

Ergebnisse von Untersuchungsstrecken mit SMA 8 S

# Auswirkungen des Einbauhohlraumgehaltes auf Alterung und Verformungsbeständigkeit

Dieter Großhans und Sandra Kaden, Berlin

Beobachtungen von SMA 8 S-Deckschichten zeigen, dass durchaus häufig schon im Gewährleistungszeitraum oder kurze Zeit später Mängel und Schäden an Fahrbahnoberflächen auftreten. Eine Ursache hierfür ist der bereits beim Einbau vorhandene erhöhte Hohlraumgehalt der fertigen Deckschicht. Zur Beleuchtung dieser Problematik wurden im Auftrag des Landesbetriebes Straßenwesen Brandenburg von der Peba Prüfinstitut für Baustoffe GmbH Langzeituntersuchungen an SMA 8 S-Deckschichten durchgeführt.

Durch Kontrollprüfungen an SMA 8 S-Deckschichten über einen Zeitraum von 13 Jahren lagen zahlreiche Untersuchungsergebnissen vor. In Fortführung der Auswertung erfolgten hierzu weiterführend vergleichende Untersuchungen an ausgewählten Streckenabschnitten [1].

Um die Auswirkungen des Hohlraumgehaltes an der fertigen Schicht auf das Alterungsverhalten und die Verformungsbeständigkeit von SMA 8 S-Deckschichten zu untersuchen, wurden zunächst Strecken ausgewählt, welche im Rahmen der Kontrollprüfung unterschiedliche Hohlraumgehalte  $V_E$  aufwiesen. Die vorhandene Spannweite des vorliegenden Hohlraumgehaltes wurde hierbei in unterschiedliche Bereiche (Kategorien) unterteilt. Die Festlegung der Grenzen dieser Kategorien erfolgte auf der Grundlage von Erfahrungswerten hinsichtlich der in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt zu vermutenden Restnutzungsdauer. Somit konnte jede Entnahmestelle der untersuchten Bauvorhaben einer der nachfolgend aufgeführten Kategorien zugeordnet werden.

**Kategorie I: Hohlraumgehalt  $V_E \leq 6,0$  Vol.-%**  
Diese Kategorie charakterisiert dichte bis gering wasserdurchlässige Schichten und entspricht dem gemäß ZTV Asphalt-StB 01 festgelegten Anforderungswert für die Asphaltdeckschicht SMA 8 S.

**Kategorie II: Hohlraumgehalt  $V_E > 6,0$  Vol.-% bis  $8,0$  Vol.-%**

Dieser Bereich kennzeichnet gering bis mittel wasserdurchlässige Schichten. Bedingt durch den hier vorliegenden, vergleichsweise hohen Hohlraumgehalt ist von einer nicht abschätzbaren

Hohlraumgehalt (BK)						
	Bauvorhaben	Baujahr	Bauklasse	Nutzungsdauer	KP <sub>E</sub>	KP <sub>2009/2010</sub>
Kategorie I ( $V_E < 6,0$ Vol.-%)	Neue Krugallee	1996	III	14	2,1	2,4
	Segelflieger-	2003	III	7	2,4	1,7
	Am Studio	1998	IV	11	3,2	2
	Köpenicker Landstraße	1993	I - II	16	4,2	3,8
	Köpenicker Landstraße	1993	I - II	16	5,8	4,6
Kategorie II ( $V_E = 6 - 8,0$ Vol.-%)	Bitterfelder Straße	2002	III	8	6,3	5,9
	Lehmustraße	1999	IV	11	6,5	6,8
	OD Glau	2000	IV	10	7,9	11
	EST 2	2000	IV	10	7,9	11
Kategorie III ( $V_E > 8,0$ Vol.-%)	Britzer Straße	2002	V	8	8,1	12
	Neue Krugallee	1996	III	14	10	12,2
	OD Glau	2000	IV	10	10,3	10,9
	EST 1	2000	IV	10	10,3	10,9
	Fanningers Straße	1992	IV	17	12	9,4
	Neue Krugallee	1996	III	14	12,8	8,4
	Südostallee	1999	II	11	14,5	6,7

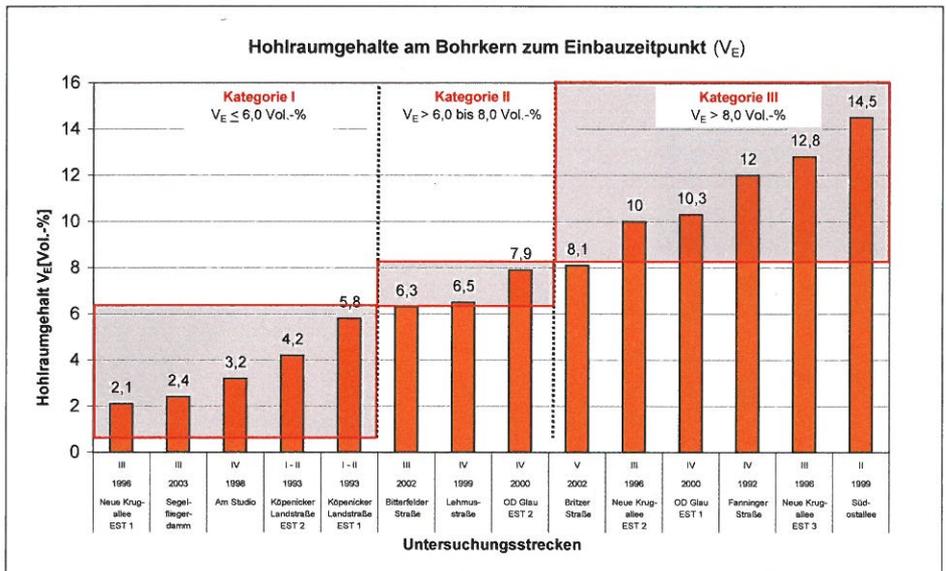


Abbildung 1: Untersuchte Streckenabschnitte mit Angabe der Hohlraumgehalte zum Einbauzeitpunkt.



*Bild 1: Beispiel für eine Fahrbahnoberfläche mit einem ebenen, augenscheinlich dichten, bindemittelreichen Oberflächenzustand: StraÙe Segefliegerdamm.*

Nutzungsminderung der Fahrbahnoberfläche auszugehen. Innerhalb dieses Bereiches hat der Bauherr gemäß den Regelungen für die Länder Berlin [6] und Brandenburg [7] bei Abnahme der Bauleistung die Möglichkeit der Verlängerung der Gewährleistungsfrist für Mängelansprüche bzw. die Möglichkeit der Vornahme von Abzügen.

**Kategorie III: Hohlraumgehalt  $V_E > 8,0$  Vol.-%**

Die Kategorie III erfasst besonders hohe Hohlraumgehalte. Asphaltdeckschichten mit diesen Hohlraumgehalten gelten als wasserdurchlässig.

Überdies ist zu vermuten, dass sich derart hohe Hohlraumgehalte negativ auf das Alterungsverhalten (Versprödung des Bindemittels) und somit auch auf die Langlebigkeit auswirken können. Ferner sind Nachverdichtungen nicht auszuschließen, so dass infolgedessen Verformungen auftreten können. Dieser Hohlraumgehaltsbereich lässt eine so starke Nutzungsminderung erwarten, dass der Ausbau und die Erneuerung der Schicht zu empfehlen ist (siehe hierzu auch [6] und [7]).

Neben Streckenabschnitten, die in ihrer Gesamtheit in eine der drei vorstehend aufgeführten Hohlraumgehaltskategorien eingeordnet werden können, wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen auch Strecken mit sehr

inhomogenem Erscheinungsbild untersucht, deren Entnahmestellen, gemäß den prüftechnischen Unterschieden der Hohlraumgehalte, zum Zeitpunkt der Kontrollprüfung verschiedenen Kategorien zuzuordnen sind. Diese Untersuchungsstrecken werden als inhomogene Untersuchungsstrecken bezeichnet. Die hierbei untersuchten Entnahmestellen werden abschnittsweise den vorgenannten Kategorien zugeordnet.

Die Mehrzahl aller im Rahmen der Kontrollprüfungen ermittelten Hohlraumgehalte am Bohrkern wiesen Werte zwischen  $V_E = 3,6$  bis  $8,4$  Vol.-% auf [1]. Zur Verdeutlichung sich abzeichnender Entwicklungstrends wurden für die Untersuchungen überdies auch bewusst Streckenabschnitte ausgewählt, an denen im Rahmen der Kontrollprüfung (nach dem Einbau) besonders niedrige bzw. besonders hohe Hohlraumgehalte ermittelt wurden.

Aus dem vorliegenden Datenumfang wurden somit für die Langzeituntersuchungen zehn Baumaßnahmen mit insgesamt 14 Einzelabschnitten und damit für jede einzelne Kategorie drei bis fünf repräsentative Streckenabschnitte ausgewählt. Diese wiesen zum Zeitpunkt der Untersuchung (2009 bzw. 2010) eine Nutzungsdauer von 7 bis 17 Jahren mit unterschiedlicher Verkehrsbelastung (BK I bis V) auf. Abbildung 1 zeigt die ausgewählten Streckenabschnitte und die jewei-

# Corabitt® Fugenband

**Corabitt® SK**  
jetzt auch  
selbstklebend



Das anschmelzbare bituminöse Fugenband für den sicheren Nahtverschluss im AsphaltstraÙenbau.

**HÄNDLER, INTERESSE?**  
Besuchen Sie uns in  
Herten-Westerholt.  
Oder rufen Sie uns an,  
wir kommen zu Ihnen.

ORIGINAL  
**kebu®**



ABDICHTUNG ROHRSCHUTZ STRASSENTECHNIK

**Kebulin-Gesellschaft Kettler GmbH & Co. KG**

Ostring 9 · 45701 Herten-Westerholt  
Telefon +49 209 9615-0 · Fax +49 209 9615-190  
E-Mail: info@kebu.de · www.kebu.de

[www.kebu.de](http://www.kebu.de)



Bild 2: Die „Köpenicker Landstraße“ mit Rissen, die aus der Betontragschicht durchschlagen.



Bild 3: Die Fahrbahnoberfläche der „Lehmusstraße“ weist geringfügige Alters- und Verschleißerscheinungen und einzelne Kornausbrüche auf.

lige Zuordnung zu einer Hohlraumgehaltskategorie.

An den einzelnen Streckenabschnitten wurden zunächst vor Ort visuelle Zustandserfassungen des Fahrbahnoberflächenzustandes und des vorhandenen Schadensbildes vorgenommen. Diese wurden bei der Bewertung der Streckenabschnitte in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung und der jeweiligen Nutzungsdauer berücksichtigt. Um die Entwicklung der Eigenschaften der fertigen Schicht (Hohlraum und Verdichtungsgrad) sowie die Veränderung der Mischguteigenschaften im Verlauf der Liegedauer zu untersuchen, wurden jeweils im Bereich der ursprünglichen Kontrollprüfstellen Bohrkerne entnommen.

Neben den Untersuchungen von Mischgutzusammensetzung, Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad wurden für die Untersuchung des Alterungsverhaltens zusätzlich separate Bindemitteluntersuchungen am zurückgewonnenen Bitumen der einzelnen Untersuchungsstrecken durchgeführt.

### Charakterisierung der ausgewählten Streckenabschnitte

#### Allgemeine Feststellungen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der visuellen Zustandserfassung der Streckenabschnitte vorgestellt, nach Kategorien untergliedert und zusammenfassend bewertet. Das Verformungs- und Alterungsverhalten der ausgewählten Streckenabschnitte wird hierbei in Abhängigkeit vom ermittelten Hohlraumgehalt und Verdichtungsgrad der fertigen Asphalttschicht, der Mischgutzusammensetzung und der Bindemittleigenschaften zum Einbauzeitpunkt und zum Zeitpunkt der Begutachtung in 2009 bzw. 2010 vergleichend bewertet.

Die Einbeziehung weiterer, das Gebrauchsverhalten und die Dauerhaftigkeit beeinflussender

Parameter, wie örtliche Lage, Fahrbahnaufbau, Verkehrsbeanspruchung u. a., konnte mit dem vorhandenen finanziellen Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen werden. Die Qualität der Untersuchungsabschnitte wurde daher durch die Verfasser im Zusammenhang mit der vor Ort eingeschätzten Verkehrsbelastung und der von Seiten der Straßenbaulastträger angegebenen Bauklasse bewertet. Dargestellte Zusammenhänge können demzufolge und auch wegen der geringen Stichprobenanzahl (zehn Untersuchungsstrecken mit insgesamt 14 betrachteten Entnahmestellen) nur als richtungweisend angesehen werden.

#### Kategorie I ( $V_E \leq 6,0$ Vol.-%)

Die Fahrbahnoberflächen aller innerhalb der Kategorie I untersuchten Streckenabschnitte wiesen zum Zeitpunkt der Begutachtung im Jahr 2009/10 einen ebenen, geschlossenen und augenscheinlich dichten Oberflächenzustand auf (Bild 1).

Bei den ausgewählten Streckenabschnitten mit Hohlraumgehalten  $V_E = 2,1$  bis  $5,8$  Vol.-% (Hohlraumgehalt im Einbauzeitraum) wurden mit durchschnittlich  $1,5$  mm überwiegend nur geringe Spurrinntentiefen und damit eine gute Verformungsbeständigkeit festgestellt.

Die beim Bauvorhaben (BV) „Segelfliegerdamm“ ermittelte relativ hohe Spurrinntentiefe von  $3,0$  -  $7,5$  mm ist auf das sehr hohlraumarme Mischgut zum Einbauzeitpunkt  $V_E = 2,4$  Vol.-% in Verbindung mit dem hohen Verkehrsaufkommen zurückzuführen.

Trotz der teilweise sehr langen Nutzungsdauer (7 bis 16 Jahre), sind an den Strecken der Kategorie I visuell kaum Alterungsschäden festzustellen. Dies lässt sich durch das bindemittelreiche und hohlraumarme Gefüge erklären.

Die Strecke „Köpenicker Landstraße“ (Bild 2) wurde wegen der sehr langen Liegedauer (16 Jahre) in Verbindung mit einer hohen Verkehrsbeanspruchung (Bauklasse I–II) in die Betrachtung

einbezogen und nimmt unter den für die Kategorie I ausgewählten Bauvorhaben eine Sonderstellung ein. Denn die Fahrbahnoberfläche wies im Untersuchungszeitraum Schädigungen in Form von Kornausbrüchen und Rissbildungen auf. Die Kornausbrüche sind auf das verwendete nicht ausreichend frostbeständige und schlagfeste Gestein Rhyolith [12] zurückzuführen. Die entstandenen Risse resultieren aus dem „Durchschlagen“ und Zerfall der darunter liegenden hydraulisch gebundenen Tragschicht (Asphaltüberbauung nur ca.  $7,0$  cm).

#### Kategorie II ( $V_E > 6,0 \leq 8,0$ Vol.-%)

Die für die Kategorie II ausgewählten Streckenabschnitte („Bitterfelder Straße“, „Ortsdurchfahrt Glau/Entnahmestelle 2“) sind als Hauptverkehrsstraßen den Bauklassen III und IV zuzuordnen. Bei der „Lehmusstraße“ ist als Anliegerstraße von einer Bauklasse V auszugehen, so dass hier der witterungsbedingte Einfluss gegenüber der durch den Verkehr hervorgerufenen Beanspruchung überwiegt.

Nach einer Liegedauer von 8 bis 11 Jahren weisen alle untersuchten Streckenabschnitte noch einen guten Zustand auf. Der Fahrbahnoberflächenzustand stellt sich insgesamt als geschlossen ohne Rissbildungen dar (Bild 3). Die überwiegend gleichmäßig, grobrauhe Oberflächentextur weist auf einen geringfügig vorhandenen Mörtelausstrag hin. Spurrinnenbildungen konnten nur an der relativ stark befahrenen „Bitterfelder Straße“ bis zu einer Tiefe von  $2,5$  und  $5,5$  mm festgestellt werden.

#### Kategorie III ( $V_E > 8,0$ Vol.-%)

Die für die Kategorie III ausgewählten Streckenabschnitte weisen sowohl hinsichtlich der zum Untersuchungszeitpunkt vorhandenen Nutzungsdauer (8 bis 17 Jahre) als auch bezüglich der jeweiligen Verkehrsbeanspruchung (BK II bis V) eine große Spannweite auf (Abbildung 1).



Bild 4: Die Fahrbahnoberfläche der „Südostallee“ mit deutlichen Alterungs- und Verschleißerscheinungen, überwiegend Netzzrissbildungen, einer grobrauben Oberfläche, Kornausbrüchen und Ermüdungsrissen.



Bild 5: Die Fahrbahnoberfläche „OD Glau, Entnahmestelle 1“ mit geringfügigen Alterungs- und Verschleißerscheinungen, einzelnen Kornausbrüchen und geringer Nachverdichtung.

Der Vergleich des Erscheinungsbildes der Fahrbahnoberflächen untereinander zeigt einen deutlichen Anstieg in der Ausprägung von Schäden, je höher der Hohlraumgehalt zum Einbaupunkt war. Netzzrissbildungen und Mörtelaustrag sind bei den Bauvorhaben „Fanninger Straße“ ( $V_E = 12,0$  Vol.-%) und „Südostallee“ ( $V_E = 14,5$  Vol.-%) wesentlich stärker ausgeprägt (Bild 4) als beim Bauvorhaben „OD Glau, EST 1“ ( $V_E = 10,3$  Vol.-%) oder „Britzer Straße“ ( $V_E = 8,1$  Vol.-%) (Bild 5).

Am Bauvorhaben: „Neue Krugallee“ (inhomogener Streckenabschnitt) mit einer geschätzten Bauklasse III wurden insgesamt drei Entnahmestellen mit unterschiedlichen Hohlraumgehalten untersucht. Diese Vorgehensweise hatte den Vorteil der direkten Vergleichbarkeit hinsichtlich des Einflusses des Einbauhohlraumgehaltes auf die Entstehung von Schadensbildern unter sonst gleichen Witterungs- und Verkehrseinflüssen sowie Einbaubrandbedingungen. Im Vergleich der Entnahmestelle 1 ( $V_E = 2,1$  Vol.-%, Kategorie I) zu den Entnahmestellen 2 und 3 ( $V_E = 10,0$  Vol.-% bzw.  $V_E = 12,8$  Vol.-%) war ein deutlicher Unterschied des Erscheinungsbildes der Fahr-

bahnoberfläche festzustellen. Während sich der Splittmastixasphalt an der Entnahmestelle 1 eben, oberflächlich sehr dicht und ohne Rissbildung darstellte, waren an den Entnahmestellen 2 und 3 bereits starke Alterungserscheinungen (Kornausbrüche, Risse) vorhanden. Die SMA-Deckschicht wurde aufgrund dieser Schäden im Jahr 2010 nach 14jähriger Nutzungsdauer erneuert.

Die Bauvorhaben „Fanninger Straße“ und „Britzer Straße“ wiesen trotz der nur sehr geringen Verkehrsbeanspruchung (BK IV und V) erhebliche, ausschließlich alterungsbedingte Schäden auf. Besonders stark von Ausmagerungserscheinungen (Risse, Mörtelaustrag) betroffen ist der sehr hohlraumreiche Deckschichtbelag der Fanninger Straße.

Beim Bauvorhaben „Südostallee“ wirkte sich die hohe Verkehrsbeanspruchung (BK II) neben den sehr hohen Hohlraumgehalten zusätzlich auf die Entstehung von Ermüdungsrissen aus. Die Strecke mit einem Hohlraumgehalt von  $V_E = 14,5$  Vol.-% an der fertigen Schicht wies zum Untersuchungszeitpunkt eine Liegedauer von elf Jahren auf. Neben Kornausbrüchen zeichnen sich

auf der Fahrbahnoberfläche starke Netzzrissbildungen und Ermüdungsrisse ab. Einzelne Bereiche wurden bereits geflickt. Insgesamt ist die Oberflächentextur des innerhalb der Kategorie III liegenden Streckenabschnittes als stark offenporig einzuschätzen.

### Vergleichende Betrachtung der Untersuchungsergebnisse

Für die Untersuchung der Auswirkungen des Einbauhohlraumgehaltes auf das Alterungsverhalten des Mischgutes werden die Ergebnisse zum Einbaupunkt ( $KP_E$ ) und zum Zeitpunkt der Untersuchungen in 2009 bzw. 2010 ( $KP_{2009/2010}$ ) an allen Untersuchungsstrecken vergleichend betrachtet und nachfolgend erläutert.

#### Fertige Schicht

Der Vergleich der Untersuchungsergebnisse zum Einbaupunkt mit denen zum Untersuchungszeitpunkt 2009/10 zeigte größtenteils bei den Kategorien II und III eine Erhöhung des Hohlraumgehaltes.

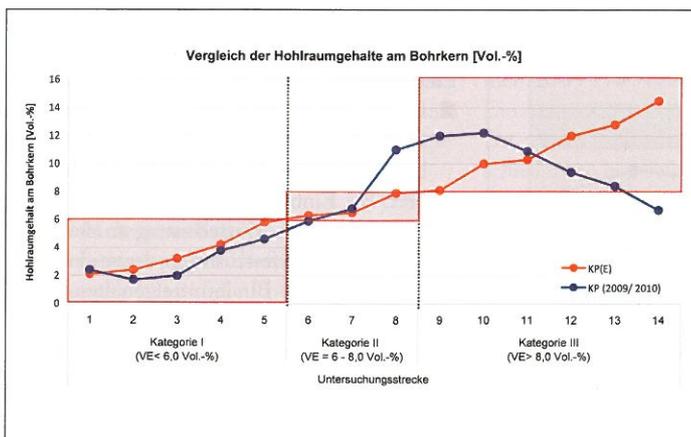


Abbildung 2: Vergleich der Entwicklung der Hohlraumgehalte am Bohrkern beider Untersuchungszeiträume.

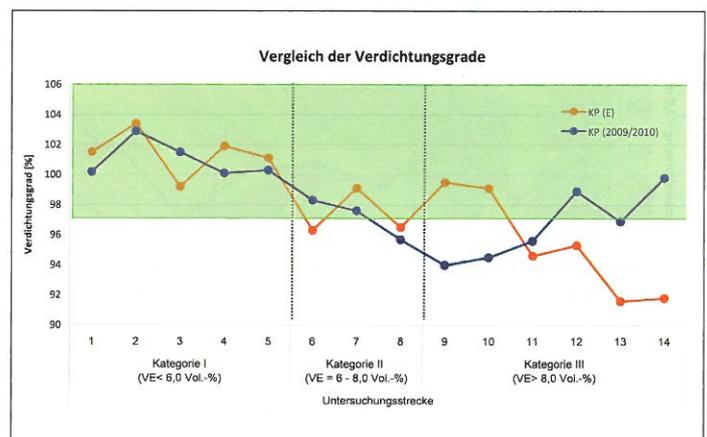


Abbildung 3: Vergleich der Verdichtungsgrade beider Untersuchungszeiträume.

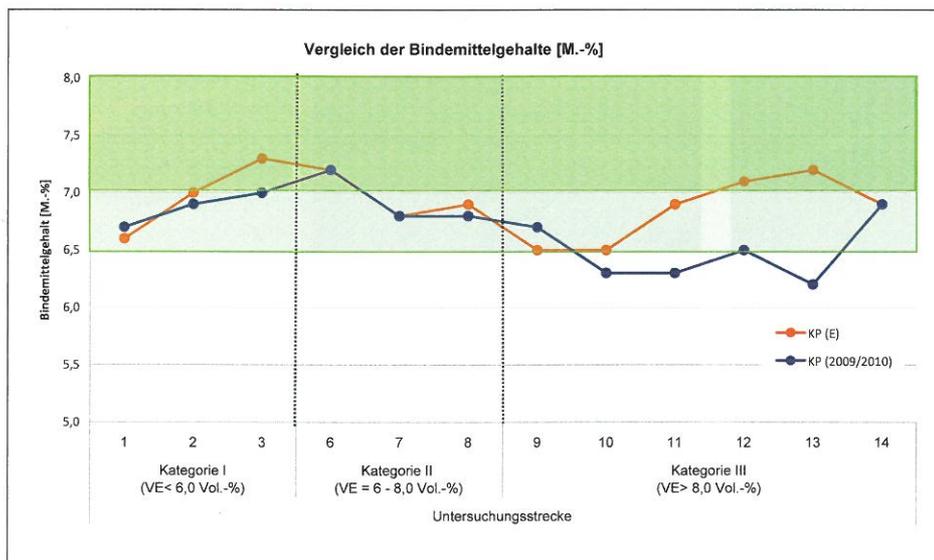


Abbildung 4: Vergleich der Bindemittelgehalte (Zeitpunkt: Kontrollprüfungen beim Einbau (KP<sub>E</sub>) und späterer Untersuchungen (KP<sub>2009/2010</sub>)).

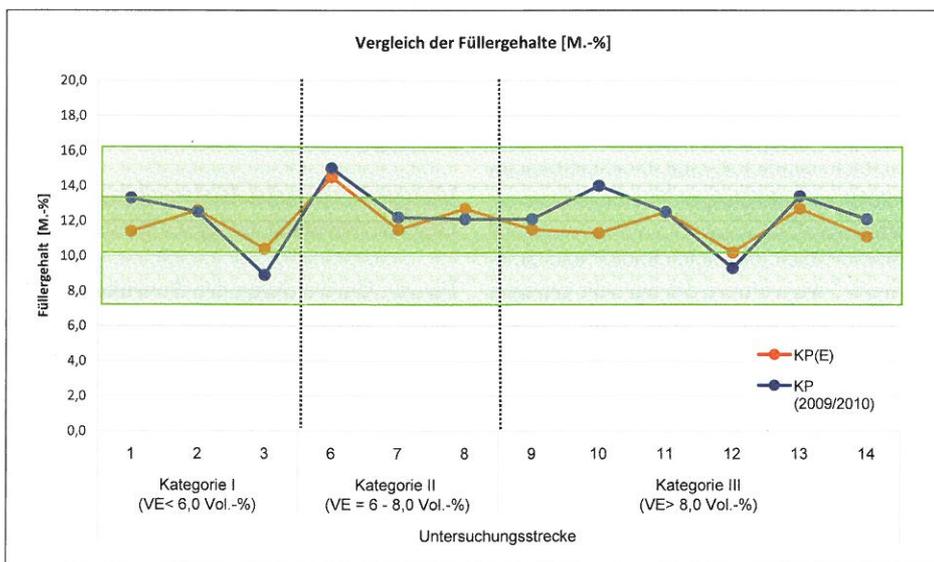


Abbildung 5: Vergleich der Fülleranteile (Zeitpunkt: Kontrollprüfungen beim Einbau (KP<sub>E</sub>) und späterer Untersuchungen (KP<sub>2009/2010</sub>)).

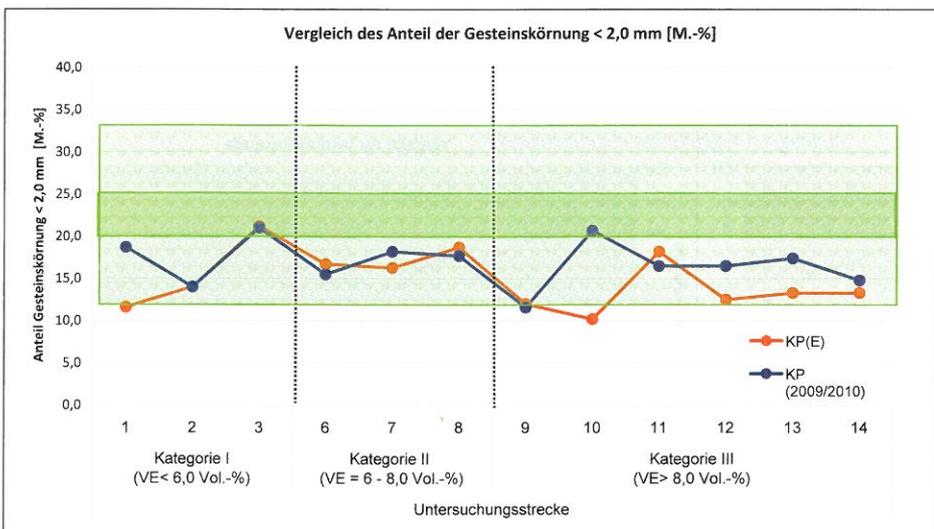


Abbildung 6: Vergleich der Anteile der feinen Gesteinskörnung (Zeitpunkt: Kontrollprüfungen beim Einbau (KP<sub>E</sub>) und späterer Untersuchungen (KP<sub>2009/2010</sub>)).

Liegen die Hohlraumgehalte zum Zeitpunkt des Einbaus über 8,0 Vol.-% sind im Laufe der Nutzungsdauer starke Veränderungen im Gefüge der fertigen Schicht nicht ausgeschlossen. Nach den Ergebnissen innerhalb dieser Studie traten bei Hohlraumgehalten ( $V_E$ ) zwischen 8 und 10 Vol.-% vornehmlich Ausmagerungserscheinungen (Kornausbrüche, Mörtelaustrag) auf, während Strecken mit höheren Hohlraumgehalten ( $V_E > 10,0$  Vol.-%) in Abhängigkeit von der vorhandenen Verkehrsbelastung im untersuchten Bereich zusätzlich eine stärkere Nachverdichtung erfahren haben (Abbildung 2). Der Vergleich der Verdichtungsgrade beider Untersuchungszeitpunkte geht mit den Ergebnissen der Untersuchungen des Hohlraumgehaltes am Bohrkern konform und deutet auf geringe bis besonders starke Nachverdichtungen („Neue Krugallee EST 3“, „Südostallee“) hin (Abbildung 3).

Überdies lässt sich beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse feststellen, dass im Bereich niedriger Hohlraumgehalte ( $V_E \leq 6,0$  Vol.-%, Kategorie I) der Anforderungswert an den Verdichtungsgrad ( $> 97\%$ ) zum Einbauzeitraum bzw. auch zum Zeitpunkt der Untersuchungen in 2009/2010 an allen untersuchten Entnahmestellen erfüllt wurde.

Im Bereich der Hohlraumgehalte der Kategorien II ( $V_E = 6,0 - 8,0$  Vol.-%) und III ( $V_E > 8,0$  Vol.-%) resultieren die überschrittenen Hohlraumgehalte neben mischgutspezifischen Ursachen auch aus einer zu geringen Verdichtungsarbeit.

Die Stärke der Änderung des Verdichtungsgrades während der Nutzungsdauer ist am deutlichsten in der Kategorie III ersichtlich. Hier zeigt sich im Bereich des Einbauhohlraumgehaltes  $V_E > 10,0$  Vol.-% („OD Glau EST 1“ bis „Südostallee“) mit zunehmendem Hohlraumgehalt eine ansteigende Nachverdichtung.

### Ergebnisse der Untersuchungen der Mischgutparameter

Der Vergleich der Mischgutzusammensetzung der untersuchten Streckenabschnitte beider Untersuchungszeitpunkte zeigt im Verlauf der Liegezeit:

- Bei den Untersuchungsstrecken mit niedrigem Einbauhohlraumgehalt (Kategorie I und II) blieb der Bindemittelgehalt nahezu unverändert. Bei Einbauhohlraumgehalten  $V_E > 8,0$  Vol.-%, war ein Mörtelaustrag an der Fahrbahnoberfläche festzustellen, der zu einer Verringerung des Bindemittelgehaltes führte (Abbildung 4).
- Im Bereich der feinen ( $< 2,0$  mm) und der groben Gesteinskörnung ( $> 2,0$  mm) wurden innerhalb der Kategorien I und II ebenfalls nur unwesentliche innerhalb der Prüfstreuung liegende Veränderungen ermittelt. Eine Veränderung der groben Gesteinskörnung hat sich

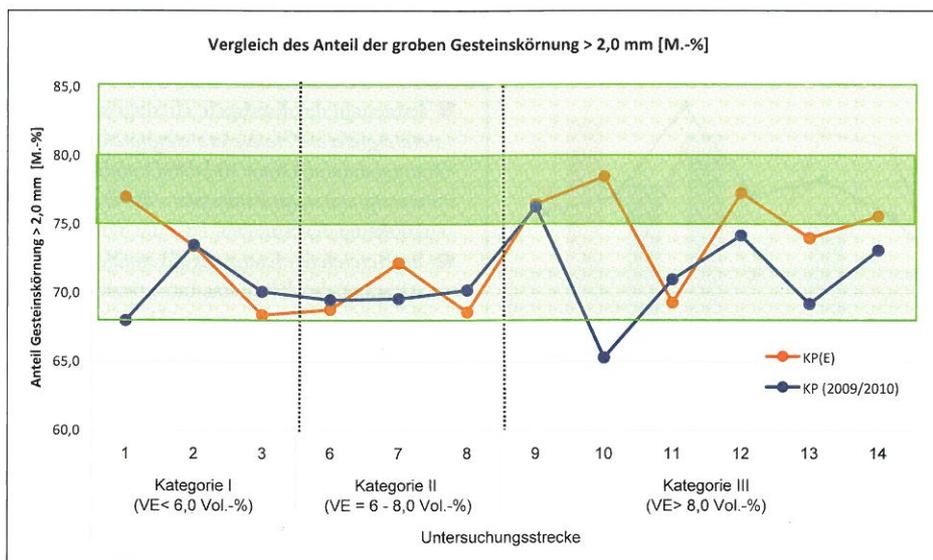


Abbildung 7: Vergleich der Anteile der groben Gesteinskörnung (Zeitpunkt: Kontrollprüfungen beim Einbau (KP<sub>E</sub>) und späterer Untersuchungen (KP<sub>2009/2010</sub>).

Straßenbaubitumens (B 50/70), trotz der sich daraus ergebenden relativ geringen Datengrundlage, sortenspezifisch getrennt betrachtet.

**Erweichungspunkt**

In Abbildung 9 sind die Erweichungspunkte Ring und Kugel beider Untersuchungszeitpunkte vergleichend dargestellt. Der Erweichungspunkt gibt einen Hinweis auf das Verhalten von Bitumen bei hohen Temperaturen, aber auch auf die Rissneigung bei niedrigen Temperaturen. Im Zuge der Alterung/Verhärtung des Bitumens steigt der Erweichungspunkt an. Niedrige Hohlraumgehalte behindern den Zutritt von Luft-sauerstoff und verzögern somit die infolge von Alterung eintretende Erhöhung des Erweichungspunktes. Dies ist unabhängig von der Art des Bindemittels insbesondere bei den Streckenabschnitten der Kategorien I und II festzustellen.

überwiegend im Bereich der Kategorie III vollzogen. Durch das dort vorhandene hohlraumreiche Mischgut haben sich Kornausbrüche und Mörtelverlust gezeigt, was sich innerhalb der Sieblinie in einem prozentual höheren Anteil der feinen und der teilweise deutlichen Reduzierung der groben Gesteinskörnung widerspiegelt. Der Füllerbereich zeigt insgesamt nur sehr geringe Schwankungen (Abbildungen 5 bis 7).

■ Im Vergleich der Hohlraumgehalte am Marshallprobekörper der unterschiedlichen Kategorien (Abbildung 8) wird ersichtlich, dass innerhalb der Kategorie III bereits zum Einbauzeitpunkt überwiegend ein gegenüber dem Anforderungswert stark erhöhter Hohlraumgehalt am MPK vorliegt. Dieser deutet bereits auf Mängel in der Mischgutzusammensetzung (zu geringen Bindemittelgehalt, zu hohen Grobkornanteil, zu wenig Feinkornanteil) hin (siehe BV: „Britzer Straße“, „Neue Krugallee EST 2“, „Südostallee“ und „Fanninger Straße“). Infolge von Kornausbrüchen im Grobkornbereich innerhalb des Nutzungszeitraumes reduziert sich auch der Hohlraumgehalt am MPK, siehe BV „Britzer Straße“, „Neue Krugallee EST 2“ und „Südostallee“. Im Bereich besonders großer Hohlraumgehalte (Kategorie III) wird infolge der oxidativen Alterung des Bindemittels und der dadurch verbundenen Verhärtung und Versprödung neben der Verschlechterung des Kälte- und Ermüdungsverhaltens auch der Verdichtungswiderstand des Mischgutes erhöht.

**Bindemittelleigenschaften**

Für die Bewertung des Einflusses des Einbauhohlraumgehaltes auf die Entwicklung der Alterung und Verformungsbeständigkeit der SMA 8 S- Fahrbahnoberfläche wurden im Rahmen dieser Studie verschiedene Bindemittelleigenschaften untersucht. Hierzu wurde an dem aus dem Mischgut rückgewonnenen Bitumen der Erweichungspunkt bestimmt und mit den im Rahmen der Kontrollprüfung zum Einbauzeit-

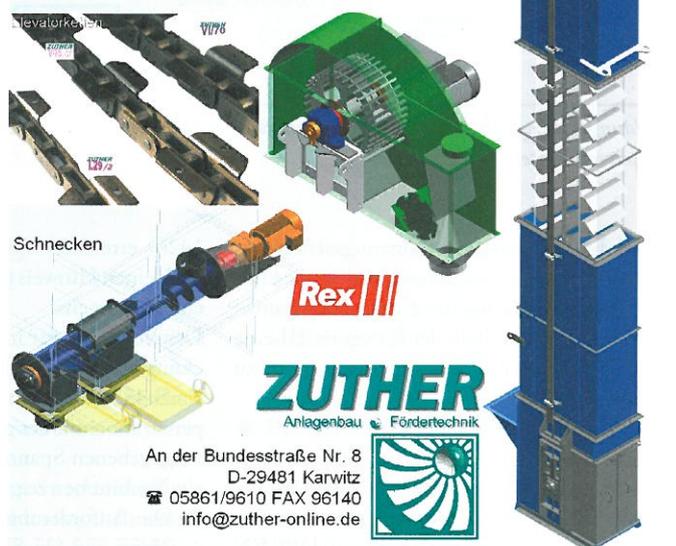
punkt ermittelten Ergebnissen des Erweichungspunktes verglichen. Für die Spezifizierung der zum Untersuchungszeitpunkt 2009/10 vorliegenden Bitumensorte sowie zur Einschätzung des Verhaltens bei tiefen Temperaturen (Rissempfindlichkeit) sind zusätzlich die Bindemittelkennwerte Nadelpenetration und Brechpunkt nach Fraaß ermittelt worden. Da ein direkter Vergleich dieser Kenngrößen zum Einbauzustand nicht erfolgte, wurden als Anhaltswerte hierfür die Grenzwerte der TL-Bitumen für ein Neubitumen herangezogen.

Innerhalb der untersuchten Streckenabschnitte wurden unterschiedliche Bindemittelarten und -sorten verwendet. Bei acht der untersuchten 15 Entnahmestellen wurde im Mischgut Polymermodifiziertes Bindemittel der Spezifikation PmB 45A (25/55-55 A) verwendet. Zweimal kam PmB 65 A (45/80-50 A) und in fünf Bauvorhaben kam das Straßenbaubitumen B 65 (50/70) zum Einsatz

Da durch die unterschiedlichen molekularen Strukturen der verschiedenen Bitumensorten ein abweichendes Alterungsverhalten bedingt sein kann, werden die Ergebnisse der Bindemitteluntersuchungen der Polymermodifizierten Bindemittel PmB 45 A (25/55-55A) und PmB 65A (40/80-50 A) sowie des

**Ketten-Becherwerke  
RC+Füllerbecherwerke**

- Extrem zuverlässig aufgrund ausgereifter technischer Konzeption aus über 20 Jahren Know How in der Asphaltindustrie
- Elevatorisolierung im Heißbetrieb
- Ketten aus hochlegierten Stählen mit langer Standzeit
- Gurtelevatoren für RC-Zugabe und Füllföderung
- Füllerschnecken und Doseure
- Elevatorumrüstung u. Ersatzteile



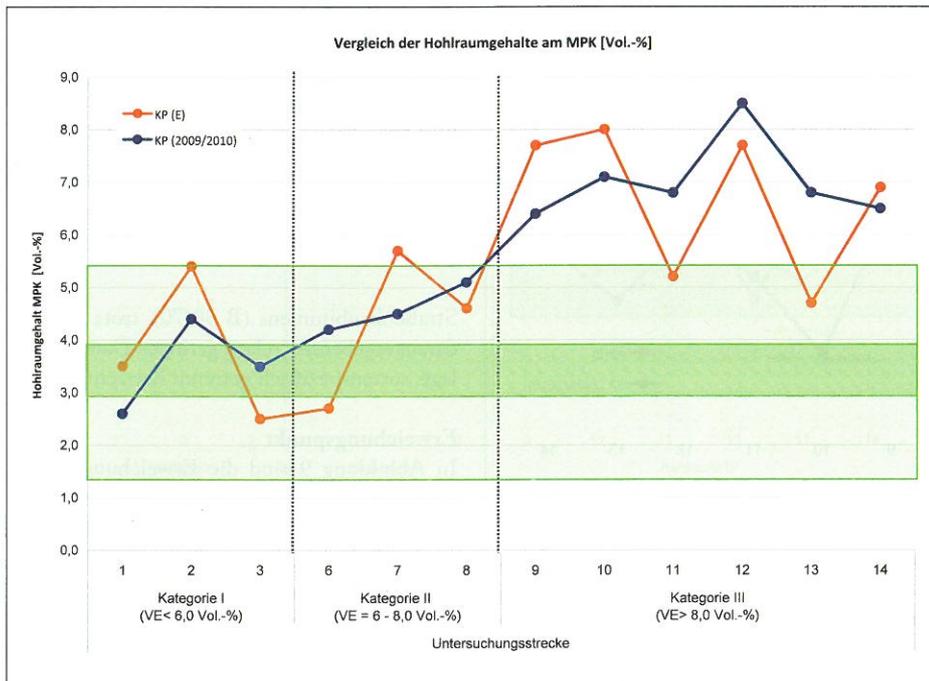


Abbildung 8: Vergleich der Hohlraumgehalte am Marshallprobekörper (Zeitpunkt: Kontrollprüfungen beim Einbau ( $KP_E$ ) und späterer Untersuchungen ( $KP_{2009/2010}$ )).

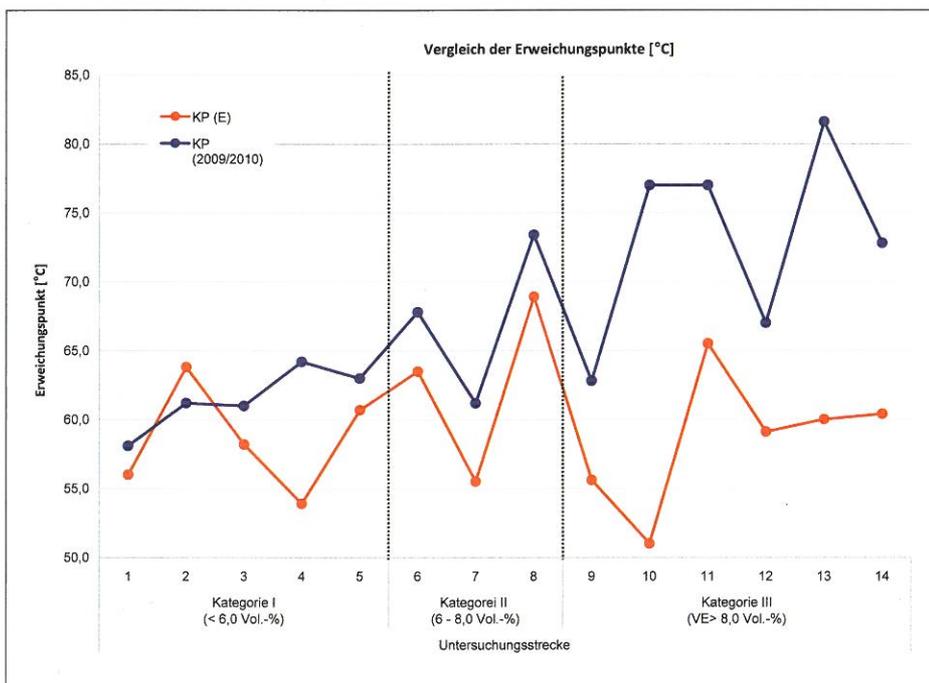


Abbildung 9: Vergleich der Erweichungspunkte (Zeitpunkt: Kontrollprüfungen beim Einbau ( $KP_E$ ) und späterer Untersuchungen ( $KP_{2009/2010}$ )).

Während sich innerhalb des Nutzungszeitraumes bei niedrigen Einbauhohlraumgehalten eine nur geringfügige Änderung des Erweichungspunktes einstellt, ist innerhalb der Kategorie III eine starke Zunahme der Erweichungspunkte zu erkennen.

**Nadelpenetration**

Infolge der oxidativen oder thermischen Alterung und Verhärtung eines Bitumens reduziert sich die durch die Nadelpenetration (gemäß DIN EN

1426) erreichte Eindringtiefe und gibt damit auch einen Hinweis über den Grad der Alterung eines Bitumens.

Der Vergleich der in 2009/10 an den Untersuchungsstrecken mit Bitumen 25/55-55A (ehem. PmB 45A) ermittelten Ergebnissen der Nadelpenetration mit der gemäß TL Bitumen-StB 07 vorgegebenen Spanne der Nadelpenetration für ein Neubitumen zeigt Folgendes (Abbildung 10):

- Die Anforderungswerte an ein Neubitumen 25/55-55A (25-55 [1/10 mm]) sind auch nach

einer Nutzungsdauer von 7 bis 11 Jahren innerhalb der Kategorie I an allen untersuchten Streckenabschnitten erreicht worden.

- Innerhalb der Kategorie II tritt für das PmB 45 A (25/55-55 A) bei vergleichbarer Nutzungsdauer (8 bzw. 10 Jahre) bereits eine Alterung um eine Stufe (von 25/55-55 A auf 10/40-65 A) ein.
- Im Bereich der Kategorie III ist ebenfalls eine Alterung des Bitumens um mindestens eine Sortenspanne eingetreten. Das Ergebnis de BV „OD Glau, EST 1“ zeigt nach einer Nutzungsdauer von zehn Jahren sogar eine so starke Verhärtung, dass hinsichtlich der Nadelpenetration keine Zuordnung entsprechend den Anforderungswerten an ein Neubitumen mehr erfolgen kann.

Eine ähnliche Entwicklung vollzieht sich bei der Betrachtung des Straßenbaubitumens B 50//70 in Abhängigkeit vom Einbauhohlraumgehalt. Die erforderliche Spanne der Eindringtiefe eines Neubitumens zwischen 50 und 70 [1/10 mm] wird bereits in der Kategorie I nicht erreicht. Hier ist eine Verhärtung um eine Stufe (von B 50/70 auf B 30/45) festzustellen. Während sich innerhalb der Kategorie II bereits eine Verhärtung um zwei Stufen (von B 50/70 auf B 20/30) zeigt, ist das Bindemittel innerhalb der Kategorie III ausnahmslos keinem Straßenbaubitumen gemäß TL Bitumen- StB 07 mehr zuzuordnen.

**Brechpunkt**

Nach einer Nutzungsdauer von elf Jahren wird der Anforderungsbereich des Brechpunktes an ein Neubitumen 25/55-55A (PmB 45A) innerhalb der Kategorie I noch an zwei untersuchten Entnahmestellen erfüllt. Wahrscheinlicher Grund hierfür ist, im Vergleich zu den anderen Untersuchungsstrecken vor allem der vergleichsweise höhere Bindemittelgehalt. An allen anderen Untersuchungsstrecken der Kategorie I und II ist bezüglich des Brechpunktes im Vergleich zum Grenzwert der TL Bitumen-StB für das eingebaute Neubitumen eine Alterung um mindestens 1 Stufe (Sortenspanne) feststellbar.

Während sich die innerhalb der Kategorien I und II nach der Nutzungsdauer von 7 bis 16 Jahren ermittelten Brechpunkte teilweise noch deutlich im negativen Bereich befinden, liegen die Brechpunkte ab einem Einbauhohlraumgehalt von > 8 Vol.-% nach der Nutzungsdauer von 8 bis 17 Jahren (mit Ausnahme des BV „Fanninger Straße“) ausschließlich im positiven Temperaturbereich (Abbildung 11). Die damit verbundene starke Versprödung/Verhärtung des Bitumens bestätigt prüftechnisch die visuelle Einschätzung der teilweise durch Rissbildungen und Kornausbrüche schon deutlich geschädigten Fahrbahnoberfläche.

Streckenabschnitte mit einem zum Einbauzeitpunkt derart hohen Hohlraumgehalt sind stark rissgefährdet und reagieren damit besonders auf Temperaturschwankungen. Das Bindemittel weist überdies kein ausreichendes Klebeverm-

gen mehr auf, so dass auch die Wiederverwendung dieses Materials eingeschränkt sein kann.

**Veränderungen der Bindemittleigenschaften in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer**

Bildet man die Differenz der Erweichungspunkte innerhalb des Betrachtungszeitraumes und bezieht diese auf den jeweils vorliegenden spezifischen Nutzungszeitraum jedes einzelnen Untersuchungsabschnittes, so erhält man den Anstieg des Erweichungspunktes pro Jahr. Dieser Anstieg ist jedoch abhängig von dem zum Einbauzeitpunkt vorliegenden Hohlraumgehalt. In Abbildung 12 ist der sich aus den Ergebnissen innerhalb dieser Untersuchung ergebende tendenzielle Zusammenhang zwischen dem Hohlraumgehalt zum Zeitpunkt des Einbaus und der sich in Abhängigkeit der Nutzungsdauer daraus ergebenden Veränderung (Erhöhung) des Erweichungspunktes für ein PmB 45 A (25/55-55 A) dargestellt.

Hieraus lassen sich unter der Annahme einer linearen Regression für die Mischgutsorte SMA 8 S unter Verwendung eines Bitumens 25/55-55A tendenziell folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Eine Veränderung des Erweichungspunktes in Abhängigkeit der Nutzungsdauer kann etwa ab einem Einbauhohlraumgehalt von > 3 Vol.-% der fertigen Schicht ermittelt werden.
- Für Hohlraumgehalte der Kategorie I erhöht sich der Erweichungspunkt um bis zu 0,4 K pro Jahr.
- Für Hohlraumgehalte der Kategorie II erhöht sich der Erweichungspunkt um bis zu 0,7 K pro Jahr.
- Für Hohlraumgehalte der Kategorie III erhöht sich der Erweichungspunkt um bis etwa 1,5 K pro Jahr.

Der Hohlraumgehalt einer Asphaltdeckschicht hat einen direkten Einfluss auf das Alterungsverhalten/Verhärtung und Versprödung des Bitumens und damit auch auf das Ermüdungsverhalten des Asphaltes.

Untersuchungen zur Bewertung der Auswirkungen des Hohlraumgehaltes auf die Dauerhaftigkeit von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphaltbeton (AB 0/11S, neu: AC 11S) an der TU Braunschweig haben ergeben, dass eine Vergrößerung des Hohlraumgehaltes um 1 Vol.-% einen Anstieg des Erweichungspunktes Ring und Kugel des Bitumens im Asphalt um rund 0,4 K je Volumenprozent und Jahr bewirkt. Dieser von Arand [2] für Asphaltbetone mit Straßenbaubitumen ermittelte Zusammenhang der Erhöhung des Erweichungspunktes Ring und Kugel kann mit den hier untersuchten SMA 0/8 S-Deckschichten (Bitumen 25/55-55A) in der Kategorie I, bei Hohlraumgehalten < 6 Vol.-%, bestätigt werden. Eine adäquate tendenzielle Aussage bezüglich des Anstiegs des Erweichungspunktes bezogen auf den Einbauhohlraumgehalt und die Nutzungsdauer ist für das Straßenbaubitumen 50/70 aufgrund des geringen Stichprobenumfanges bei diesen Untersuchungen nicht möglich.

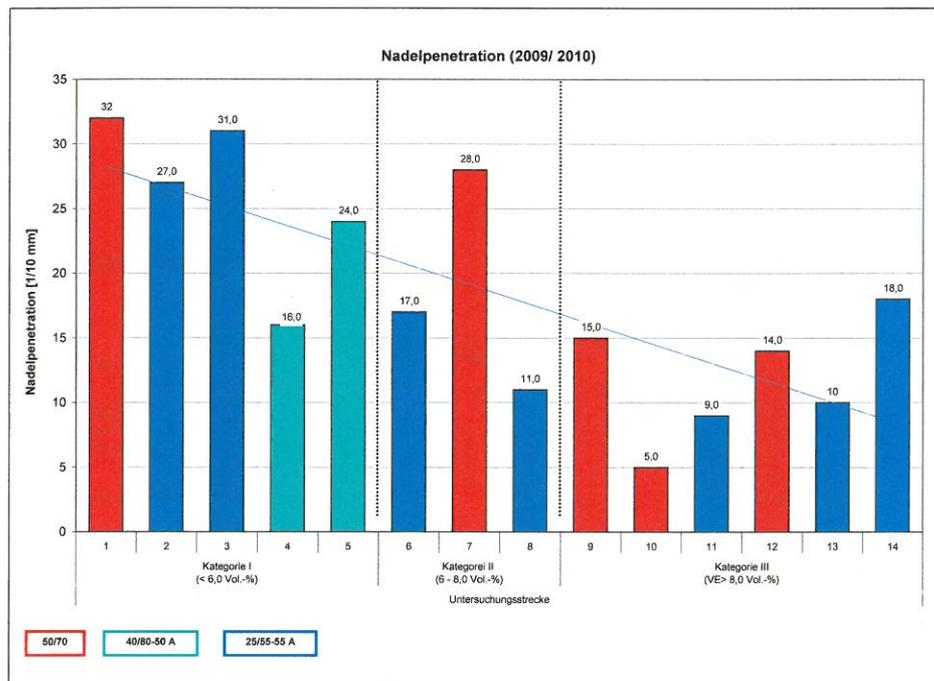


Abbildung 10: Ergebnisse der Nadelpenetration.

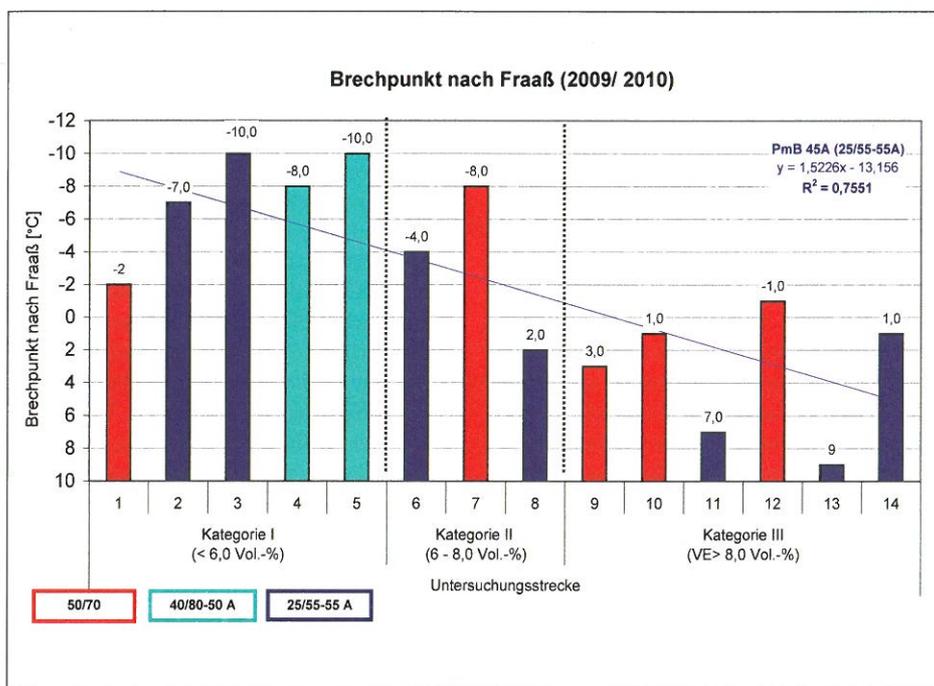


Abbildung 11: Ergebnisse der Untersuchung Brechpunkt nach Fraaß

**Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse**

Die Untersuchungen zum Alterungsverhalten von 14 ausgewählten Entnahmestellen in Abhängigkeit vom Einbauhohlraumgehalt innerhalb eines Nutzungszeitraumes von 7 bis 17 Jahren brachten folgendes Ergebnis:

- Der Splittmastixasphalt in Streckenabschnitten mit einem Einbauhohlraumgehalt von bis zu 6 Vol.-% (Kategorie I) hat sich bezüglich

der Mischgutzusammensetzung und der Bindemittelkennwerte kaum verändert. Trotz des teilweise sehr niedrigen Hohlraumgehaltes wurden überdies nur sehr geringe Verformungen oder Einbußen in der Standfestigkeit festgestellt.

- Im Bereich der Hohlraumgehalte von > 6 bis 8 Vol.-% (Kategorie II) ist eine erkennbare Alterung des Bindemittels eingetreten, die jedoch trotz teilweise starker Verkehrsbeanspruchung nur einzelne Kornausbrüche und

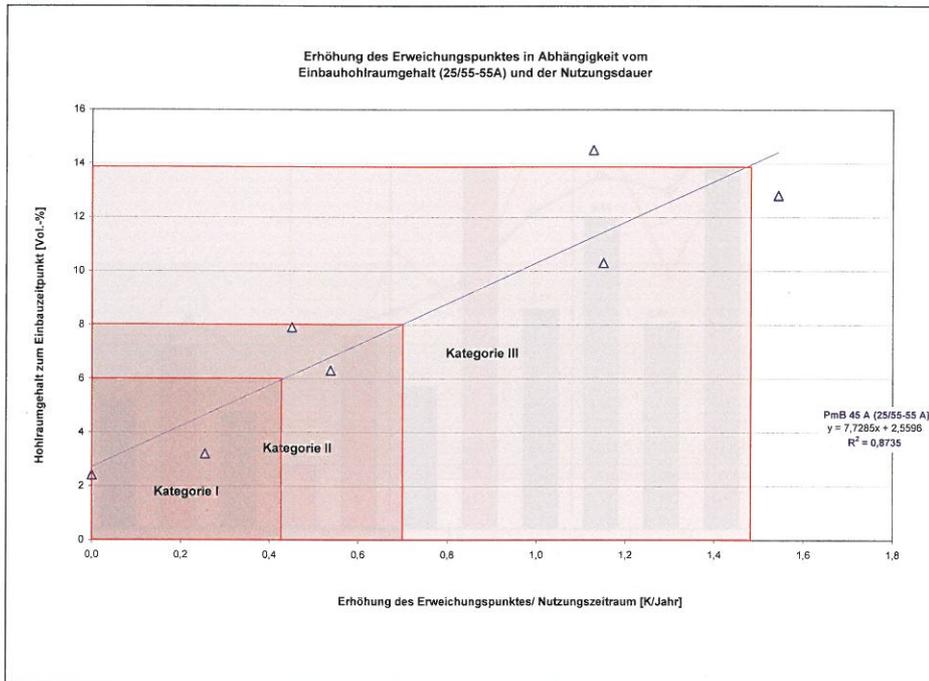


Abbildung 12: Erhöhung des Erweichungspunktes pro Jahr in Abhängigkeit vom Einbauhohlraumgehalt an der fertigen Schicht (SMA 8 S) bei Verwendung von Polymermodifiziertem Bitumen 25/55-55A.

Rissbildungen zur Folge hatte. Zum Erreichen der Nutzungsdauer nach RPE-Str 01 (16 bzw. 22 Jahre) sind jedoch Instandhaltungsarbeiten erforderlich.

■ SMA-Asphalte im Bereich der Hohlraumgehalte von > 8 Vol.-% (Kategorie III) zeigen deutliche Alterungserscheinungen in Form von Rissbildungen und Kornausbrüchen sowie Mörtelauswurf. Strecken dieser Hohlraumgehalte weisen bereits bei einer vergleichsweise geringen Nutzungsdauer von ca. acht Jahren erhebliche Mängel auf. Eine erforderliche Erneuerung vor Ablauf der prognostizierten Nutzungsdauer (16 Jahre für hohe Verkehrsbeanspruchung) ist daher wahrscheinlich und erfolgte in einigen Fällen der Untersuchungsstrecken bereits.

Die gegenüber der Kategorie I erhöhten Hohlraumgehalte (> 6 Vol.-% und besonders > 8 Vol.-%) hatten innerhalb der hier betrachteten, vergleichsweise kurzen Liegedauer eine Verhärtung/Versprödung des Bindemittels zur Folge. Dies zeigt sich umso stärker, je geringer der Bindemittelgehalt ist. Deutlich erkennbar ist dies nicht nur beim Vergleich der Ergebnisse der Erweichungspunkte Ring und Kugel und bei der Nadelpenetration, sondern auch tendenziell beim Brechpunkt nach Fraaß.

Schlussfolgernd aus den vorstehend erläuterten Untersuchungsergebnissen und der statistischen Auswertung von Kontrollprüfungen [1] lassen sich folgende grundsätzliche Festlegungen treffen:

■ Niedrige Hohlraumgehalte in Verbindung mit hohen Bindemittelgehalten wirken sich günstig auf das Alterungsverhalten aus.

■ Je größer der Hohlraumgehalt, desto stärker ist – in Abhängigkeit vom Bindemittelgehalt und der erfolgten Nutzungsdauer – die Alterung des Bindemittels.

■ SMA-Deckschichten können mit regelkonformen Hohlraumgehalten bis 6 Vol.-% (ZTV Asphalt-StB 01, [3]) bzw. 5,0 Vol.-% (ZTV Asphalt-StB 07, [4]) die nach RPE-Str 01 angedachte Nutzungsdauer erreichen. Vertragsrechtliche Verstöße sind durch Wertminderungen, Gewährleistungsverlängerungen oder sogar Ausbau zu ahnden. Die in den Ländern Berlin und Brandenburg dazu erlassenen Landesregelungen [6] und [7] haben sich bewährt. Bei im Zuge von Kontrollprüfungen festgestellten Hohlraumgehalten über 8 Vol.-% und in jedem Fall über 10 Vol.-% (altes Regelwerk) sollte eine Erneuerung des betroffenen Bereiches erfolgen.

Das Ziel, gemäß RPE-Str 01, Anhang 10 [4], Splittmastixasphalt-Deckschichten mit Nutzungszeiten von mindestens 16 Jahren für die Bauklassen SV, I und II bzw. 22 Jahre für die Bauklassen III – IV zu erhalten, ist bei qualitätsgerechter Mischgutherstellung und mangelfreiem Asphalteinbau erreichbar. Dazu sind jedoch vor allem die in der ZTV Asphalt-StB 07 vorgegebenen Hohlraumgehalte an der fertigen Schicht einzuhalten. Das bedeutet aber auch, dass ausreichend Bindemittel im Asphaltgemisch vorhanden sein muss und nicht ein geringer Hohlraumgehalt durch eine „Überfüllung“ erzielt wird. Hierzu sollten Füller-Bindemittel-Verhältnisse von 1,4 bis 1,6 für Deckschichten angestrebt werden, nach [11] für Splittmastixasphalt etwa 1,5.

Literatur

[1] Großhans D.; Kaden S.: Auftretende Mängel bei Kontrollprüfungen Untersuchungen an Splittmastixasphaltdeckschichten SMA 8S, asphalt 4/2012, S. 18-23  
 [2] Arand W.: Der Hohlraumgehalt und sein Einfluss, Dauerhaftigkeit von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphaltbeton, Teil 2, Braunschweig, asphalt 3/2002, S. 14-24  
 [3] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 01), FGSV, Ausgabe 2001  
 [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt (ZTV Asphalt-StB 07), FGSV, Ausgabe 2007  
 [5] Richtlinie für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen (RPE-Str 01, Anhang 10)  
 [6] Ausführungsvorschriften zu §7 Berliner Straßengesetz, Amtsblatt 1262, Nr. 1 vom 09.01.2009  
 [7] Einführung bautechnischer Regelungen für das Straßenwesen in Brandenburg – ZTV Asphalt-StB 07 – Runderlass des MIR, Abt. 4, Nr. 25/2008 vom 05. Dezember 2008 (Amtsblatt für Brandenburg 2008, S. 2854)  
 [8] Schwarzer: Diplomarbeit, Auswirkungen des Hohlraumgehaltes auf das Alterungsverhalten und die Verformungsbeständigkeit von Splittmastixasphaltdeckschichten (SMA 8S)  
 [9] Untersuchungsbericht: Auswirkungen des Hohlraumgehaltes auf das Alterungsverhalten und die Verformungsbeständigkeit von Splittmastixasphaltdeckschichten (SMA 8 S) im Betrachtungszeitraum 1999 – 2009 / 2010, Prüfbericht Nr. 1.000.10 des PEBA Prüfinstitut für Baustoffe GmbH vom 29.07.2010  
 [10] Arand W.: Hohlraumgehalt oder Hohlraumausfüllungsgrad, Welches Merkmal eignet sich besser zur Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphaltbeton?, asphalt 7/2005, S.19-30  
 [11] Hüning, P.: Grundsätze für die Zusammensetzung von Asphalten zur Erzielung bestimmter Eigenschaften, asphalt 5/1994, S.30-35  
 [12] Großhans D., Papst J.: Höhengsparende Überbauung mit Asphalt am Beispiel der Köpenicker Landstraße in Berlin-Treptow, Bitumen 3/1994, S. 122-125

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Dieter Großhans  
 Dipl.-Ing. Sandra Kaden  
 Peba Prüfinstitut für Baustoffe GmbH  
 Köpenicker Landstraße 280  
 12437 Berlin  
 asphalt@peba.de