

Langzeitwirkung von Dünnen Schichten bezüglich der Erhaltung relevanter Oberflächenmerkmale, Teil 2: Durchführung von Langzeitbeobachtungen

FA 7.195

Forschungsstelle: Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt (Prof. Dr.-Ing. J. S. Bald)

Bearbeiter: Grätz, B. / Riedl, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: März 2005

1. Aufgabenstellung

Grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse bezüglich der Griffigkeit, der Lärmemission, des Abdichtungseffektes und des mechanischen Verhaltens der Dünnen Schichten im Heiß- und Kalteinbau lagen bis 1990 nur vereinzelt in der Literatur vor. Mit dem 1993 abgeschlossenen Forschungsprojekt FA 7.143 wurde eine Verknüpfung dieser Einzelergebnisse erreicht, sodass die bisher in der Praxis gesammelten Erkenntnisse wissenschaftlich begründet werden konnten. Weiterhin wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes auf der BAB A 659 zwischen dem Viernheimer- und dem Weinheimer-Kreuz eine Untersuchungsstrecke mit den beiden Instandsetzungsbauweisen Dünne Schichten im Heißeinbau (SMA 0/5 und SMA 0/8) und Dünnen Schichten im Kalteinbau (DSK 0/5 und DSK 0/8) angelegt und deren Zustand messtechnisch erfasst und bewertet.

1998 wurde ein Forschungsprojekt FA 7.166 zur vergleichenden Untersuchung und Bewertung der beiden Bauweisen, insbesondere aber zur Untersuchung der Erhaltung der Griffigkeit und der Wasserdurchlässigkeit sowie auf zeitliche Änderungen der genannten Kennwerte erfolgreich durchgeführt. Im Hinblick auf eine vergleichende Bewertung der beiden Bauweisen wurde das vorliegende Datenmaterial bezüglich der tendenziellen Veränderungen der Merkmale Alterungsverhalten der Bindemittel im Zusammenhang mit den Gefügekennwerten, Wasserdurchlässigkeit, Schichtenverbund, Spurrinnenbildung und Griffigkeit untersucht. Verglichen wurden die Gesamtmittelwerte der Versuchsfelder sowie die Mittelwerte der beiden Fahrstreifen in Abhängigkeit von der Liegezeit unter Berücksichtigung der Ergebnisse des FA 7.143. Aus dieser vergleichenden Bewertung der fünf Jahre auseinander liegenden Ergebnisse konnte bezüglich des Gebrauchsverhaltens gefolgert werden, dass die Dünnen Schichten im Heißeinbau gegenüber den Dünnen Schichten im Kalteinbau nach einer Liegezeit von 6 Jahren tendenziell ein günstigeres Gebrauchsverhalten aufweisen.

In dem Forschungsbericht FA 7.166 wird ausgeführt, dass auf der Untersuchungsstrecke noch keine Schäden aufgetreten sind und deshalb die weitere Entwicklung der Zustandsmerkmale Substanz, Alterungsverhalten, Wasserundurchlässigkeit, Schichtenverbund, Ebenheit im Querprofil und Griffigkeit weiterhin beobachtet und messtechnisch erfasst werden soll.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes war die Überprüfung der beiden Instandsetzungsbauweisen auf ggf. signifikante Unterschiede bezüglich der o. g. Zustandsmerkmale und deren zeitliche Entwicklung unter Verwendung der in den beiden abgeschlossenen Forschungsvorhaben enthaltenen Ergebnisse auch im Hinblick auf die Prognose der Nutzungsdauer.

2. Untersuchungsmethodik

Die Untersuchungsstrecke besteht aus 8 Versuchsfeldern, von denen je 4 Versuchsfelder auf dem rechten und dem linken Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn Weinheim liegen. Jedes Versuchsfeld enthält 6 Messprofile; der Abstand zwischen 2 Messprofilen beträgt 20 m. Im Rahmen des durchzuführenden Forschungsvorhabens werden in jedem Versuchsfeld 5 zusätzliche Messprofile angelegt, sodass jedes Versuchsfeld 11 Messprofile enthält und der Abstand zwischen 2 Messprofilen 10 m beträgt. Die Messungen werden zu 6 Zeitpunkten durchgeführt (Herbst 2001, Frühjahr 2002, Herbst 2002, Frühjahr 2003, Herbst 2003, Frühjahr 2004). Im Rahmen der Messungen erfolgte eine visuelle Zustandserfassung und -bewertung der Fahrbahnoberfläche. Die Griffigkeit wurde an dem ersten Messtermin mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (SRM), der Sidewayforce Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM) und dem Slip Resistance Measuring Trailer (SRMT) bestimmt. An den folgenden 5 Messterminen wurde die Griffigkeit nur mit der SCRIM und dem SRMT gemessen. An den 6 Messterminen wurde die Ebenheit im Querprofil gemessen. Nach dem Abschluss der Messungen auf der Untersuchungsstrecke im Frühjahr 2004 wurden in jedem der 8 Versuchsfelder in 3 der 5 zusätzlichen Messprofile Bohrkern entnommen. An den Bohrkernen wurden im Laboratorium die Wasserdurchlässigkeit und an der Dünnen Schicht die konventionellen Mischgut- und Bindemittelkennwerte, die rheologischen Bindemittelkennwerte, die Schichtdicken und der Schichtenverbund bestimmt.

3. Untersuchungsergebnisse

Die visuelle Zustandserfassung ergab, dass die Fahrbahnoberfläche in den jeweils 4 Versuchsfeldern beider Fahrbahnen bis einschließlich Frühjahr 2004 keine Mängel in Form der Zustandsmerkmale Substanzverlust/Porosität und Abrieb aufwies. Jedoch traten im linken Fahrstreifen im Versuchsfeld III Einzelrisse auf. Diese Risse laufen von der Fahrbahnoberfläche bis in die Schichtgrenze zwischen der zweiten und der ersten Lage der Asphaltbinderschicht, wie eine Bohrkernentnahme ergab. Diese Risse waren schon vor dem Einbau der Dünnen Schicht im Juli/August 1990 in dem alten Fahrbahnbelag vorhanden; weiterhin wurden sie auch im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsprojektes FA 7.166 wieder bestätigt. Diese Risse entsprechen Reflexionsrissen.

Im FA 7.166 wurde festgestellt, dass zur Bewertung der Ebenheit im Querprofil nur die aus den Querfilmmessungen berechneten Indikatoren Spurrinnentiefe s_H (fiktive Wassertiefe) und Profiltiefe p_T berücksichtigt werden müssen. Die fiktive Wassertiefe ist eine verkehrssicherheitsrelevante Einflussgröße. Die Beanspruchung einer Fahrbahnbefestigung in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung bezüglich der Entwicklung von Spurrinnen wird mit der Profiltiefe quantifiziert. Die Mittelwerte der Profiltiefen der vier Versuchsfelder sind i. a. kleiner als die in der ZTV BEA-StB 98/03 aufgeführten Grenzwerte, die bei der Abnahme gelten. Die verlegten Dünnen Schichten erfüllen somit auch nach einer Nutzungsdauer von 14 Jahren das "Ebenheitskriterium". Die Werte der fiktiven Wassertiefen liegen in einer Größenordnung, die die Verkehrssicherheit durch

"Pfützenbildung" und damit den Kontaktdruck zwischen Reifen und Fahrbahn bezüglich einer optimalen Griffigkeit nicht negativ beeinflusst.

Die Griffigkeit wurde mit dem Stuttgarter Reibungsmesser (SRM) im Herbst 2001, der Sidewayforce Coefficient Routine Investigation Machine (SCRIM) und dem Slip Resistance Measuring Trailer (SRMT) vom Herbst 2001 bis zum Frühjahr 2004 an insgesamt fünf Terminen gemessen. Die Bewertung der bei den Messgeschwindigkeiten 60 km/h und 80 km/h ermittelten μ SCRIM-Werte gemäß den Vorgaben der Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) hat ergeben, dass die Notenwerte in den vier Versuchsabschnitten unterhalb des Warnwertes von 3,5 liegen. Der Warnwert beschreibt einen Zustand, dessen Erreichen Anlass zu intensiver Beobachtung, zur Analyse der Ursachen für den schlechten Zustand und gegebenenfalls zur Planung von geeigneten Maßnahmen gibt. Griffigkeitserhöhende Maßnahmen müssen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht durchgeführt werden. Grenzwerte als Warn- und Schwellenwerte liegen für den mit dem SRMT gemessenen Reibwert noch nicht vor. Die Messungen haben ergeben, dass zwischen dem Reibwert und dem μ SCRIM ein linearer Trend besteht.

Die ermittelten Mischgutkennwerte Splitt-, Sand-, Füller- und Bindemittelgehalt sowie die Gefügekennwerte (Hohlraumgehalte) der Dünnen Schichten weisen im Vergleich zu den im Forschungsbericht des FA 7.166 aufgeführten Daten keine signifikanten Unterschiede auf. Der Kennwert Erweichungspunkt Ring und Kugel (EP RuK) des rückgewonnenen Bindemittels weist innerhalb der Versuchsfelder und auch zu den im FA 7.166 aufgeführten Untersuchungsergebnissen Unterschiede auf; die EP RuK sind z. T. angestiegen. Die Erhöhung des EP RuK während der Liegezeit einer Fahrbahnbefestigung ist auf das Alterungsverhalten des Bitumens zurückzuführen. Die Alterung, d. h. die Änderung des EP RuK, wird in großem Maße durch den Hohlraumgehalt beeinflusst. Für die beiden Bauweisen mit DSK und SMA konnten Trendgleichungen ermittelt werden, die die Abhängigkeit zwischen dem EP RuK und dem Hohlraumgehalt beschreiben. Die Zunahme des EP RuK des Bitumens aus dem SMA wird gegenüber dem EP RuK des Bitumens aus der DSK durch die Größe des Hohlraumgehaltes weniger beeinflusst. Die EP RuK liegen in einer Spannweite zwischen ca. 55 °C und ca. 80 °C. Trotz der hohen EP RuK von 70 °C bis 80 °C ist auf den Fahrbahnoberflächen noch keine Rissbildung erkennbar.

Neben dem konventionellen Bindemittelkennwert EP RuK wurden auch rheologische Kennwerte mit dem Dynamischen Scher-Rheometer (DSR) bei der Prüftemperatur von 50 °C ermittelt. Mit dem DSR wurden Schubwechselversuche und Kriech-Rückverformungs-Versuche durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Schubwechselversuche konnte abgeleitet werden, dass das Bitumen aus der DSK gegenüber dem Bitumen aus dem SMA höhere Schubmodule aufweist (das Bitumen aus der DSK besitzt gegenüber Schubbeanspruchung einen höheren Widerstand) und das Bitumen aus der DSK gegenüber dem Bitumen aus dem SMA niedrigere Nachlaufwinkel aufweist (das Bitumen aus der DSK besitzt höhere elastische Anteile). Aus den Kriech-Rückverformungs-Versuchen ist ersichtlich, dass bei der Prüftemperatur von 50 °C im Kriechverhalten der Bitumen fast ausschließlich die sekundäre Kriechphase auftritt. In dieser Kriechphase ist die Verformungsgeschwindigkeit infolge der konstanten Schubbeanspruchung konstant. Das Bitumen verhält sich linear viskos. Die untersuchten Bitumen weisen auch keine Rückverformung auf. Dieses Stoffverhalten ist ein Indiz für das linear viskose Verhalten der Bitumen bei dieser Temperatur.

An jeder Bohrkernscheibe der Dünnen Schichten wurde deren Schichtdicke bestimmt. Die Schichtdicken weisen zwischen den

Versuchsfeldern und den Fahrstreifen im Mittel nur geringe Unterschiede auf; der Mittelwert beträgt für die vier Versuchsfelder 13 mm.

Die Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner zwischen der Dünnen Schicht und der Unterlage ergab, dass die Kennwerte maximale Scherkraft und Verformung im Bruchzustand zwischen den Jahren 1996 und 2004 keine wesentlichen Veränderungen erfahren haben. Aus dem Vergleich der ermittelten Mittelwerte dieser Kennwerte mit den in der Literatur vorgeschlagenen Anforderungswerte ist ersichtlich, dass die Minimalwerte kleiner 25 kN, d. h. kleiner dem in der Schichtgrenze zwischen Asphaltdeck- und Asphaltbinderschicht geforderten Wert, sind. Die ermittelten Maximalwerte der Verformungen im Bruchzustand sind z. T. größer als der in der Literatur vorgeschlagene "Bereich günstigen Bruchverhaltens für den Scherweg im Bruchzustand". Trotz dieser Abweichungen von den vorgeschlagenen Anforderungswerten für den Schichtenverbund sind bisher auf der BAB A 659 noch keine Schäden, z. B. Abplatzungen, aufgetreten. Die in der Literatur aufgeführten Werte beruhen auf einer statistischen Auswertung der Messwerte. Ob diese Werte im Sinne des Technischen Regelwerkes als "ausreichender Schichtenverbund" anzusehen sind, oder ob, wie dies im Nachgang zu der Forschungsarbeit FA 7.182 diskutiert wurde, auch ein niedrigerer Schichtenverbund zur Aufnahme der Verkehrsbeanspruchung ausreicht, kann mit einer auf statistischer Auswertung basierenden Arbeit nicht alleine beantwortet werden. Zur prüftechnischen Ansprache des Verbundes zwischen zwei Schichten am Bohrkern muss entsprechend der Theorie in der Schichtgrenze eine Schubspannung und zwischen den beiden Schichten eine Relativverschiebung stattfinden. Dieser Beanspruchungszustand wird bei der Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner realisiert. Aus dem Vergleich der Beanspruchungszustände in den Schichtgrenzen des Bohrkernes und der Fahrbahnbefestigung könnten praxisgerechte und nicht nur statistisch abgeleitete Anforderungswerte für den Schichtenverbund nach Leutner abgeleitet werden. Mögliche Vorgehensweisen sind in der Literatur skizziert. Diese Vorgehensweise beruht auf der Coulomb-Mohr'schen Bruchbedingung, bei der die Festkörperreibung als Verzahnungs-Reibungseffekt und die Flüssigkeitsreibung als Klebeverbinding berücksichtigt werden. Diese Klebeverbinding entspricht der Adhäsion zwischen den Schichten und damit der Haftzugfestigkeit.

Die Ergebnisse der Prüfung der Haftzugfestigkeit zwischen der Dünnen Schicht und der Unterlage und die Verformung im Bruchzustand ergab, dass der Mittelwert der Haftzugfestigkeit bei der Bauweise mit DSK gegenüber der Bauweise mit SMA kleiner ist; die gleiche Tendenz weist die Verformung im Bruchzustand auf. Bezüglich der Klassifizierung der Bruchfläche ist festzustellen, dass die Bruchfläche im rechten Fahrstreifen in der Unterlage (Klassifizierung E) und im linken Fahrstreifen in der Schichtgrenze (Klassifizierung C, Adhäsionsbruch) liegt. Die im rechten Fahrstreifen auftretende höhere Belastung hat die Schichtgrenze zwischen den Dünnen Schichten und der Unterlage im Vergleich zur Unterlage "verfestigt". Die Schichtgrenze weist gegenüber der Unterlage eine höhere Haftzugfestigkeit auf. In dem linken Fahrstreifen hat dieser Effekt nicht stattgefunden. Im Technischen Regelwerk liegen in der ZTV BEA-StB 98/03 nur Anforderungen an die Haftzugfestigkeit für die Bauweise DSK vor; die Haftzugfestigkeit muss bei der Abnahme $\geq 0,5 \text{ N/mm}^2$ sein. Dieser Wert wird bis auf einen Einzelwert ($0,4 \text{ N/mm}^2$) nach 14 Liegejahren der Dünnen Schichten überschritten. Vergleichswerte aus der Vergangenheit liegen für diese BAB nicht vor.

Die mit den beiden Prüfverfahren ermittelten Untersuchungsergebnisse bezüglich des Schichtenverbundes zeigen in Verbin-

dung mit der visuellen Zustandserfassung und -bewertung, dass zwischen den auf der BAB im Jahr 1990 verlegten Dünnen Schichten und der Unterlage ein guter Schichtenverbund vorliegt; Abplatzungen und sonstige Schäden sind bisher noch nicht aufgetreten.

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit ergab, dass die Oberflächen der DSK-Schicht und der SMA-Schicht wasserundurchlässig sind.

4. Folgerungen für die Praxis

Die vergleichende Bewertung der beiden Instandsetzungsbauweisen Dünne Schichten im Heißeinbau (SMA 0/5 und

SMA 0/8) und Dünne Schichten im Kalteinbau (DSK 0/5 und DSK 0/8) auf Unterschiede bezüglich der für das Gebrauchsverhalten maßgeblichen Zustandsmerkmale Substanz, Ebenheit im Querprofil, Griffigkeit, Schichtenverbund und Wasserdurchlässigkeit und deren zeitliche Entwicklung in den 14 Jahren Liegedauer hat ergeben, dass die beiden Bauweisen zum jetzigen Zeitpunkt das gleiche Gebrauchsverhalten aufweisen.

Ein Ende der Nutzungsdauer und damit der Zeitpunkt für die Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme kann noch nicht prognostiziert werden. □