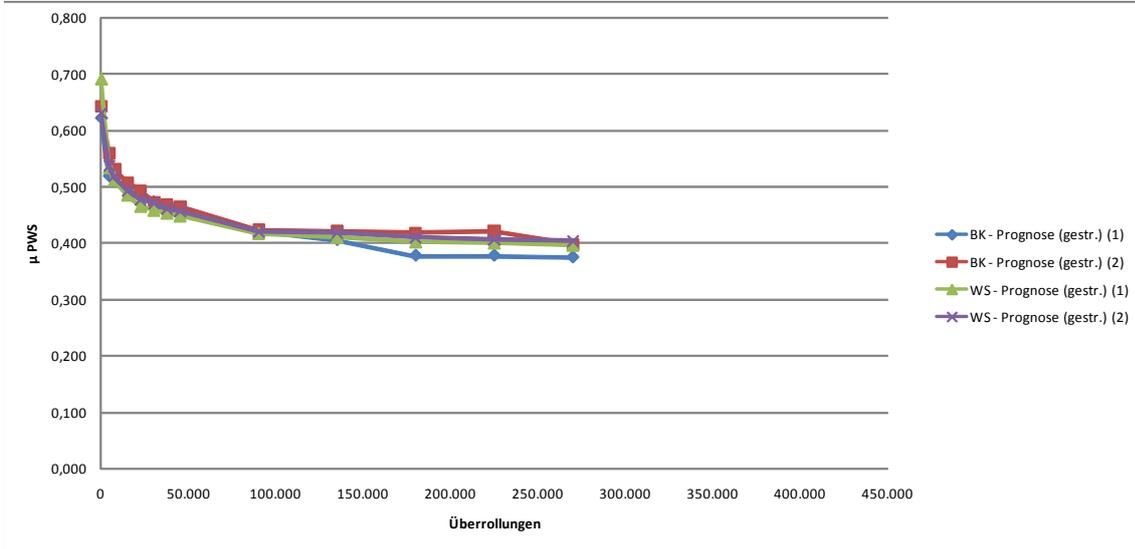
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2007

DTV: 25 Tsd.
 SV-Anteil: 24%

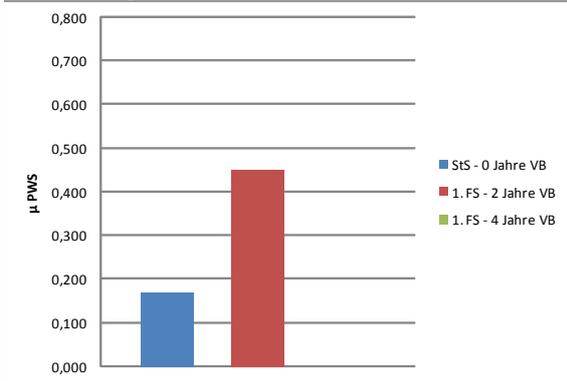
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): 58
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: PmB

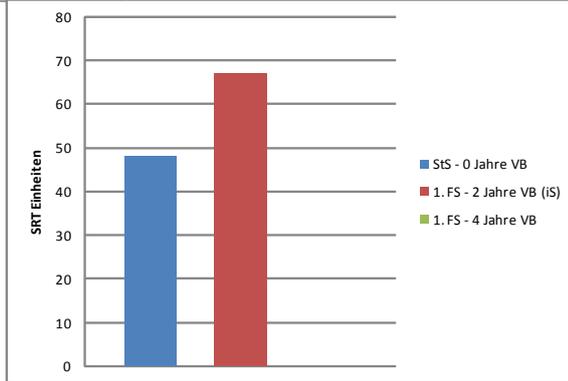
PWS Prognose



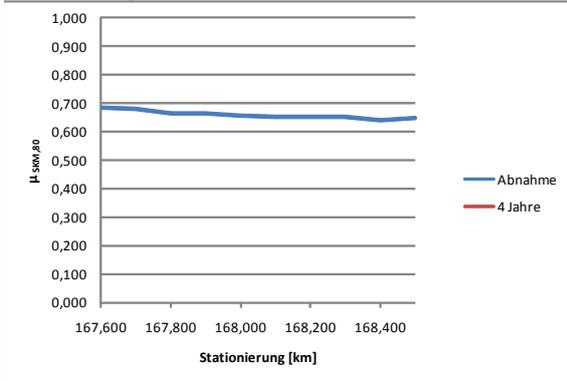
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A61**
 Ort: **Meckenheim**
 Fahrtrichtung: **Koblenz**
 Station: **169+500**

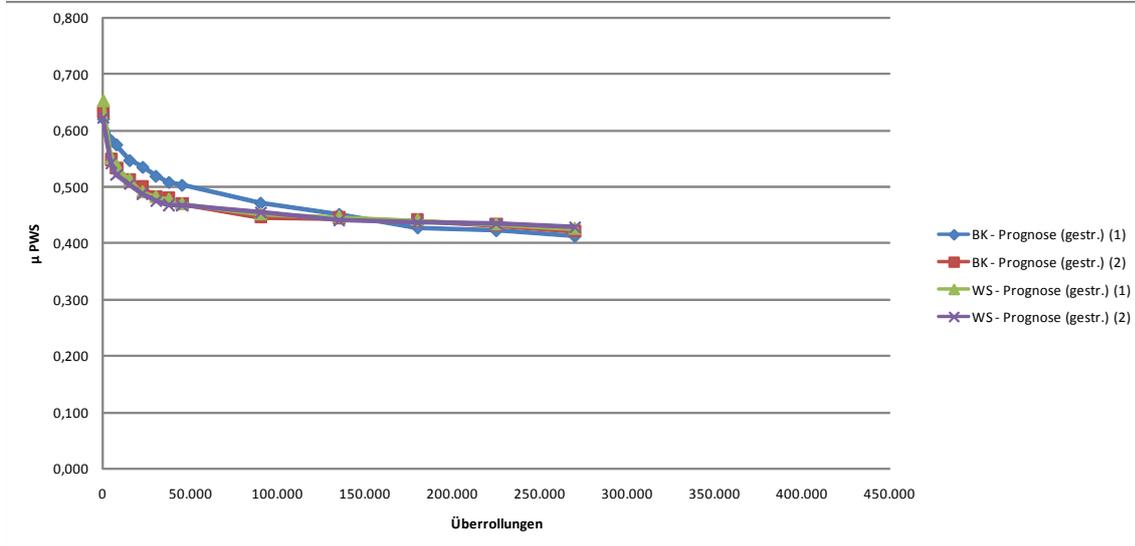
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2007

DTV: 25 Tsd.
 SV-Anteil: 24%

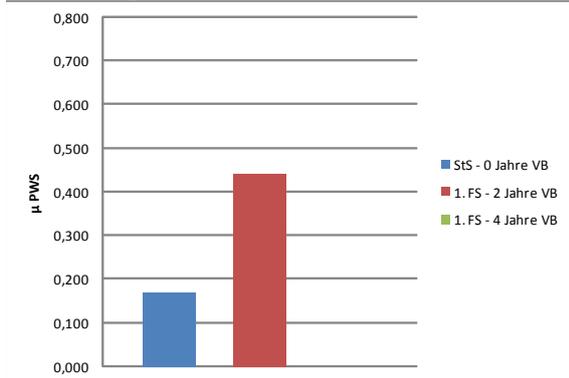
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): 58
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: CTS

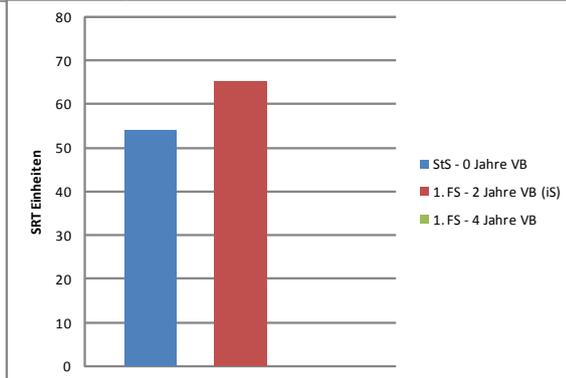
PWS Prognose



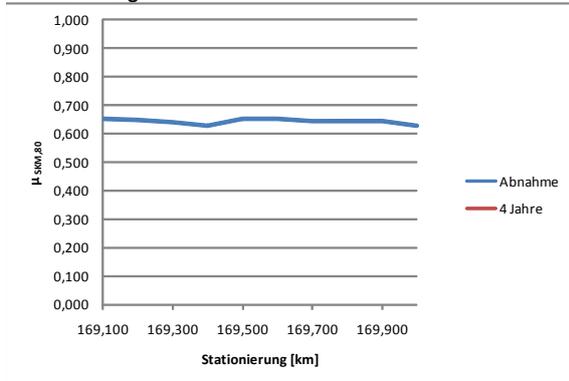
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A61**
 Ort: **Meckenheim**
 Fahrtrichtung: **Koblenz**
 Station: **171+000**

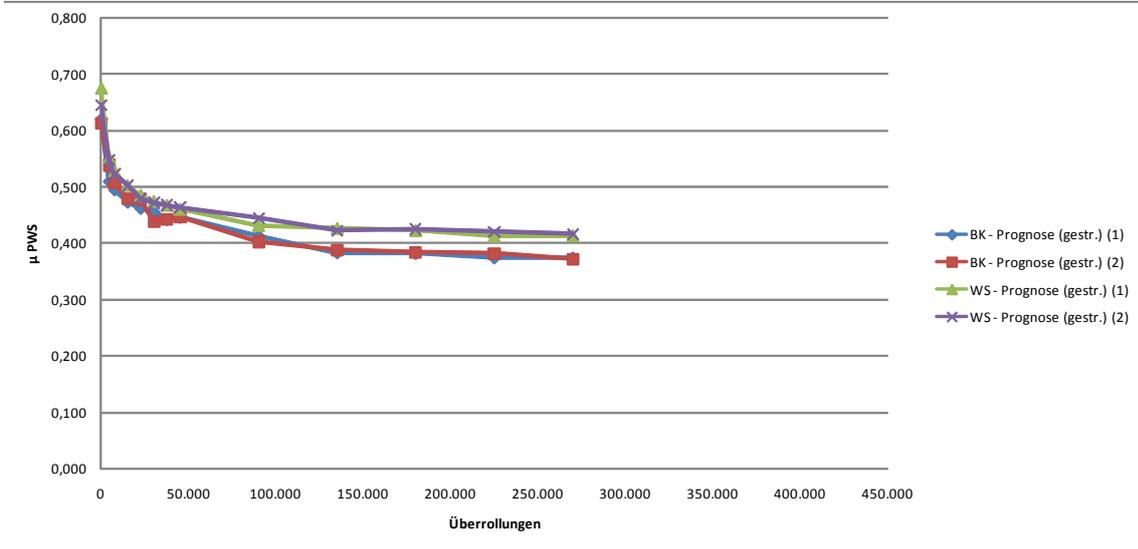
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2007

DTV: 25 Tsd.
 SV-Anteil: 24%

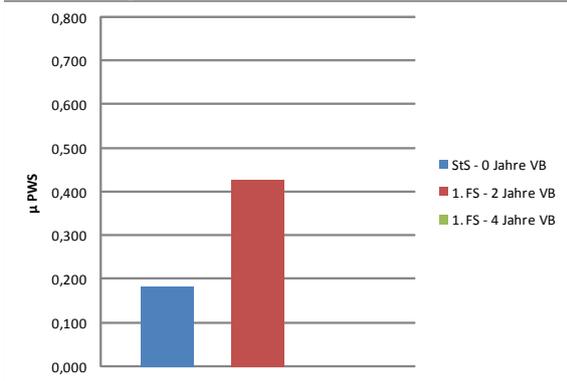
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): 58
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: Road+

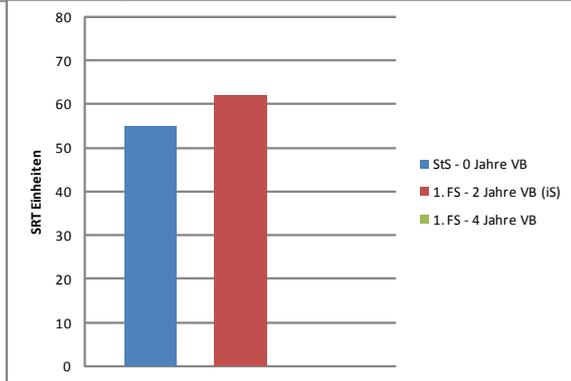
PWS Prognose



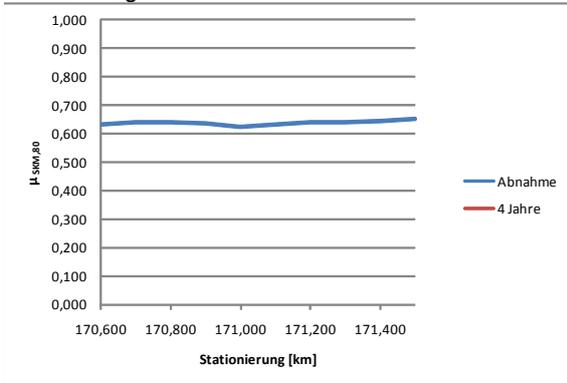
PWS Messung



SRT Messung



SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

BAB: **A61**
 Ort: **Meckenheim**
 Fahrtrichtung: **Koblenz**
 Station: **172+500**

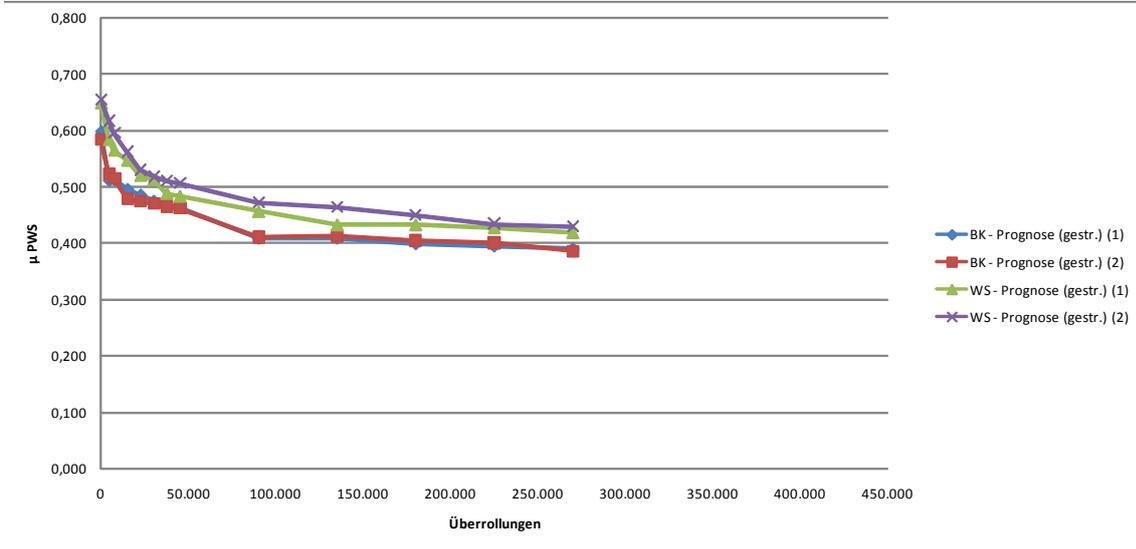
Bauweise: OPA 0/8
 Fahrstreifen: 2
 Baujahr: 2007

DTV: 25 Tsd.
 SV-Anteil: 24%

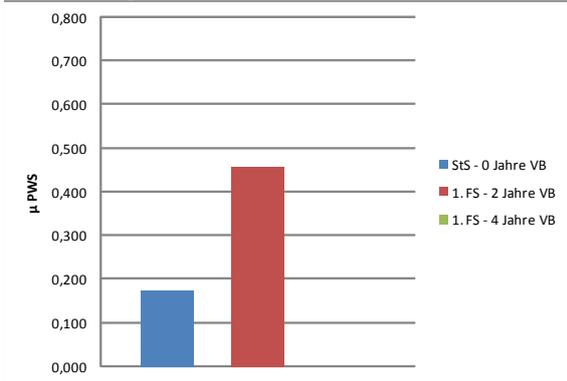
Gestein: Quarzporphyr
 Gesteinslieferant: NNG Flechtingen
 Hohlraumgehalt (lt. KP): -

PSV (lt. EP): 58
 PSV (lt. KP): -
 Bindemittel: Tego Adibit L300

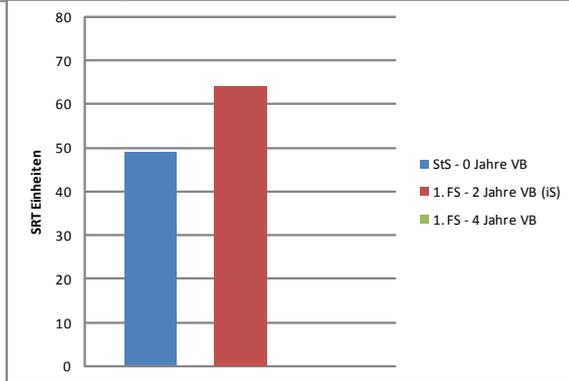
PWS Prognose



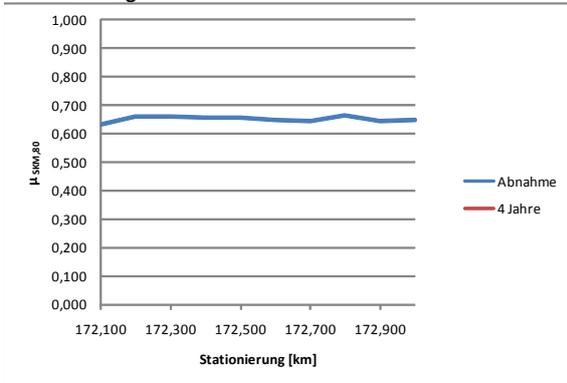
PWS Messung



SRT Messung

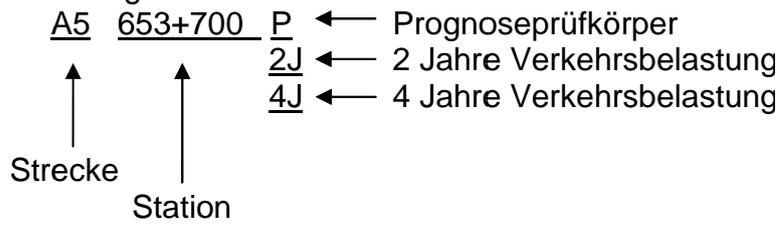


SKM Messung



Abkürzungen: StS = Standstreifen iS = in situ BK = Bohrkern gestr. = Vorbehandlung mit Sandstrahlen
 FS = Fahrstreifen VB = Verkehrsbelastung WS = Walzsegment

Bezeichnung der Aufnahmen:







A30 69+500 P



A30 69+500 ZJ



A30 70+800 P



A40 64+500 P





A91-69+500 P



A91-69+500 P



A91-69+500 2J



Untersuchungen zur Präzision von 3D Aufnahmen mit dem Digitalmikroskop

Für 3D Aufnahmen wird vom Hersteller Keyence bei 100facher Vergrößerung eine Genauigkeit für die Höhenmessungen von circa 10 µm angegeben. Da es sich um ein rein optisches Verfahren handelt, sind der Vermessungsgenauigkeit im 3D Profil Grenzen gesetzt. Wird beispielsweise die Beleuchtungsstärke verändert, was vor allem notwendig ist bei stark reflektierenden Oberflächen, bspw. Bitumen, so sind Veränderungen der Profillinien festzustellen.

Zur Einschätzung der erreichbaren Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit bei der Auswertung von Profillinien aus 3D Aufnahmen wurden einige Voruntersuchungen durchgeführt.

Vergleichbarkeit

Zur Einschätzung der Vergleichbarkeit verschiedener Profile und den daraus abgeleiteten Texturkenngrößen wurden an einer industriell hergestellten Kunststoffoberfläche mit einer nach rein optischen Kriterien homogenen, wenig rauen Oberfläche, acht Profillinien, jeweils zwei pro Aufnahmeposition, aufgenommen und ausgewertet. In Abbildung I sind die Rauheitsprofile und die berechneten Texturkenngrößen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Profilordinaten sich bis zu rund ± 25 µm voneinander unterscheiden und die als Mittelwert der gesamten Messstrecke angegebenen Texturkennwerte R_z (mittlere Amplitudengröße) und R_a (mittlere Rauheit) eine Standardabweichung von $R_z = 6$ µm bzw. $R_a = 1$ µm besitzen. Da die eingesetzte Kunststoffoberfläche nur augenscheinlich als homogen eingestuft worden ist, werden die Standardabweichungen lediglich als Orientierungswerte für die Vergleichbarkeit bei Auswertung und Bewertung der folgenden Untersuchungen an natürlichen Gesteinsoberflächen herangezogen.

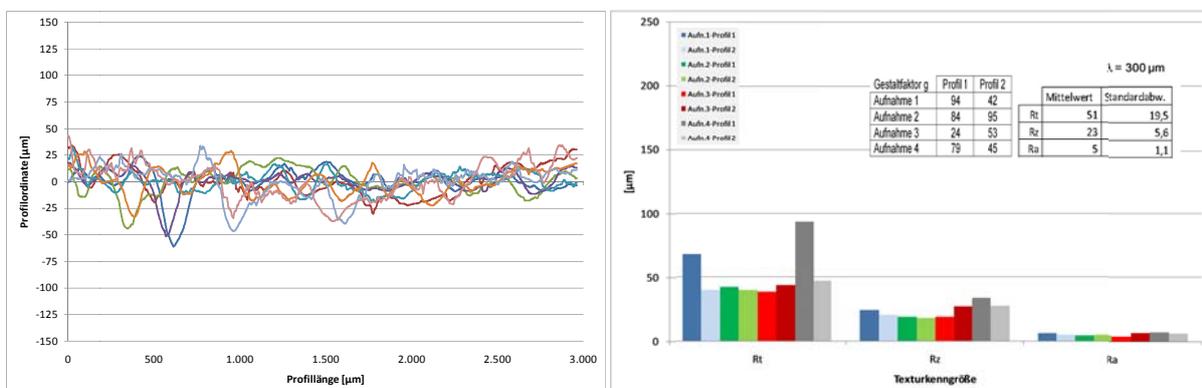


Abbildung I: Rauheitsprofil und Texturkenngrößen ($\lambda = 300$ µm) einer augenscheinlich homogenen Kunststoffoberfläche

Wiederholpräzision bei konstanter Beleuchtung

Bei gleichbleibender Beleuchtungssituation und ohne Veränderung der Aufnahmeposition oder weiterer Parameter am Digitalmikroskop, wurden drei Profillinien unmittelbar nacheinander aufgenommen und die zugehörigen Texturkennwerte R_{max} , R_z , R_a ($100 \mu\text{m} \leq \leq 1.000 \mu\text{m}$) berechnet. In Abbildung II sind die Texturkennwerte dargestellt. Obwohl theoretisch keine Änderungen auftreten dürften, sind deutliche Unterschiede ohne Systematik zu erkennen. Im Bereich der Mikrotextur ($\leq 500 \mu\text{m}$) betragen diese im betrachteten Fall für R_t 13 – 33 μm , für R_z 1 – 14 μm und für R_a 0 – 3 μm .

Wiederholpräzision bei wechselnder Beleuchtung

Bei den 3D Aufnahmen mit dem Digitalmikroskop wird die Oberfläche mit einem im Objektiv integrierten Licht beleuchtet. Die Beleuchtung ist stufenlos regelbar und muss zur Reduzierung von Reflexionen manuell eingestellt werden. Die Einstellung erfolgt ohne Skalierung oder Beleuchtungsstärkenmessung, ist also nur bedingt wiederholbar oder dokumentierbar. Zur Qualifizierung des Einflusses wurden drei Aufnahmen bei deutlich dunkler, idealer mittlerer und deutlich heller Beleuchtung erstellt. Zusätzlich erfolgte zum Vergleich eine Aufnahme bei mittlerer Beleuchtung ohne künstliche Raumbelichtung. Die Texturkennwerte R_{max} , R_z , R_a in Abhängigkeit von der Beleuchtungssituation sind in Abbildung III dargestellt. Für alle Längenwellenbereiche und für alle Texturkennwerte ist erkennbar, dass die Werte mit zunehmender Beleuchtungsstärke ansteigen. Der Einfluss der Beleuchtung ist auch im Falle der Aufnahme ohne künstliche Raumbelichtung erkennbar. Im Bereich der Mikrotextur ($\leq 500 \mu\text{m}$) betragen die Differenzen im betrachteten Fall für R_t 50 – 375 μm , für R_z 12 – 128 μm und für R_a 3 – 27 μm . Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Beleuchtungssituationen ‚dunkel‘ und ‚hell‘ hier deutlich abweichend von einer erkennbaren idealen Beleuchtungssituation gewählt worden sind.

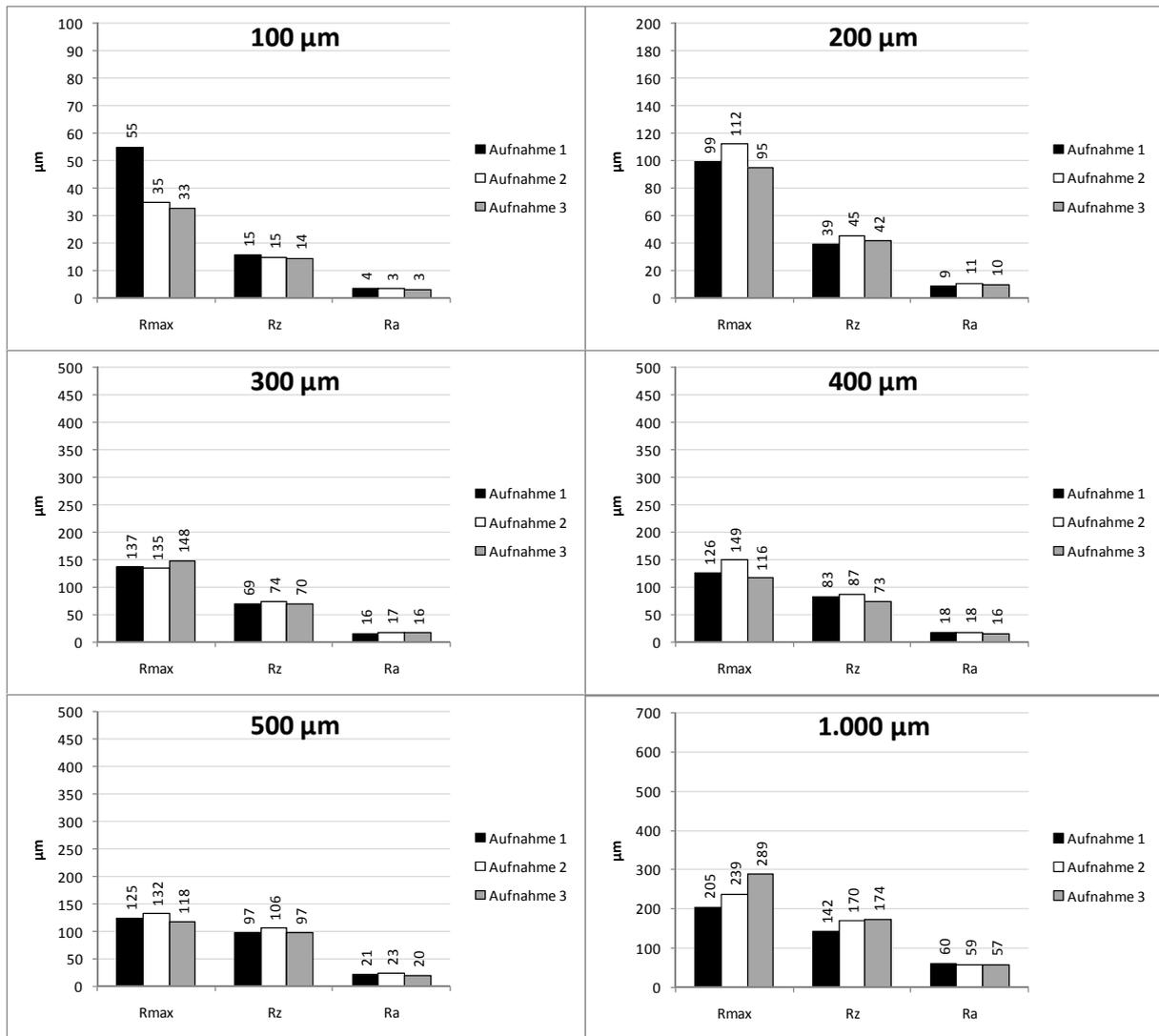


Abbildung II: Wiederholpräzision Digitalmikroskop - Texturkennwerte bei wiederholter Aufnahme derselben Oberfläche bei konstanter Beleuchtung, Profil 1

Tabelle I: Wiederholpräzision Digitalmikroskop - Gestaltfaktor bei wiederholter Aufnahme derselben Oberfläche

Beleuchtungssituation		g [%] Profil 1	g [%] Profil 2
konstante Beleuchtung	Aufnahme 1	16	52
	Aufnahme 2	14	69
	Aufnahme 3	18	71
wechselnde Beleuchtung	dunkel	25	64
	mittel	14	69
	hell	20	57
	ohne Raumbeleuchtung	22	79

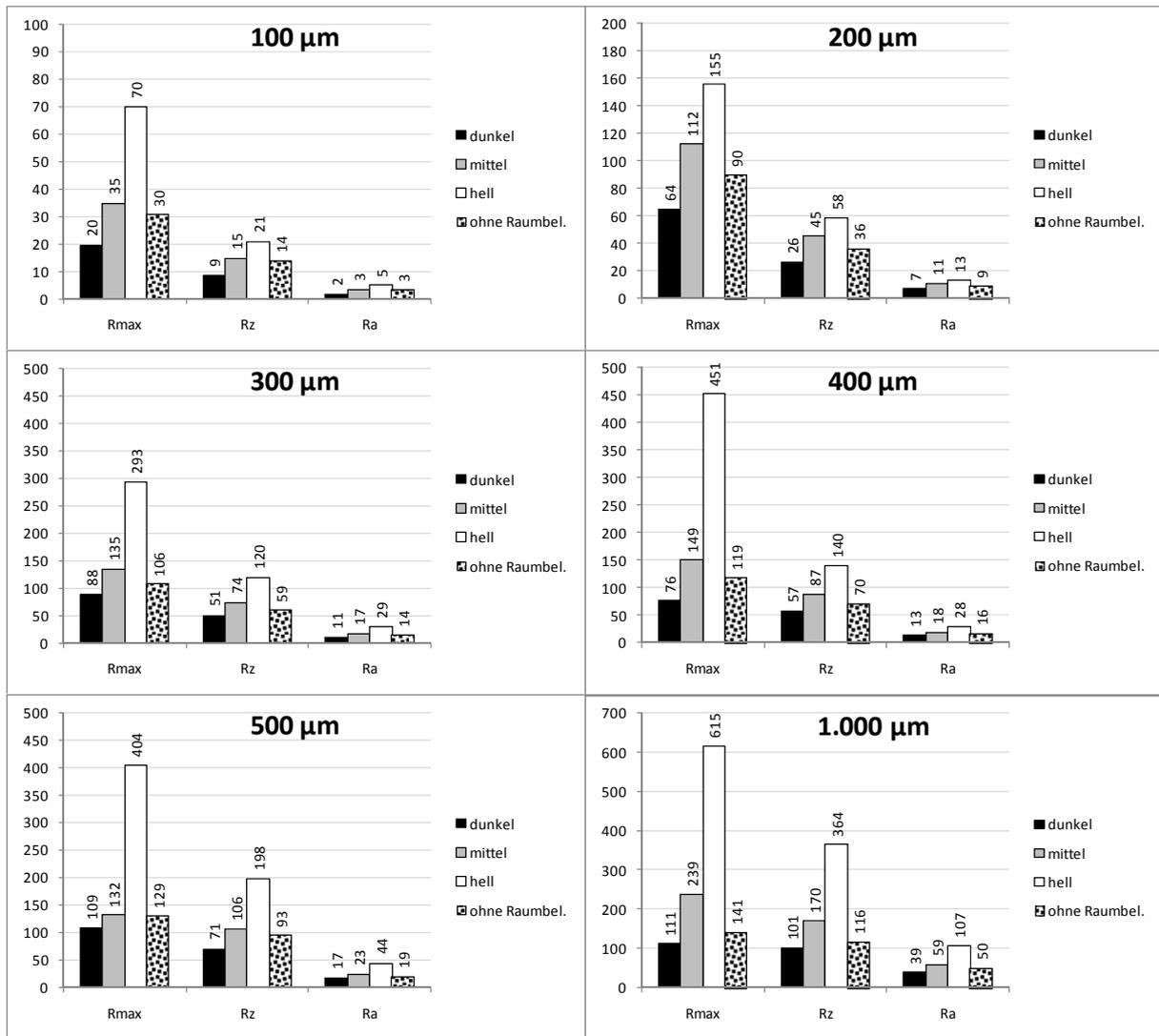


Abbildung III: Wiederholpräzision Digitalmikroskop - Texturkennwerte bei wiederholter Aufnahme derselben Oberfläche bei wechselnder Beleuchtungssituation, Profil 1

Es wird deutlich, dass die Schwäche der Texturaufnahmen mit dem Digitalmikroskop in der rein optischen Auswertung der Aufnahmen liegt, die sehr von der Beleuchtungssituation und auch von dem Umgebungslicht, wie zum Beispiel der Raumbeleuchtung, abhängig ist. Für grundsätzliche und vergleichende Betrachtungen der Textur ist das Verfahren geeignet, sofern auf eine vergleichbare bzw. gleichbleibende Beleuchtungssituation geachtet wird.

Trotz mäßiger Wiederholpräzision zeigt die Auswertung des Gestaltfaktors g, vgl. Tabelle I, dass eine Unterscheidung zwischen konkaver und konvexer Textur auch bei wechselnder Beleuchtungssituation gegeben ist. Der Unterschied des Gestaltfaktors bei Betrachtung zweier Profillinien auf dem gleichen Gestein (Profil 1 konvex, Profil 2 konkav / Abstand der Profillinien circa 1.000 µm), vgl. Abbildung IV, zeigt jedoch, dass die Auswertung der Textur bei einer Messstrecke von maximal 2,9 mm sehr von der Messposition abhängig ist.

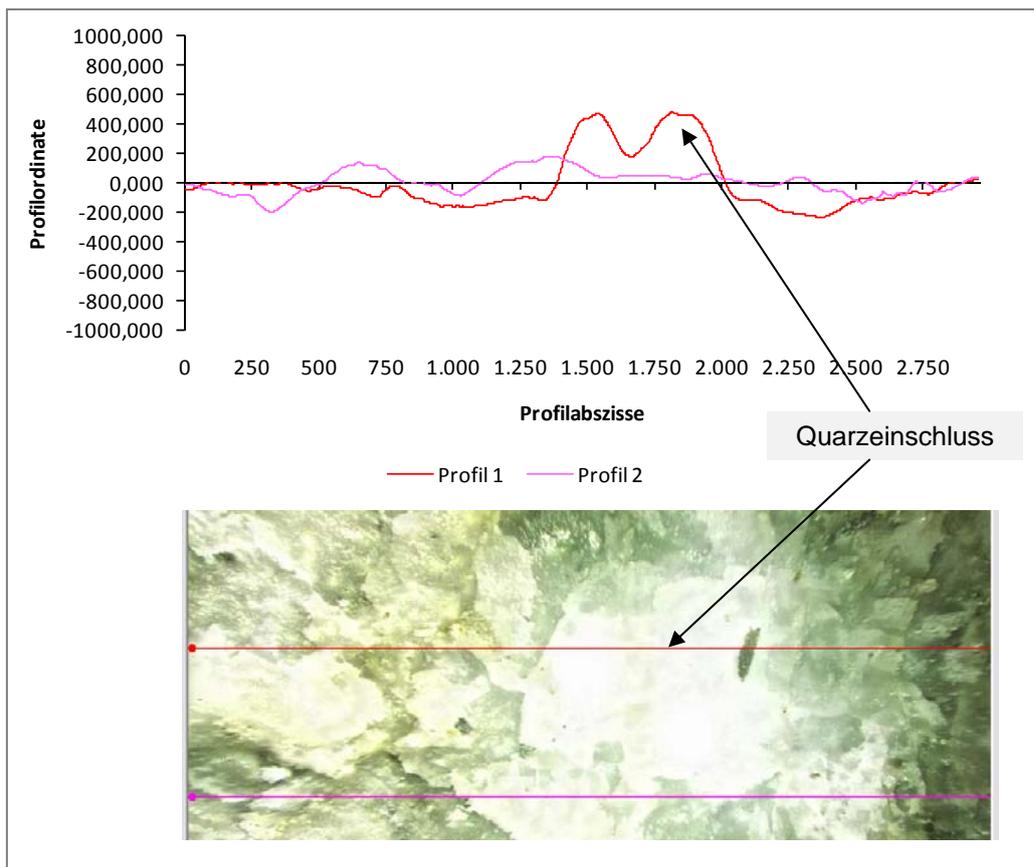


Abbildung IV: Rauheitsprofil und Oberflächenaufnahme - Deutliche Unterscheidung von konvexer (Profil 1) und konkaver (Profil 2) Textur, verursacht durch Quarzeinschluss (Gestein: Quarzporphyr)