

# Optimierung der Zusammensetzung Offenporiger Asphalte zur Verbesserung des Nutzungsverhaltens

FA 7.274

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Bearbeiter: Radenberg, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: April 2019

## 1 Einleitung und Problemstellung

Deckschichten aus Offenporigem Asphalt (Porous Asphalt, PA) zeichnen sich besonders durch ihre offene porige Struktur mit einer Vielzahl von zugänglichen Hohlräumen aus. Durch diese kann der Schall absorbiert und die aerodynamischen Vorgänge bei Reifen-Fahrbahn-Geräuschen verringert werden. Des Weiteren führt die große Anzahl an zugänglichen Hohlräumen zu einer Reduzierung der Sprühhahnen und einer guten Drainagewirkung bei Nässe.

Die offene porige Struktur bietet jedoch auch eine große Angriffsfläche für eindringendes Wasser und Sauerstoff, wodurch die Alterung des Bitumens im Offenporigen Asphalt beeinflusst wird. Gegenüber konventionellen Asphaltdeckschichten ist die Nutzungsdauer von PA reduziert und beträgt im Mittel acht bis zehn Jahre. Die Nutzungsdauer wird überwiegend durch Kornausbrüche begrenzt.

Die Einhaltung der engen Materialvorgaben, wie beispielsweise der Korngrößenverteilung (KGV), in Verbindung mit den prüftechnischen Problemen der Hohlraumgehaltbestimmung führen häufig zu bauvertraglichen Diskussionen.

Der in Forschungsarbeiten festgestellte Einfluss der Probekörperherstellung auf den Hohlraumgehalt, erschwert eine sinnvolle Optimierung der schall- und der bautechnischen Eigenschaften Offenporiger Asphaltdeckschichten.

## 2 Zielsetzung

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Verbesserung des Nutzungsverhaltens Offenporiger Asphalte durch eine gezielte Optimierung der Zusammensetzung. Dazu soll systematisch der Einfluss der Mischgutzusammensetzung in Hinblick auf das Alterungsverhalten Offenporiger Asphaltdeckschichten untersucht werden. Die Mischgutzusammensetzung wird anhand von Kornform, Kornanteilen der einzelnen Kornklassen sowie Mastixzusammensetzung variiert.

Erste Erkenntnisse zur Auswahl geeigneter Mischgutvarianten werden mit einer computerbasierten Modellberechnung ermittelt. Rheologische Bindemittel- und Mastixuntersuchungen bilden die Grundlage zur Bewertung und Auswahl der Bindemittel- und Mastixvarianten.

Die Bewertung der akustischen Eigenschaften der verschiedenen PA-Varianten wird anhand des Strömungswiderstands und des Schallabsorptionsgrads überprüft. Zudem werden ausgewählte PA-Varianten bezüglich der zu erwartenden bautechnischen Dauerhaftigkeit überprüft.

## 3 Beschreibung des Untersuchungsprogramms

Das durchgeführte Untersuchungsprogramm lässt sich in drei Abschnitte unterteilen.

Im ersten Abschnitt wurden Voruntersuchungen zur Charakterisierung der Materialkomponenten und der möglichen Gemischzusammensetzung durchgeführt. Die materialspezifischen und rheologischen Eigenschaften der Bindemittel wurden jeweils im frischen Zustand, nach Kurzzeitalterung und nach kombinierter Kurzzeit- und Langzeitalterung mittels Nadelpenetration, Erweichungspunkt Ring und Kugel, Biegekiechsteifigkeit sowie Dynamischem Scherrheometer bestimmt. Untersucht wurden sechs höhermodifizierte Polymermodifizierte Bitumen (PmB), zwei gebrauchsfertige Gummimodifizierte Bitumen (RmB R) und ein Gummimodifiziertes Bitumen mit Gummimodifiziertem Bitumengranulat (RmB G). Ebenfalls mit dem Dynamischen Scherrheometer wurden die rheologischen Eigenschaften von 20 verschiedenen Mastixvarianten untersucht. Diese variierten in ihrer Zusammensetzung durch unterschiedliche Kombinationen von Bindemittel, Füller, Kalkhydrat, Bindemittelträger und deren jeweiligen Zugabeanteilen.

Die Lieferkörnungen der ausgewählten basischen und sauren Gesteinskörnungen (Diabas und Granit) wurden auf ihre Kornform hin untersucht. Aus den Lieferkörnungen wurden 40 Siebli-nienvarianten theoretisch abgeleitet und mittels computerbasierter Berechnung ein Volumenmodell entwickelt, das die zu erwartenden Hohlraumgehalte des Offenporigen Asphalts abschätzt.

Im zweiten Abschnitt wurde anhand von drei Untersuchungs-serien die Materialzusammensetzung optimiert. Die erste Untersuchungs-serie diente zur Eingrenzung der Sieblinien. Zehn verschiedene Gesteinskörnungsvarianten wurden in Kombination mit einem Referenz-Mastix realisiert und labortechnisch geprüft. In der zweiten Untersuchungsserie wurde der Kornformeinfluss untersucht. Dazu wurden an den zuvor ermittelten Gesteinskörnungsvarianten gezielte Veränderungen an der Kornform vorgenommen. Die dritte Untersuchungsserie diente zur Überprüfung des Mastixeinflusses auf die Hohlraumstrukturen im Offenporigen Asphalt. Dazu wurden die in der zweiten Untersuchungsserie ermittelten optimalen Gesteinskörnungsvarianten mit verschiedenen Mastixvarianten betrachtet.

Als Bewertungskriterium dienten bei den drei Untersuchungs-serien neben dem Hohlraumgehalt auch der Schallabsorptionsgrad sowie der Strömungswiderstand. Zusätzlich wurden die Ergebnisse des Kornverlusts der Marshall-Probekörper berücksichtigt.

Im dritten Abschnitt des Untersuchungsprogramms wurde eine realitätsnahe Liegezeitsimulation an den zuvor optimierten Materialzusammensetzungen durchgeführt und die Dauerhaftigkeit geprüft. Dazu wurden Asphaltprobeplatten mit dem Bochumer Alterungsverfahren (BAV) gealtert und anschließend einer Frost-Tausalz-Beanspruchung unterzogen. An diesen so beanspruchten Probeplatten wurde das Nutzungsverhalten anhand einer Oberflächenverschleißprüfung (OVP) mittels DSD-Prüfgerät (Darmstadt Scuffing Devices) ermittelt. Weiterhin wurden zur Beurteilung der optimierten Materialzusammensetzung der

Strömungswiderstand und der Schallabsorptionsgrad bestimmt. Abschließend wurden computertomografische Untersuchungen zur Ermittlung der Anteile an kommunizierenden Hohlräumen durchgeführt.

## 4 Ergebnisse und Auswertung

### 4.1 Voruntersuchungen

Die mittels computerbasierter Modellberechnung (Bild 1) ermittelten Hohlraumgehalte schienen als alleiniges Beurteilungsmerkmal zur Auswahl von 20 Sieblinienvarianten zu ungenau. Daher wurden zusätzlich an MPK die Hohlraumgehalte aller 40 Sieblinienvarianten ermittelt. Auf Grundlage beider Hohlraumgehaltsbestimmungen wurde die abschließende Auswahl der 20 Sieblinien getroffen.

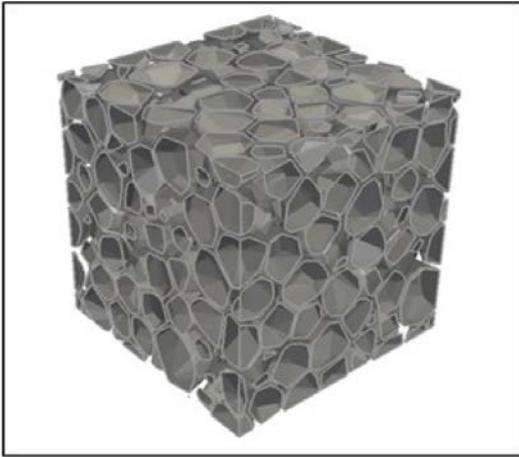


Bild 1: Simulierte Gesteinsverteilung im Einheitswürfel

### 4.2 Optimierung der Materialzusammensetzung

#### Untersuchungsserie 1

Zehn Sieblinienvarianten mit einem Größtkorn von 8 mm und zehn Sieblinienvarianten mit einem Größtkorn von 11 mm wurden mit dem Referenz-Mastix realisiert. Die Ergebnisse der Hohlraumgehaltsbestimmung zeigen, dass die Hohlraumgehalte verschiedener Asphalt-Probekörper des gleichen Asphaltmischguts nennenswerte Unterschiede aufweisen, wodurch die Vergleichbarkeit erschwert wird (Bild 2).

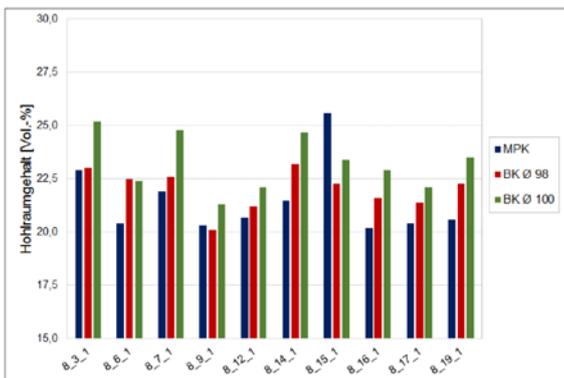


Bild 2: Hohlraumgehalte verschiedener PA8-Probekörper

Nur wenige Varianten konnten gute akustische Eigenschaften aufweisen, eingeordnet anhand des Schallabsorptionsgrads und Strömungswiderstands. Eine Abhängigkeit zum Hohlraumgehalt konnte nicht festgestellt werden. Je Größtkorn wurde eine sehr gute Variante, mindestens eine Variante mit 5,0 M.-% Sandanteil und eine Variante mit großem Optimierungspotenzial für die zweite Untersuchungsserie ausgewählt. Die Kornverluste PL der MPK beider Größtkornvarianten lagen deutlich unter 10 M.-% und damit in einem sehr guten Bereich.

#### Untersuchungsserie 2

An je vier Sieblinienvarianten je Größtkorn wurde der Einfluss der Kornform auf den Hohlraumgehalt untersucht. Jeweils drei Kornformen (FI 0, 10 und 20) wurden je Variante realisiert.

Ein Einfluss der Kornform auf den Hohlraumgehalt konnte nicht festgestellt werden. Auch zeigten sich keine eindeutigen Einflüsse der Kornform auf den Kornverlust PL der MPK. Dieser lag mit Ausnahme einer Variante unter 10 M.-%.

Deutlich mehr Varianten konnten gute akustische Eigenschaften aufweisen, wobei die Varianz der PA11-Varianten signifikant kleiner war und im besseren akustischen Bereich lag (Bild 3).

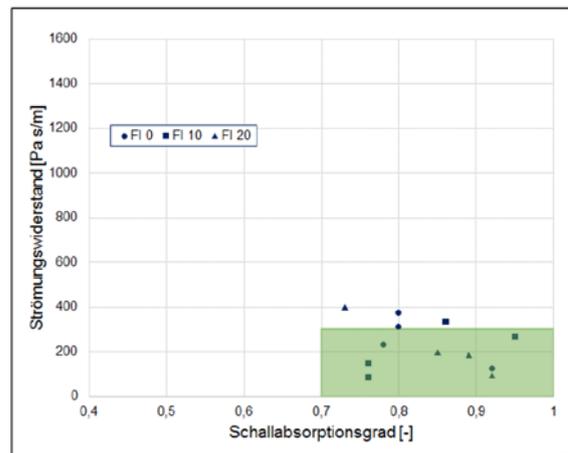


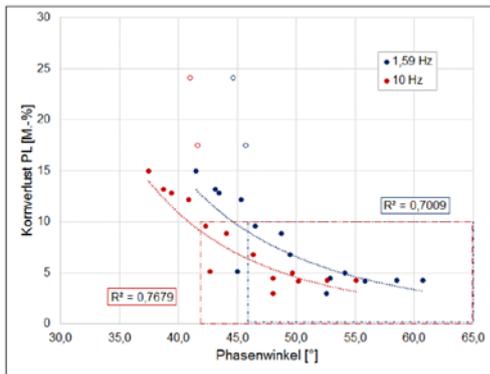
Bild 3: Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand und Schallabsorptionsgrad PA11 (Untersuchungsserie 2)

Für die dritte Untersuchungsserie wurde jeweils eine vermeintlich praxisnahe Sieblinien-Variante ohne Sandanteil gewählt. Die PA8-Variante wurde mit der Kornform FI 10 und die PA11-Variante mit der Kornform FI 20 umgesetzt.

#### Untersuchungsserie 3

Da PA8-Varianten in der Praxis häufiger verwendet werden, wurde die PA8-Sieblinienvariante mit 16 verschiedenen Mastixvarianten und die gewählte PA11-Variante nur mit vier unterschiedlichen Mastixvarianten realisiert.

Die Variation des Mastix hat auf den Hohlraumgehalt nur einen geringen Einfluss, wohingegen der Einfluss auf den Kornverlust PL deutlich ist. Die Varianten mit Gummimodifiziertem Bitumen weisen größere Kornverluste (> 10 M.-%) auf als die Varianten mit Polymermodifiziertem Bitumen (< 10 M.-%). Die Mastixvarianten mit einem Mischfüller führten zu tendenziell geringfügig höheren Kornverlusten. Bei den PA8-Varianten konnte ein brauchbarer Zusammenhang zwischen Kornverlust und den rheologischen Mastixeigenschaften festgestellt werden (Bild 4).



**Bild 4: Zusammenhang zwischen Kornverlust PL und Phasenwinkel des Mastix bei T = 20 °C**

Während nur einige der PA8-Varianten akustisch gute Eigenschaften aufwiesen, konnten alle PA11-Varianten den akustisch guten Bereich erreichen.

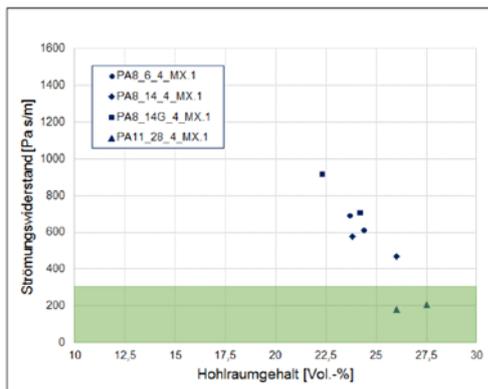
Zur Auswahl der Bindemittel für die abschließenden Asphaltuntersuchungen wurden die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungsreihen und der Voruntersuchungen berücksichtigt. Anhand einer Bewertungsmatrix wurde ein Polymermodifiziertes und ein Gummimodifiziertes Bitumen ausgewählt.

#### 4.3 Abschließende Asphaltuntersuchungen

Es wurden drei Gesteinskörnungsvarianten mit einem Größtkorn von 8 mm und eine Gesteinskörnungsvariante mit einem Größtkorn von 11 mm verwendet. Diese wurden jeweils mit einem PmB und einem RmB G realisiert.

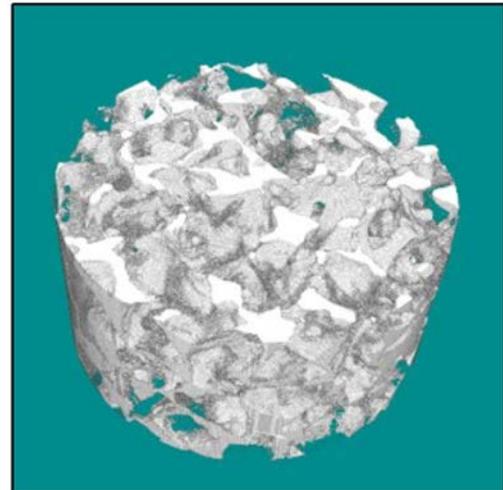
#### Akustische Eigenschaften

Tendenziell wurden mit dem RmB G geringfügig höhere Hohlraumgehalte erzielt, jedoch führt die Verwendung dieses Bindemittels zu deutlich höheren Kornverlusten. Die Varianten mit einem RmB G weisen Kornverluste von > 10 M.-% auf, während die Varianten mit PmB Kornverluste von < 10 M.-% zeigten. Die Zusammensetzung der Gesteinskörnung zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf den Schallabsorptionsgrad. Die Schallabsorptionsgrade aller Varianten liegen im guten bis sehr guten Bereich. Trotz des kleinen Probenumfangs war ein Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand und Hohlraumgehalt erkennbar (Bild 5). Mit zunehmendem Hohlraumgehalt wurden bessere Strömungswiderstände erzielt. Jedoch konnten nur die beiden PA11-Varianten den guten akustischen Bereich erreichen.



**Bild 5: Strömungswiderstand der verschiedenen PA-Varianten**

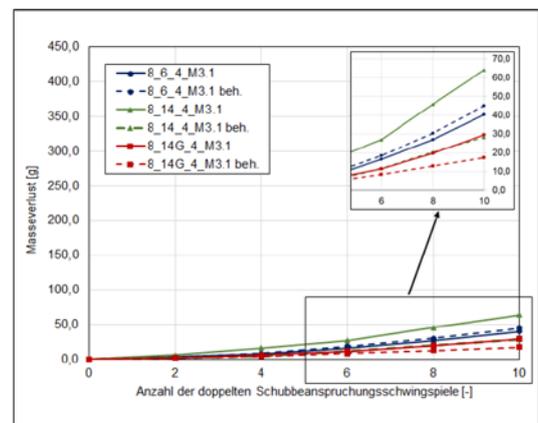
Bei der Bestimmung der Hohlraumraumgehalte der CT-Scans wurde der innenliegende Teilbereich (Ø 43,35 mm, Höhe 43,35 mm) der Bohrkerns berücksichtigt, wodurch der Textureinfluss entfiel. Die errechneten Hohlraumgehalte der CT-Scans weichen leicht von den am Bohrkern durch Ausmessen ermittelten Hohlraumgehalten ab, mit einer Standardabweichung von 0,85 Vol.-% wurde dennoch eine gute Übereinstimmung erzielt. Aufgrund der 2-D-Darstellung der 3-D-Hohlraumstruktur, sind die kommunizierenden Hohlräume nicht gut visualisierbar (Bild 6).



**Bild 6: 3-D-Hohlraumstruktur eines Asphalt-Probekörpers**

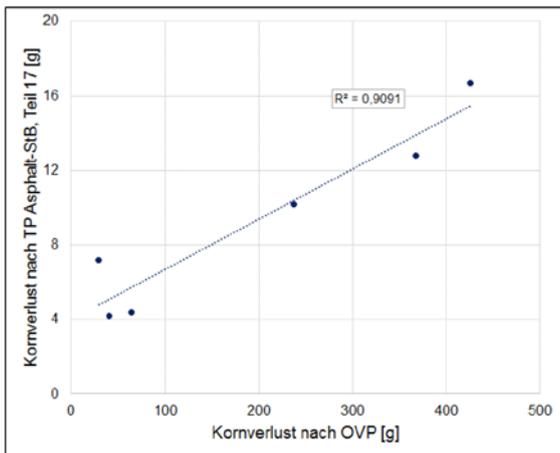
#### Nutzungsverhalten

Das Nutzungsverhalten der acht PA-Varianten wurde mittels DSD-Prüfgerät überprüft. Dazu wurden je Variante zwei Asphalt-Probepplatten mittels BAV gealtert und anschließend an den Probepplatten eine Frost-Tausalz-Beanspruchung durchgeführt. Diese Probepplatten und zwei nicht gealterte und beanspruchte Probepplatten wurden auf ihren Widerstand gegen Oberflächenverschleiß geprüft. Mit Ausnahme einer Variante wurden nach der Konditionierung geringere Masseverluste gemessen (Bild 7). Die Konditionierung der Probepplatten bewirkt somit einen höheren Widerstand gegen Oberflächenverschleiß, der so nicht erwartet wurde.



**Bild 7: Absolute Masseverluste nach OVP der PA8-Varianten**

Trotz der unterschiedlichen Belastungsarten konnte ein Zusammenhang zwischen dem Masseverlust nach OPV und dem Kornverlust PL der MPK festgestellt werden (Bild 8).



Verbesserung des Nutzungsverhaltens, die im Rahmen einer Erprobungsstrecke in der Praxis überprüft werden sollte.

**Bild 8: Zusammenhang zwischen Kornverlust nach TP und Kornverlust nach OVP**

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der computerbasierten Modellberechnung zeigten, dass diese noch keine zielsichere Vorhersage des experimentell ermittelten Hohlraumgehalts ermöglicht. Es ist allerdings auch nicht auszuschließen, dass die Ungenauigkeiten des Bezugswerts (Hohlraumgehalt am Asphalt-Probekörper) hierfür mit ursächlich sind. Zur Lösung dieser Problematik sollte die Methode zur Bestimmung der Hohlraumgehalte Offenporiger Asphalte optimiert werden. Mögliche Optimierungsparameter sind die Verdichtungsart, die Schichtdicke, der Probendurchmesser sowie die geschnittenen und die angeschnittenen Flächenanteile.

Durch die Variation der Sieblinie konnten große Unterschiede der akustischen Eigenschaften der PA-Varianten nachgewiesen werden. Ein eindeutiger Einfluss der Sieblinienvariation auf den Kornverlust PL konnte nicht festgestellt werden.

Die Variation der Kornform hatte in dem hier geprüften Rahmen keinen eindeutigen Einfluss auf den Hohlraumgehalt und auf die akustischen Eigenschaften der PA-Varianten.

Die Mastixrheologie ist eine wichtige Optimierungsgröße. Zu hohe Mastixsteifigkeiten führen zu höheren Kornverlusten. Eine Betrachtung unter Berücksichtigung von Alterungsprozessen wäre sinnvoll.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihe deuten darauf hin, dass eine gute Mastixrheologie im frischen Zustand vorliegt, wenn der Komplexe Schermodul  $< 8,0$  MPa und der Phasenwinkel  $< 46^\circ$  ist.

Ein Einfluss des Bindemittelvolumens auf den Hohlraumgehalt ist erkennbar. Schon leichte Veränderungen des Bindemittelvolumens beeinflussen den Hohlraumgehalt.

Die Ergebnisse und die Differenzierbarkeit der Oberflächenverschleißprüfung vor und nach Alterung sollten kritisch hinterfragt werden. Die Simulation der mechanischen Beanspruchung mit der Oberflächenverschleißprüfung scheint für einen Offenporigen Asphalt auf Autobahnen keine zielführende Prüfmethode zu sein. Daher sollten Alternativen gesucht werden, die die Nutzungsbedingungen besser abbilden. Unabhängig davon geben die Ergebnisse der Untersuchungen einige Hinweise zur