

Lernen von den Straßen – Offenporige Asphalte

Volker Hirsch und Oliver Ripke

Seit etwa 20 Jahren gibt es in Deutschland Erfahrungen mit Strecken, die in offenporiger Asphaltbauweise ausgeführt sind. Die Entwicklung des offenporigen Asphalts (OPA) erfolgte in 5 Schritten. In der ersten OPA-Generation der Jahre 1986 bis 1993 fand Bitumen der Sorte 50/70 (B 80) mit einem Anteil von 5,2 bis 5,8 M.-% Verwendung. Das aufgrund der Bitumen-Verhärtung auftretende Problem des Kornausbruchs führte dazu, dass heute ausschließlich höhere Gehalte an modifizierten Bindemitteln zur Herstellung verwendet werden. Durch Optimierung der Sieblinie der Gesteinskörnung wurde der Hohlraumgehalt erhöht und dadurch eine Verbesserung der lärmtechnischen Eigenschaften erreicht. Verbesserungsbedarf besteht nach wie vor hinsichtlich der Dauerhaftigkeit. In Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen hatte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) Gelegenheit, im Auftrag des niederländischen Instituts für Dienst Weg en Waterbouwkunde (DWW) etwa 200 Bohrkernproben zu studieren, die aus zwölf Streckenabschnitten niederländischer Autobahnen stammten. Die Strecken besaßen ein Alter von 3 bis 16 Jahren. Da in allen untersuchten Streckenabschnitten der OPA auf gleiche Weise konzipiert war, ergab sich die Möglichkeit, die zeitliche Veränderung zu untersuchen. Von der BAST wurde insbesondere das Bitumen und dessen Wechselwirkung mit dem verwendeten Füller und Gestein untersucht. Die rückgewonnenen Bitumen wurden mit Hilfe moderner instrumenteller Methoden untersucht. Zusätzlich wurde der Asphaltstatus nach Zenke bestimmt, um die Asphaltene in leicht-, mittel- und schwerlösliche Anteile zu differenzieren. Als besonders wertvoll hat sich die mikroskopische Untersuchung von Bohrkernproben in Kombination mit einfachen mikroanalytischen Tests erwiesen. Anhand der Ergebnisse konnte der Schadensmechanismus für den Kornausbruch geklärt werden. Für die Haltbarkeit von OPA ist die Oxidation des Bitumens durch Luftsauerstoff von zentraler Bedeutung. Möglichkeiten zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit von offenporigen Asphalten sind deshalb in einer Erhöhung der Oxidationsbeständigkeit der verwendeten Bindemittel zu suchen.

Experiences with roads designed as an open porous asphalt layer (OPA) have been collected in Germany over a period of about 20 years. The development of open porous asphalts took place in five steps. The first OPA generation of the years 1986 to 1993 was produced with asphalt mixtures containing 5,2 to 5,8 M.-% of Bitumen 50/70 (B 80). A typical problem of that generation is „ravelling” due to bitumen hardening. As a consequence exclusively higher contents of modified binders are used for the production of open porous asphalt mixtures today. The reduction of noise emission was improved by increasing the void content of the asphalt mixture with the help of an optimized sieve line of the aggregate granulation. But there is still a need for improving the durability of open porous asphalts. On behalf of the Dutch institute for „Dienst Weg en Waterbouwkunde” (DWW) the RWTH Aachen cooperated with the „Bundesanstalt für Straßenwesen” (BAST). The title of this project is „Leren van de Weg”. About 200 cores from twelve track sections of Dutch highways were examined within the scope of that project. The highways were between 3 to 16 years old. The open porous asphalts of the track sections were of the same type. This allowed the examination of the asphalt structure during different stages of the ageing process. The BAST studied the chemical composition of the regained bitumens with the help of modern analytical methods. Additionally three asphaltene fractions of graduated solubility were determined (easily soluble, intermediate soluble and asphaltenes of low solubility). The interaction of bitumen with filler and aggregates was examined by using microscopy and simple micro analytical tests. These results allow a better understanding of the physical and chemical mechanisms of the ravelling process. The oxidation of bitumen by atmospheric oxygen is of central importance for the durability of open porous asphalts. Therefore an enhancement of the oxidation resistance of bitumen might be a possibility for improving the durability of open porous asphalts.

Verfasseranschriften:
Dr. V. Hirsch,
hirsch@bast.de,
O. Ripke,
ripke@bast.de,
Bundesanstalt für Straßen-
wesen, Brüderstr. 53,
51427 Bergisch Gladbach

1 Einleitung

Die Weiterentwicklung der Straßenbau-
technik ist ein schwieriger und langwieriger
Prozess. Von der Idee bis zur erfolgrei-

chen Umsetzung und Einführung als Re-
gelbauweise vergehen häufig Jahre, – ge-
legentlich Jahrzehnte. Ein wichtiges Krite-
rium, das über das Schicksal einer neuar-
tigen Bauweise oder Anwendung neuer

Produkte entscheidet, ist der Nachweis der
Bewährung in Form von Versuchs- und
Erprobungsstrecken. Zwischen dem Ein-
bau und dem möglichen Auftreten der
ersten Schadenssymptome vergehen in der

Regel mehrere Jahre. Nach Analyse der Schadensursachen und der Entwicklung von Gegenmaßnahmen erfolgt eine abermalige Erprobung. Diese Schritte müssen dann so oft wiederholt werden, bis ein Erfolg erzielt wird. Nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum gelingt es auf diese Weise, die Straßenbautechnik sukzessive systematisch weiterzuentwickeln. Dieses empirische Vorgehen wird allerdings durch spezifische Eigenschaften der verwendeten Ausgangsstoffe und die komplexe Überlagerung verschiedenster Einflussgrößen während der Nutzungsdauer beeinträchtigt. Oftmals treten unerwartete Phänomene auf, die eine eindeutige Interpretation der Wirkung der neuen Bauweise erschweren.

Ein interessantes Beispiel für eine relativ junge Entwicklung, bei der sehr hohe technische Anforderungen erfüllt werden müssen, ist die Entwicklung der offenporigen Asphaltbeläge.

Im ersten Teil des Beitrags wird die Entwicklung der offenporigen Asphalte beschrieben, die diese Bauweise in den letzten 20 Jahren in Deutschland genommen hat. Die unterschiedlichen technischen Konzepte werden dargestellt und die gewonnenen Erfahrungen geschildert.

Im Auftrag des niederländischen Verkehrsministeriums hatte die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Gelegenheit, in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen an einer Studie über offenporige Asphalte mitzuwirken. Im zweiten Teil des Beitrags wird über die dabei angewendeten Untersuchungsmethoden, die gewonnenen Erkenntnisse und über den daraus abgeleiteten Mechanismus des Kornausbruchs berichtet.

2 Entwicklung des offenporigen Asphalts in Deutschland

Die Entwicklung offenporiger Asphaltbeläge in Deutschland kann in fünf Entwicklungsschritte unterteilt werden (Bild 1). In Deutschland bestehen seit 1986 Erfahrungen mit offenporigen Asphaltbelägen. Zwischen 1986 bis 1993 erfolgten etwa dreizehn Einbaumaßnahmen, diese können der ersten Generation von offenporigen Asphalten zugeordnet werden. Die Erfahrungen aus diesen Strecken mündeten in die erste Ausgabe des FGSV-Merkblattes für den Bau offenporiger Asphaltdeckschichten, die 1991 erschien.

In diesem Merkblatt wurde ein Mindesthohlraumgehalt der fertigen Schicht von

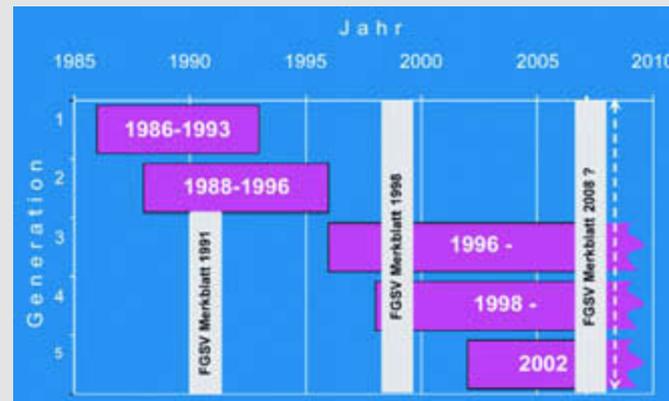


Bild 1: Entwicklungsschritte des OPA

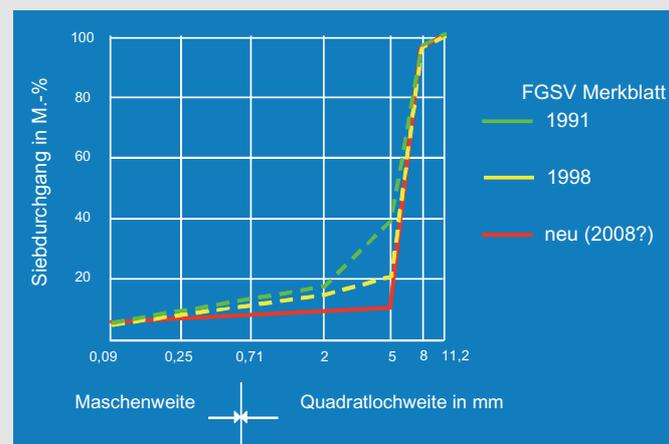


Bild 2: Sieblinien der Generationen 1, 3 und 5

größer gleich 15 Vol.-% festgelegt. Der Bindemittelgehalt sollte zwischen 5,2 und 5,8 M.-% liegen. Als Bindemittel waren B80 (heute 70/100) und davon abgeleitete Systeme vorgesehen, sowie polymermodifizierte Bitumen und gummimodifizierte Asphalte.

Die Gesteinskörnung ist von wesentlicher Bedeutung für die erreichbaren Hohlraumgehalte und die lärmtechnische Wirksamkeit. Die Sieblinie der ersten Generation ist im Bild 2 ersichtlich.

Die Auswertung der Strecken erbrachte folgende Erkenntnisse:

Es bestand eine gute Dauerhaftigkeit und lärmtechnische Wirksamkeit bei Hohlraumgehalten größer 20 Vol.-%. Ein Größtkorn von 8 mm erwies sich als vorteilhaft hinsichtlich der lärmtechnischen Eigenschaften. Negativ machte sich eine starke Verhärtung der Bindemittel bemerkbar, die letztendlich zu einem verstärkten Kornausbruch führte.

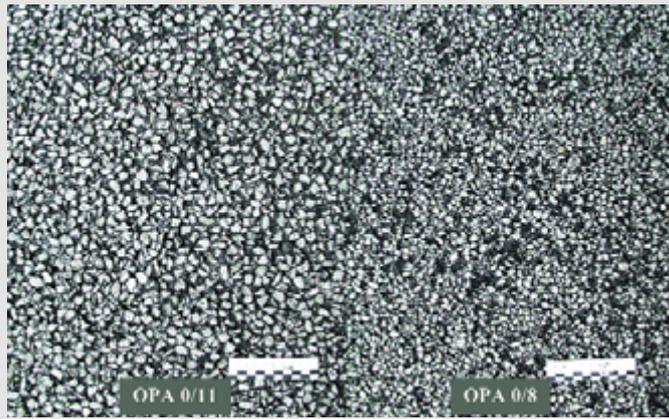
Diese Erkenntnisse wurden bei der Entwicklung der zweiten OPA-Generation (1988 bis 1996) berücksichtigt. Im Rahmen einer Erprobungsstrecke, die auf der BAB A5 in Rastatt angelegt wurde, wurden verschiedene Bitumensorten verwendet. Im Neuzustand der Strecken wurde ein gutes akustisches Verhalten festge-

stellt. Sehr rasch trat aber eine starke Abnahme der Pegelminderung ein. Das Problem der Hohlraumgehalte war demzufolge noch nicht befriedigend gelöst. Zudem trat, wie bei der ersten OPA-Generation, Kornverlust auf, wobei leichte Vorteile bei der Verwendung von polymermodifizierten Bitumen und gummimodifizierten Asphalten festgestellt wurden.

1996 wurde die Bauweise variiert, so dass man von einer weiteren Generation sprechen kann. Der Mindesthohlraumgehalt der fertigen Schicht wurde von 19 auf 22 Vol.-% erhöht. Um die geforderten Hohlraumgehalte zu erreichen, wurde der Anteil der Gesteinsfraktion mit einer Korngröße von 2 bis 5 mm verringert. Gleichzeitig wurde der Bindemittelgehalt auf 5,5 bis 6,8 M.-% festgelegt und auf die Verwendung von B80 verzichtet. Diese Mischgutzusammensetzung wurde in der Ausgabe 1998 des FGSV-Merkblattes festgelegt. Insgesamt erwies sich das Konzept als lärmtechnisch wirkungsvoll. Insbesondere für das Mischgut 0/8 wurden akustische Vorteile nachgewiesen.

Eine weitere Erprobungsstrecke auf der BAB A 61 zeigte, dass das verwendete Größtkorn einen Einfluss auf den Effekt des Kornausbruchs haben kann. Das Bild 3 zeigt einen Vergleich der Oberflächentext-

Bild 3: Oberflächentextur der rechten Rollspur nach 4,5 Jahren



tur eines OPA 0/8 mit einem OPA 0/11 nach einer Liegezeit von 4,5 Jahren. Man erkennt, dass hinsichtlich des Kornausbruchs OPA 0/11 etwas günstiger abschneidet als OPA 0/8. Die lärmtechnische Wirksamkeit, d.h. die Pegelminderung, ist jedoch aufgrund der gröberen Oberflächentextur ca. 1 dB(A) schlechter.

Ab 2004 erfolgte der großflächige Einsatz zweischichtiger offenporiger Asphaltbeläge (ZWOPA) auf den BAB A 30 und A 9. Ebenfalls auf der BAB A 30 wurde erstmals die Kompakteinbautechnik praktiziert. Bei dieser Generation ergeben sich Probleme beim Einbau sehr dünner Schichten und dem Verdichtungsgrad/Hohlraumgehalt der beiden OPA-Schichten. Erschwerend kommt hinzu, dass die Raumdichtebestimmung mit dem Ausmessverfahren bei dieser Bauweise an sehr groben Marshall-Probekörpern aus OPA 0/16 und zum Teil sehr dünnen Bohrkernscheiben vorgenommen werden muss. Die jüngste Generation wird seit 2002 eingesetzt. Die seit 1998 gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen werden in einer weiteren Ausgabe des FGSV-Merkblatts berücksichtigt, das voraussichtlich 2008 veröffentlicht wird.

Die wenigen noch möglichen Optimierungen an der Mischgutzusammensetzung betreffen die Erhöhung des Mindestbindemittelgehaltes auf 6,2 M.-% und die Anpassung der Sieblinie. Die Kornfraktion zwischen 0,25 und 5 mm wird abermals deutlich reduziert und somit eine noch hohlraumreichere, labyrinthähnliche Struktur ermöglicht.

Einen weiteren wichtigen bautechnischen Parameter stellt die Schichtdicke dar. Der Zusammenhang zwischen akustischer Wirksamkeit und akustisch wirksamer Dicke wurde lange Zeit unterschätzt. Durch das Aufsteigen der Bitumenabdichtung beim Einbau in die offenporige Schicht wird die für die Absorption des

Schalls zur Verfügung stehende Schicht reduziert und somit nicht die volle Wirksamkeit erreicht.

Neben einer größeren Schichtdicke kann ein Einbau auf dichter Unterlage, wie z.B. Gussasphalt, Abhilfe schaffen. Hier ist ein neues Feld für weitere zukünftige Erprobungen.

Die Entwicklung des offenporigen Asphaltes ist demzufolge noch nicht abgeschlossen und insbesondere die Lebensdauer der Asphaltdecke und die Erhaltung der lärmtechnischen Wirksamkeit müssen weiterhin verbessert werden.

3 „Leren van de Weg“

3.1 Problemstellung

In den Niederlanden werden offenporige Asphaltbeläge aufgrund der hohen Wohn-dichte und der damit verbundenen Notwendigkeit der Reduktion von verkehrsbedingten Lärmemissionen in größerem Umfang eingesetzt als in Deutschland. Ein häufig zu beobachtendes Problem des offenporigen Asphaltes ist der Verlust von Gesteinskörnern, der nicht nur die Qualität der Fahrbahndecke beeinträchtigt, sondern durch Steinschlag auch an Fahrzeugen Lack- und Glasschäden verursacht. Ziel des Projektes „Leren van de Weg“ war die Ermittlung der Schadensursachen und die Klärung der zugrunde liegenden Mechanismen. Auf dieser Basis sollten Wege zur Vermeidung der auftretenden Probleme vorgeschlagen werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe standen ca. 200 Bohrkern zur Verfügung, die aus 12 verschiedenen Streckenabschnitten niederländischer Autobahnen stammten. Das Alter der Strecken betrug 3 bis 16 Jahre. Die Proben wurden aus vier Bereichen entnommen: der linken und rechten Rollspur des rechten Fahrstreifens, dem Zwischenbereich sowie dem Standstreifen. Die

Bohrkerne wurden visuell beurteilt und in vier verschiedene Schädigungsstufen eingeteilt.

Alle Strecken waren ähnlich konzipiert und entsprechen einem OPA (niederl. ZOAB) 0/16. Es wurde ein nicht-modifiziertes, niedrigviskoses Bitumen der Sorte 80/100 verwendet. Der Bindemittelgehalt betrug nur 4,5 M.-% und der Hohlraumgehalt war mit 21 Vol.-% konzipiert. Meist kam alpine Moräne zum Einsatz, in einigen wenigen Strecken auch Grauwacke. Weitere Bestandteile der Asphaltmischung sind Maas-Sand und Fremdfüller. Aufgrund der großen Zahl gleichartiger Proben unterschiedlichen Alters, bestand eine gute Voraussetzung für die Untersuchung der in der Deckschicht stattfindenden Veränderungen.

3.2 Bitumenuntersuchungen: Methoden und Ergebnisse

Folgende Untersuchungsmethoden wurden zur Feststellung des Zustandes der rückgewonnenen Bitumenproben angewendet:

- Elementanalyse mit Hilfe der optischen Atomemissionsspektrometrie (ICP-OES) zur Überprüfung der Provenienz
- Infrarotspektrometrie zur Bestimmung des Oxidationsgrades über die Carbonylbande
- Adsorptionschromatographie zur Ermittlung der charakteristischen im Bitumen enthaltenen Gruppen
- Gaschromatographie zur Bestimmung der „Siedelinie“ leicht- bis mittelschwerflüchtiger Bitumenbestandteile
- Bestimmung des Asphaltengehalts und des Asphaltenstatus durch Lösung bzw. Fällung mit spezifischen Lösemitteln bzw. Lösemittelgemischen.

Ergänzend wurde der Einfluss des verwendeten Füllers auf die Bitumeneigenschaften untersucht. Als besonders nützlich für die Aufklärung der zugrunde liegenden Schadensmechanismen erwies sich die Zerlegung von Bohrkernen unter dem Mikroskop und die Untersuchung auffälliger Strukturen mit Hilfe einfacher mikroanalytischer Tests.

3.2.1 Elementanalyse

Erdöle unterschiedlicher Provenienz haben eine spezifische Zusammensetzung an Spurenelementen. Insbesondere Vanadium und Nickel sind in höheren Konzentrationen in Erdölen enthalten und die Konzentration dieser Elemente ist charakteristisch für das jeweilige Erdölvorkommen. Damit besteht auch die Möglichkeit durch Analy-

se des Vanadium- und Nickelgehalts eine Zuordnung von Bitumenproben zu treffen. In Gesteinen kommt Vanadium nur in geringen Konzentrationen vor, so dass die Kontaminationsgefahr während des Asphaltmischprozesses gering ist. Deshalb sind Schlussfolgerungen über die Provenienz auch am rückgewonnenen Bitumen möglich. Nickel ist aufgrund seiner weiten Verbreitung weniger aussagekräftig als Vanadium. Im Rahmen dieses Projektes wurde diese Methode angewendet, um sicherzustellen, dass innerhalb einer Baumaßnahme ein einheitliches Bitumenprodukt verwendet wurde. Im Fall, dass unterschiedliche Produkte zum Einsatz gekommen sind, wurde dies bei der Auswertung und Interpretation der Messdaten entsprechend berücksichtigt.

Die untersuchten Bitumenproben lassen sich hinsichtlich ihrer Vanadiumgehalte in vier verschiedene charakteristische Gruppen unterteilen (Bild 4):

1. < 100 mg/kg
2. > 100 und < 150 mg/kg
3. > 150 und < 200 mg/kg
4. > 500 mg/kg.

Beim Bau der jeweiligen niederländischen Streckenabschnitte wurde in den meisten Fällen Bitumen gleicher Herkunft verwendet. Lediglich einige Abschnitte der BAB A 2 und A 58 weisen Unterschiede auf. Ursache hierfür sind Instandsetzungsmaßnahmen, bei denen Bitumen anderer Herkunft eingesetzt wurde.

3.2.2 Infrarotspektrometrie

Mit Hilfe einer speziellen Methode der Infrarotspektrometrie (FTIR-ATR-Technik) erhält man Hinweise auf die Verwendung von Polymeren und Additiven. Durch Auswertung der Carbonylabsorptionsbande bei ca. 1720 cm^{-1} kann ermittelt werden, wie stark die Oxidation des Bindemittels bereits fortgeschritten ist. Die FTIR-ATR-Technik ist relativ schnell und einfach anwendbar.

Es wurde festgestellt, dass alle untersuchten rückgewonnenen Bitumenproben zwar oxidativ verändert sind, aber insgesamt weniger stark oxidiert waren als erwartet. Die Analyse von Bitumen aus verschiedenen Schichten eines Bohrkerns ergab, dass rückgewonnenes Bitumen aus höheren Bereichen des Bohrkerns stärker oxidiert ist als Bitumen aus tieferen Bereichen. Demzufolge erfolgt die Oxidation in den oberen Bereichen eines offenporigen Asphalts schneller als in tieferen Bereichen.

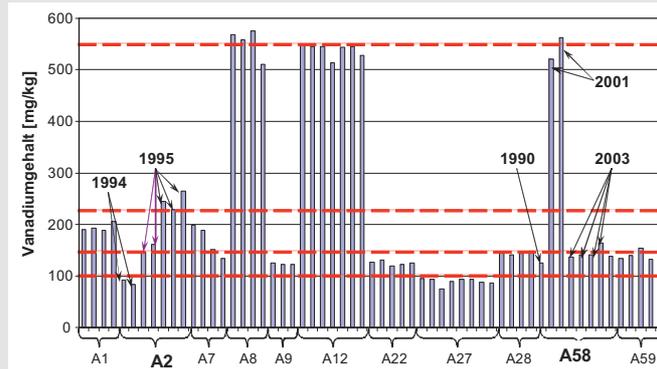


Bild 4: Vanadiumgehalte der verschiedenen Streckenabschnitte

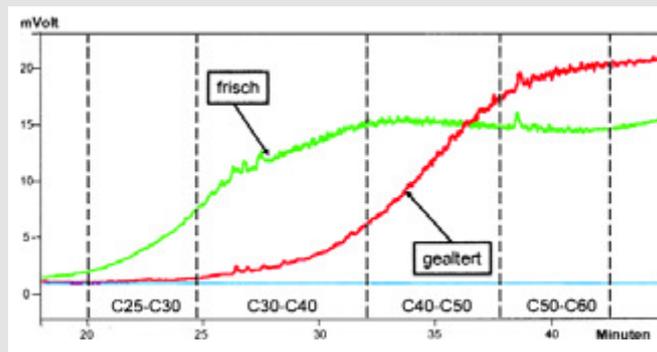


Bild 5: Gaschromatographische Analyse von frischem und gealtertem Bitumen

3.2.3 Gaschromatographie

Die gaschromatographische Analyse liefert eine Art „Siedekurve“ des Bitumens und erfasst Bitumenbestandteile niedriger bis mittlerer Molmasse. Das Bild 5 zeigt exemplarisch die Chromatogramme eines frischen und eines gealterten Bitumens. Je höher die Molmasse der Bitumenkomponenten ist, desto länger dauert es bis diese die chromatographische Trennsäule durchlaufen haben. Mit Hilfe einer Referenzlösung von n-Alkanen bekannter Zusammensetzung lassen sich die Chromatogramme in Abhängigkeit der Kohlenstoffzahl in verschiedene Segmente aufteilen.

Diese entsprechen Fraktionen mit einer Kohlenstoffzahl von C25–C30, welche „leicht verdampfbare“ Bitumenbestandteile enthält, während in der Fraktion C50–C60 „schwere“ Bitumenkomponenten zu finden sind. Die Flächen unter den Kurven sind näherungsweise ein Maß für den Anteil an Bitumenkomponenten mit Kohlenstoffzahlen innerhalb der jeweiligen Fraktionen. Deutlich sind die Unterschiede zwischen einem frischen und einem gealterten Bitumen zu erkennen. Gealtertes Bitumen enthält wesentlich größere Anteile in Bereichen mit höheren Kohlenstoffzahlen als frisches Bitumen. Die thermische und oxidative Alterung hat somit eine

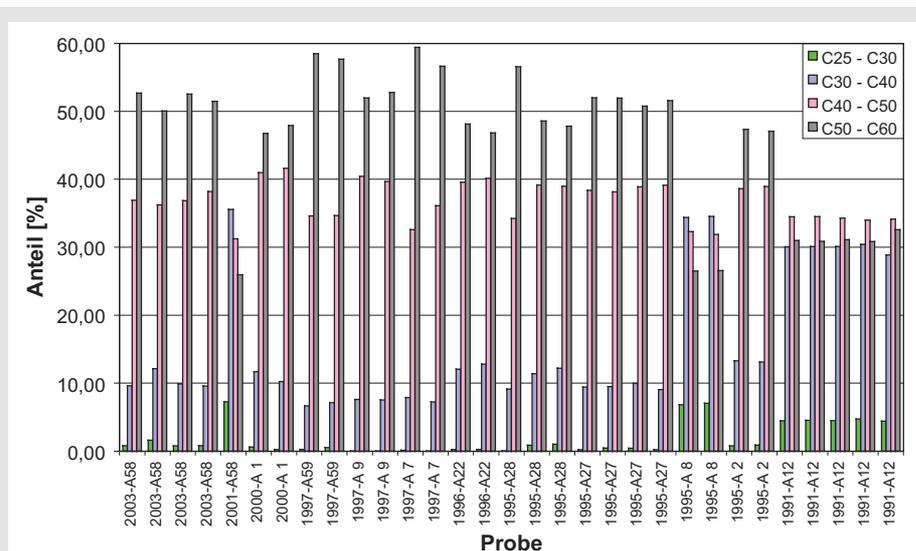
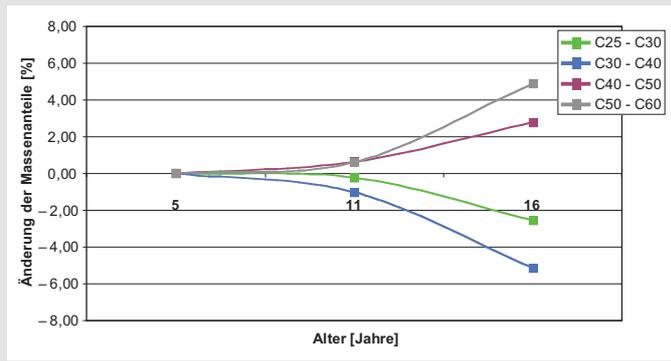


Bild 6: Gaschromatographische Analyse

Bild 7: Relative Änderung der gas-chromatographischen Fraktionen



deutliche Verschiebung vom niedermolekularen zum hochmolekularen Bereich zur Folge.

Zur leichteren Vergleichbarkeit sind in Bild 6 einige Ergebnisse in Form von Balkendiagrammen zusammengefasst. Die zur jeweiligen Probe gehörenden Balken geben die Massenanteile der vier verschiedenen Fraktionen an. Die Massenverteilung der Fraktionen hängt sowohl von der Provenienz des Bitumens bzw. des Erdöls ab als auch vom Alter des jeweiligen Bitumens.

Die zeitliche Veränderung der Massenverteilung ist für rückgewonnenes Bitumen gleicher Provenienz in Bild 7 exemplarisch dargestellt. Ausgehend von einem Ausgangszustand nach fünfjähriger Liegezeit, kommt es im weiteren Verlauf zu einer Zunahme der hochmolekularen Anteile und zu einer Abnahme der Bitumenkomponenten mit niedrigerer Molmasse. Die Verschiebung in den hochmolekularen Bereich ist mit einer Erhöhung der Nadelpenetrationwerte und einer Abnahme der Viskosität verbunden. Die Molmassenverteilung hat neben der chemischen Zusammensetzung einen entscheidenden Einfluss auf die Viskosität des Bitumens. Die

Verschiebung ist umso ausgeprägter, je älter die Strecke ist.

3.2.4 Adsorptionschromatographie

Dieses Verfahren [1] beruht auf der chromatographischen Trennung von charakteristischen chemischen Gruppen des Bitumens mit Hilfe von Aluminiumoxid und Kieselgel unter Verwendung von Toluol und Cyclohexan unterschiedlicher Mischungsverhältnisse. Es werden folgende Gruppen getrennt:

- Aliphaten
- Mono-, Di- und Polyaromaten
- Polare Verbindungen
- Asphaltene.

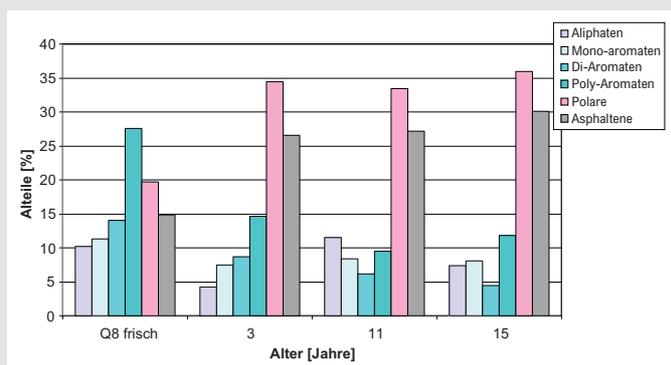
Jede dieser Gruppen besitzt charakteristische chemische und physikalische Eigenschaften, die einen Beitrag zu den Gesamteigenschaften des Bitumens leisten. Auffällige Veränderungen in der stofflichen Zusammensetzung erlauben Rückschlüsse auf die physikalische Eigenschaften, den Alterungszustand und die noch verbliebenen „Reserven“ eines Bitumens. Hohe Aliphaten- und Aromatengehalte bei mittlerem bis niedrigem Asphaltengehalt erniedrigen die Viskosität eines Bindemittels. Polare Verbindungen erhöhen aufgrund ihrer

starken Wechselwirkungen die Viskosität von Bindemitteln und sind wichtig für die Benetzung und Haftung des Bindemittels am Gestein. Asphaltene wirken auf ein Bindemittel „versteifend“. Durch oxidative Prozesse erhöht sich der Gehalt an Asphaltene im Bitumen. Bitumen, das aus Asphaltstraßenbelägen nach längerer Liegezeit zurückgewonnen wurde, enthält deutlich mehr Asphaltene als im frischen Zustand. Der Asphaltengehalt gibt deshalb einen Hinweis auf den Alterungszustand eines Bitumens. Durch Oxidation der Bitumenbestandteile kommt es zu Verschiebungen zwischen den Gruppen, die schematisch in Bild 8 dargestellt sind. So werden die Gehalte der Asphaltene auf Kosten der polaren Verbindungen erhöht. Das Bindemittel „verhärtet“ und die adhäsiven Eigenschaften werden reduziert. Polyaromaten sind empfindlich gegen Sauerstoff und können deshalb in die Gruppe der polaren Verbindungen übergehen. Die deutlichsten chemischen Veränderungen der Bitumenzusammensetzung treten während und nach Einbau des offenporigen Asphalts ein (Bild 9). Wie zu erwarten, kommt es zu einer Oxidation der aromatischen Komponenten unter Bildung von polaren Verbindungen und Asphaltene. Nach längerer Liegezeit fallen die Veränderungen der Zusammensetzung nur scheinbar weniger stark aus. Ursache hierfür ist, dass vorwiegend nur die der Luft zugewandte äußere Schicht des Bitumenfilms oxidiert ist. Mit fortschreitender Alterung lösen sich begünstigt durch äußere Einflüsse (Wasser, Frost usw.) asphaltenreiche Partikel vom Bitumenfilm und „frischeres“ Bitumen bildet die neue Filmoberfläche. Der Prozess setzt sich kontinuierlich bis zum vollständigen Abbau des Bitumenfilms fort. Die scheinbar konstante Zusammensetzung der Bitumenzusammensetzung ist in Wirklichkeit auf den Verlust stark oxidierte Bestandteile zurückzuführen.



Bild 8: Alterungsbedingte Veränderungen der Zusammensetzung des Bitumens

Bild 9: Veränderungen der Zusammensetzung eines Bitumens während mehrjähriger Liegezeit



3.2.5 Asphaltstatus

Die Bestimmung des Asphaltstatus erfolgt nach einer von Zenke [2] entwickelten Methode durch wiederholte Lösung und Fällung mit definierten Gemischen von Isooctan und Cyclohexan. Durch Bestimmung des jeweils ungelösten Anteils in vier Lösemitteln bzw. Lösemittelgemischen, lassen sich drei verschiedene Asphaltfraktionen berechnen.

- Diese Fraktionen entsprechen:
1. schwerlöslichen Asphaltene (sIA)



Bild 10: Alterungsbedingte Veränderung des Asphaltstatus

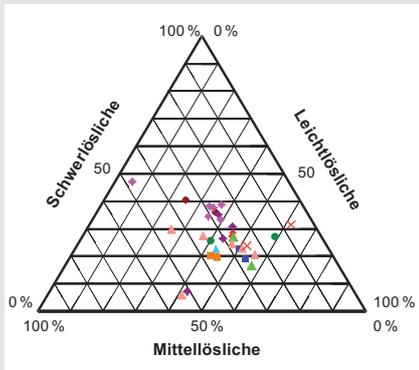


Bild 11: Asphaltstatus der rückgewonnenen Bitumenproben

des Asphaltstatus. Oxidative Prozesse führen zu einer Erhöhung des Gehaltes an schwerlöslichen Asphaltenen (Bild 10).

Die erhaltenen Ergebnisse sind im Bild 11 als ternäres Diagramm dargestellt. Entgegen den Erwartungen zeigen die untersuchten Proben überwiegend einen hohen Anteil an leichtlöslichen Asphaltenen und einen niedrigen Gehalt an mittelschwerlöslichen und schwerlöslichen Asphaltenen.

Eine Überprüfung einiger beim Bau der Strecken verwendeten Bitumen ergab, dass diese im frischen Zustand nicht das erwartete Verhältnis von 1 : 2 : 1 aufwiesen, sondern einen ungewöhnlich hohen Anteil an leichtlöslichen Asphaltenen. Die unerwartete Verteilung der Asphaltene im Ausgangszustand und die Neubildung von leichtlöslichen Asphaltenen aus polaren Verbindungen sind mögliche Erklärungen für die erhaltenen Ergebnisse des Asphaltstatus. Der Frage nachzugehen, welchen Einfluss ein hoher Anteil an leichtlöslichen Asphaltenen auf die Lebensdauer eines offenporigen Asphalts hat, scheint lohnenswert.

2. mittellöslichen Asphaltenen (mlA)
 3. leichtlöslichen Asphaltenen (IIA).
 Die Asphaltanteile in frischem Straßenbaubitumen sind von der Provenienz des zur Herstellung genutzten Erdöls und dem Herstellungsverfahren abhängig. Das Verhältnis zwischen IIA : mlA : slA beträgt nach Untersuchungen von Zenke im Mittel ca. 1 : 2 : 1. Das „Anblasen“ von Bitumen, die Beanspruchung des Bitumens während der Asphaltherstellung und vor allem die oxidative Beanspruchung des Bitumens während der Liegezeit des Asphaltes führen zu einer Veränderung

3.3 Einfluss des Füllers auf die Bitumeneigenschaften

In den untersuchten Streckenabschnitten kamen drei verschiedene Zuschlagstoffe als Füller zum Einsatz. Diese bestanden aus Calciumcarbonat, Calciumhydroxid und einer Mischung von Material tonmineral-ähnlicher Konsistenz mit Calciumcarbonat. Der „natürliche“ Calciumgehalt von Bitumen ist in der Regel sehr niedrig und lag bei den verwendeten „frischen“ Bitumen unter 10 mg/kg. Der Calciumgehalt in den rückgewonnenen Bitumenproben lag mit 2000 bis über 10000 mg/kg deutlich höher (Bild 12).

Es ist davon auszugehen, dass Calciumionen des Füllers mit Komponenten des Bitumens reagieren und Calcium in die Bitumenmatrix chemisch eingebunden wird. Im Bild 13 ist ein möglicher Reaktionsmechanismus für die Wirkung der Calciumionen dargestellt. Bitumen kann bereits im frischen Zustand carbonsäurehaltige Strukturen enthalten. Durch Einwirkung von Luftsauerstoff erhöht sich allerdings die Konzentration an Carboxylgruppen. Ausgehend von einer Hydroxylfunktion wird durch Reaktion mit Sauerstoff die Carbonylgruppe gebildet. Ein weiterer Oxidationsschritt führt zur Bildung einer Carboxylgruppe, der Carboxylfunktion. Diese kann unter Abspaltung von Kohlendioxid wieder in eine Hydroxylfunktion überführt werden. Das Ergebnis ist ein um eine CH₂-Gruppe ärmeres Molekül, das prinzipiell die gleiche Reaktionskette bis zum vollständigen Abbau durchlaufen kann.

Bild 12: Calciumgehalte der rückgewonnenen Bitumenproben

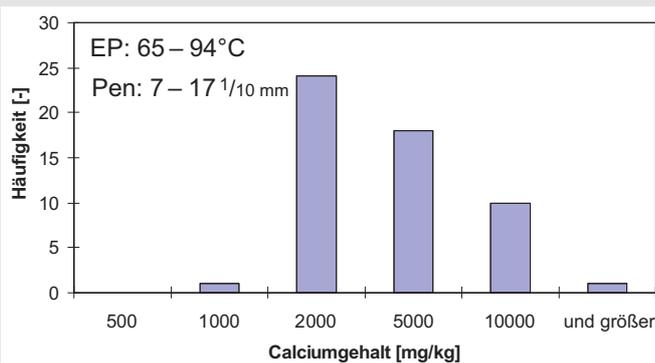
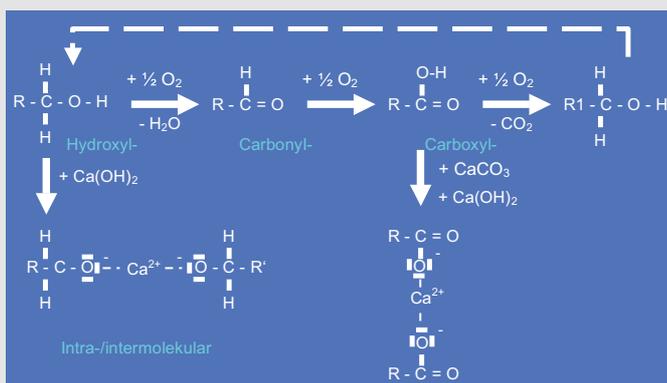


Bild 13: Möglicher Reaktionsmechanismus der Calciumeinwirkung



Calciumhydroxid ist eine basische Verbindung, die mit Carbonsäuren unter Bildung der jeweiligen Salze reagiert. Da es sich um ein zweiwertiges Kation handelt, ist die Reaktion mit einer zweiten Carbonsäure möglich. Calciumionen wirken somit als Koordinationszentren für die im Bitumen enthaltenen organischen Moleküle, mit der Folge, dass das Bitumen härter wird. Calciumcarbonat reagiert in ähnlicher Weise wie Calciumhydroxid. Im Gegensatz zu Calciumcarbonat ist es möglich, dass Calciumhydroxid bereits mit Hydroxylgruppen reagiert.

Durch die Zugabe von Calciumcarbonat bzw. Calciumhydroxid wird primär eine Neutralisation von sauren Bitumenbestandteilen erzielt. Ob sich dies vorteilhaft auf die Alterungsbeständigkeit des Asphalts auswirken kann, ist zwar denkbar, aber experimentell noch nicht nachgewiesen.

Bild 14: Seitenansicht eines mit Ablagerungen gefüllten offenporigen Asphalts



3.4 Mikroskopische und mikroanalytische Untersuchung der Bohrkerne

Als aufschlussreich zur Ermittlung des Schadensmechanismus erwies sich die mikroskopische Untersuchung einer Auswahl von Bohrkernen, die aus Strecken unterschiedlichen Alters sowohl aus den Rollspuren als auch der Standspur und dem Bereich zwischen den Rollspuren entnommen waren.

Zu diesem Zweck wurden die oberen 5 cm des Bohrkerns abgeschnitten und die erhaltene Scheibe auf ca. 80 °C erwärmt. Danach wurde die Scheibe gebrochen, so dass zwei gleich große Hälften entstanden, die einen seitlichen Einblick in die Hohlräume und die enthaltenen Ablagerungen erlaubten (Bild 14). Von der Oberfläche der Deckschicht ausgehend wurde Korn für Korn entfernt und der Zustand der labyrinth-ähnlichen Struktur untersucht. Durch einfache mikroanalytische Tests wurden Hinweise auf die Beschaffenheit der Partikel und Ablagerungen erhalten.

Bohrkerne aus Strecken die seit mehr als 8 Jahren unter Verkehr liegen, zeigen besonders markante Veränderungen. Bei einem aus der Rollspur entnommenen Bohrkern lassen sich bei seitlicher Betrachtung zwei Bereiche deutlich voneinander abgrenzen. Den oberen dunkel erscheinenden Bereich könnte man als „Abmagerungszone“ bezeichnen, während der untere hellere Bereich eine Anreicherungszone darstellt, deren Hohlräume zum Teil durch erhebliche Sandanreicherungen verfüllt sind.

In der Abmagerungszone ist das Gestein in den Hohlräumen kaum noch von Bitumen bedeckt, es liegen zum Teil blanke Gesteinsoberflächen vor. Die Zwischenräume zwischen den Gesteinslagen sind dagegen mit Bitumen gefüllt. In bestimmten Berei-

chen treten auffällige weiße, aus Calciumcarbonat bestehende Ablagerungen auf.

In der tiefer liegenden Anreicherungszone sind die Gesteinsoberflächen mit rissigem und stumpf aussehendem Bitumen bedeckt. Die Räume zwischen den Gesteinslagen sind dagegen mit schwarz glänzendem Bitumen gefüllt. Die Hohlräume sind in der Regel mit Ablagerungen verfüllt, die entweder aus locker gebundenem Grobsand bestehen oder aus kompakten und harten Feinsandablagerungen.

Die kompakten Feinsandablagerungen bestehen vorwiegend aus Quarzpartikeln, die ihrerseits wieder über winzige Bitumenpartikel „punktverklebt“ sind. Diese Verklebung sorgt für eine hohe Festigkeit und bewirkt, dass wie durch einen Pfropfen die Hohlräume verstopft werden. Diese Pfropfen können „Füllerbestandteile“ sein, die während des Einbaus und der Verdichtung in die Hohlräume gelangt sind. Es ist allerdings auch möglich, dass sich diese erst langsam durch Ablagerung kleiner bitumenbehafteter Partikel gebildet haben, die sich aus oberen Bereichen gelöst haben und nach Transport durch Luft oder Wasser an strömungstechnisch günstigen Bereichen abgelagerten.

Die Grobsandablagerungen bestehen hauptsächlich aus Quarzsand, der von außen eingetragen wurde. Dies wird durch Artefakte in Form von Glasperlen aus Straßenmarkierungen und Rostanteilen, vermutlich von den überrollenden Fahrzeugen stammend, bestätigt. Die lockere Bindung der Sandpartikel erfolgt durch Calciumcarbonat.

Völlig unterschiedlich sind dagegen Bohrkerne, die aus Standstreifen und dem Zwischenbereich stammen. Bei seitlicher Betrachtung ist eine homogene Verteilung über die gesamte Deckschicht festzustel-

len. Die Bitumenablösung an den Gesteinsoberflächen der Hohlräume ist bei Weitem nicht soweit fortgeschritten, wie in Bohrkernen aus der Rollspur. Das Bitumen hat ein stumpfes Aussehen und zeigt Anzeichen einer beginnenden Verwitterung. Die geschlossenen Hohlräume zwischen den Gesteinslagen sind dagegen mit glänzendem, frisch wirkendem Bitumen verfüllt. Insbesondere auf dem Standstreifen findet man häufig Ablagerungen von pflanzlichem Material.

3.6 Mechanismus des Kornausbruchs

Aus den Ergebnissen der chemischen Analysen und insbesondere der mikroskopischen Untersuchung von Bohrkernen unterschiedlichen Alters lässt sich ein Gesamtbild ableiten und der Mechanismus des Kornausbruchs rekonstruieren. Bei einer frisch eingebauten offenporigen Asphaltdeckschicht (Bild 15a) wird zunächst der Bitumenfilm an der Fahrbahnoberfläche entfernt. Dies wird durch eine Kombination von Licht, Witterung, Verschmutzung und vor allem durch die überrollenden Fahrzeuge bewirkt. Dieser Vorgang erfolgt schnell und ist im Sinne einer guten Griffbarkeit erwünscht.

Der nächstfolgende Schritt besteht in der langsamen Verwitterung des in den oberen gut zugänglichen Hohlräumen der Deckschicht befindlichen Bitumens. Als Folge der Oxidation durch Luftsauerstoff wird das Bitumen matt und verhärtet aufgrund der Bildung von hochmolekularen Asphaltene (Bild 15b). Bei unvollständiger Benetzung der Gesteine oder bei einem nur sehr dünnen Bitumenfilm schreitet der Verwitterungsprozess schneller voran. Hohe Umgebungstemperaturen und die Einwirkung von Sonnenlicht begünstigen den Oxidationsprozess.

Die Ablösung des Bitumenfilms hinterlässt blanke Gesteinsoberflächen (Bild 15c). Dieser Vorgang wird durch das Überrollen der Fahrzeuge beschleunigt. Die durch einen überrollenden Reifen komprimierte Luft entweicht über das labyrinthartige Hohlraumsystem. Dieser Effekt ist für die lärmindernde Wirkung der offenporigen Asphaltes verantwortlich. Das kurzzeitige Einpressen und Absaugen von Luft entspricht einem Strömungsimpuls, das ein Aufwirbeln von lockeren Sandpartikeln im Hohlraumsystem zur Folge hat. Ist das Bitumen noch frisch, dann bleiben diese Sandpartikel an der Bitumenoberfläche kleben. Verwittertes und verhärtetes Bitu-

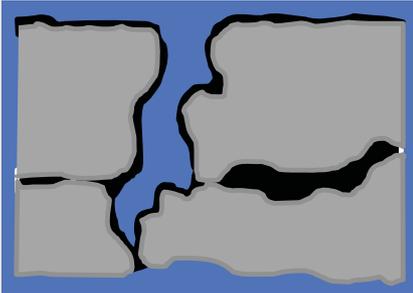


Bild 15a: Ausgangszustand

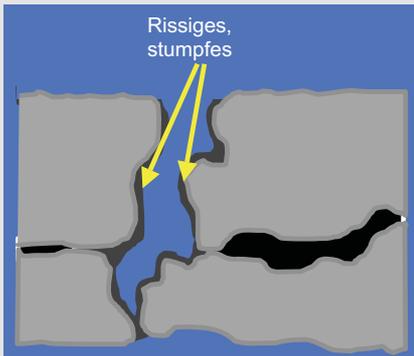


Bild 15b: Oxidation und Verhärtung des Bitumenfilms am Gestein

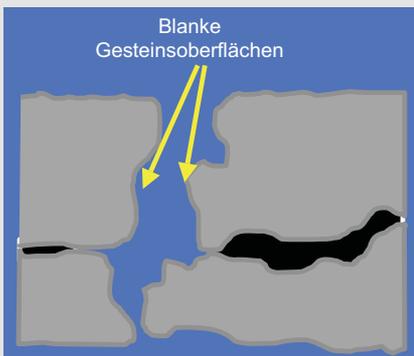


Bild 15c: Ablösung des Bitumenfilms

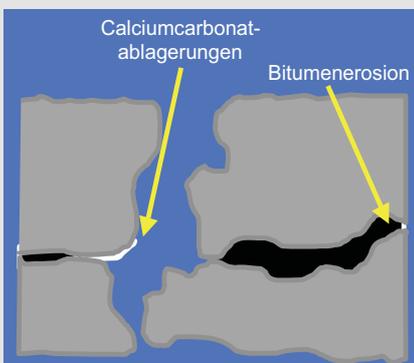


Bild 15d: Abbau des Bitumens in den Zwischenbereichen

Bitumen verfüllten Zwischenbereiche oder Kammern angegriffen. Da diese Kammern nur kleine Öffnungen haben, wirkt der Luftsauerstoff nur auf eine kleine Fläche ein. Dieser Verwitterungsprozess verläuft langsamer als in den Hohlräumen. Dennoch schreitet die Oxidation von außen langsam voran und legt den Füller frei. Im günstigsten Fall schützt das freigelegte Calciumcarbonat die Kammer. Da Calciumcarbonat wasserlöslich ist, handelt es sich aber nur um einen zeitlich begrenzten Effekt. Das Calciumcarbonat wird durch Wasser weitertransportiert und an anderer Stelle im Hohlraumsystem abgelagert (Bild 15d).

Die fortschreitende Bitumenoxidation und -erosion der bitumengefüllten Kammern führt zu einem Nachlassen der Klebewirkung des Bitumens. Die Folge ist, dass bereits eine geringe mechanische Einwirkung oder Frost-Tau-Wechsel zur Ablösung des Gesteins und damit zu dem beobachteten Kornausbruch führt (Bild 15e).

4 Schlussfolgerungen

Die maximale Lebensdauer eines offenporigen Asphalts wird durch Oxidation von Bitumen und die Erosion des Mastix bestimmt. Der offenporige Asphalt erfährt einen Substanzverlust, der zunächst mit Bitumen beginnt und mit dem Loslösen der Gesteinskörner endet.

Die lärmtechnischen Eigenschaften werden durch die Ablagerung von Fremdmaterial und Bildung von „Pfropfen“ in den Hohlräumen der tieferen Bereiche der Deckschicht im Laufe der Zeit immer schlechter.

Ein Vorteil des niederländischen ZOAB 0/16 ist, dass die Verwendung von niedrigen Gehalten eines nicht-modifizierten Bitumens kostengünstig ist. Bedingt durch die niedrige Viskosität wird zwar eine gute Benetzung der Gesteinsoberflächen begünstigt, allerdings hat dies auch dünnere Bitumenfilme zur Folge, die weniger „Reserven“ gegenüber der Oxidation haben.

Eine Verbesserung der Dauerhaftigkeit kann auf einfache Weise durch eine Erhöhung des Bitumenanteils in der Asphaltmischung erreicht werden. Da mehr Bitumen enthalten ist, dauert es länger bis dieses oxidiert ist.

Weitere Verbesserungen können erreicht werden, indem man die Oxidationsprozesse verlangsamt oder verhindert und die

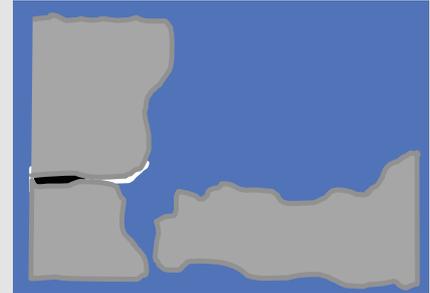


Bild 15e: Versagen der Haftung und Kornausbruch

Klebrigkeit reduziert. Dies kann möglicherweise erreicht werden durch:

- Zugabe von geeigneten Additiven oder Zuschlagstoffen
- Beschichtung der Bindemitteloberflächen mit dem Ziel einer „Schutzschicht“-Bildung
- Verwendung von Bindemitteln auf der Basis von Polymeren und nicht auf Basis von Bitumen.

Die technischen Anforderungen, die ein offenporiger Asphalt erfüllen muss, sind hoch. Eine Weiterentwicklung ist möglicherweise nur dann zu erreichen, wenn man bereit ist, auch unkonventionelle Wege zu beschreiben. Die technische Umsetzung der genannten Ansätze erfordert auf jeden Fall einen hohen Entwicklungsaufwand. Ob eine Entwicklung sich durchsetzt, hängt von der Praktikabilität und der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ab. In Deutschland und in den Niederlanden werden teilweise unterschiedliche Konzepte verfolgt, um den Straßenbau voranzutreiben. Hinsichtlich der offenporigen Asphalte gibt es allerdings eine Reihe gemeinsamer Probleme und Ziele. Laufende Forschungsprojekte in beiden Ländern versuchen, die insgesamt doch recht komplexen Verschmutzungsmechanismen von OPA zu verstehen und geeignete Strategien zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

- 1 Sebor et al.: J. of Chromatography, 1999, 847, 323-330
- 2 Zenke, G.: Zum Löseverhalten von „Asphaltenen“: Anwendung von Löslichkeitsparameter-Konzepten auf Kolloidfraktionen schwerer Erdölprodukte, Dissertationsschrift, Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenbau der Technischen Universität Clausthal, 1989

men wird dagegen von den Sandpartikeln mechanisch abgetragen. Der Vorgang ist durchaus vergleichbar mit der Wirkung eines Sandstrahlgebläses.

Im nächstfolgenden Schritt werden die mit