
Dauerhaftigkeit von Asphalt und Bitumenalterung

Kurzfassung der Vertieferarbeit am Fachgebiet Straßenwesen des Instituts für Verkehr
Bearbeiter: Sebastian Schön

Sebastian Schön
Matrikelnummer: 1213139
Studiengang: Diplom Bauingenieurwesen

Vertieferarbeit
Thema: Dauerhaftigkeit von Asphalt und Bitumenalterung

Eingereicht: 29.06.2010

Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Straßenwesen mit Versuchsanstalt
Fachbereich Bauingenieurwesen
Petersenstraße 30
64287 Darmstadt

Dauerhaftigkeit von Asphalt und Bitumenalterung

Seit Jahrtausenden wird Bitumen bzw. natürlich-vorkommender Asphalt von Menschheit genutzt: zur Herstellung von Schmuck, zur Abdichtung von Booten aber auch bereits im babylonischen Reich zum Bau von Prachtstraßen. In Europa ging mit dem Untergang des Römischen Reiches das Wissen um die Nutzungsmöglichkeiten für lange Zeit verloren.

Heute wird der überwiegende Teil des produzierten Bitumens im Straßenbau verwendet. In Deutschland waren dies in den letzten Jahren ca. 2,5 Millionen Tonnen. Im Asphaltstraßenbau dient das Bitumen als Bindemittel für die Gesteinskörnungen des Asphalts. Der durch das Bitumen hergestellte Verbund wird jedoch über die Zeit schwächer. Dieser Umstand ist zum Teil auf die Alterung des Bitumens zurückzuführen.

Bitumen ist ein Stoffgemisch aus unterschiedlichsten Kohlenwasserstoffverbindungen. Der genaue Molekülbestand ist aus diesem Grund nur schwer zu ermitteln. Daher wird seit langem mit Modellvorstellungen gearbeitet, um z. B. Veränderungen der physikalischen Eigenschaften von Bitumen zu erklären. Zu nennen sind hier das Modell der Kolloidstruktur des Bitumens sowie das jüngere Modell der supramolekularen Struktur von Bitumen.

Die Haftung zwischen Bitumen und Mineralstoff ist bis heute mit unterschiedlichen Theorien erklärt worden. Unter anderem sind dies der mechanische Ansatz, welcher die Haftungswirkung mit der Verzahnung zwischen Bitumen und Mineralstoff erklärt, der elektrostatische Ansatz, welcher die Haftungswirkung auf den Ausgleich von Ladungsunterschieden zurückführt, und der chemische Ansatz, der von Bindungsreaktionen der funktionellen Gruppen des Bitumens und des Mineralstoffes ausgeht. Die Haftung zwischen Bitumen und Mineralstoff kann aber aller Voraussicht nach nur durch eine Kombination der unterschiedlichsten Ansätze erklärt werden.

Inzwischen sind drei Arten der Bitumenalterung beschrieben: die Verdunstungsalterung, bei der leichtflüchtige Bestandteile des Bitumens aus der Kolloidstruktur gelöst werden, die oxidative Alterung, die durch UV-Licht und Sauerstoff ausgelöste Oxidationsreaktionen der im Bitumen enthaltenen organischen Verbindungen beschreibt, sowie die Strukturalterung, welche die Verhärtung von Bitumen erklärt. Aus der Polymerchemie ist die Depolymerisation bekannt, die unter anderem durch Wärme ausgelöst wird und zum Bruch von langkettigen Kohlenwasserstoffverbindungen führt.

Ziel der Arbeit ist es, Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung von Bitumen mit der Dauerhaftigkeit von Asphaltmischungen in Verbindung zu bringen. Hierfür wurden Probekörper künstlich-gealtert, die Ermüdung des Asphaltes durch den indirekten Zugversuch überprüft und das Bitumen aus den Probekörpern für weitere chemisch-analytische Methoden extrahiert.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde in der Versuchsanstalt des Fachgebiets Straßenwesen mit unterschiedlichen Asphaltmischungen der SATS-Test durchgeführt. Hierbei unterschieden sich die Mischungen im verwendeten Mineralstoff (Basalt und Kreimbach), im Hohlraumgehalt der Probekörper (6 und 10 %) sowie durch die verwendete Bitumensorte (10/20, 25/55-55 A und 50/70).

Nach einer viertägigen Alterung im Druckkessel sind, durch den Vergleich mit den vor der Beanspruchung gemessenen Steifigkeitswerten, die verbliebenen Steifigkeiten der Probekörper ermittelt worden. Die Ergebnisse zweier Durchläufe lieferten schlussendlich den Wert der verbleibenden Steifigkeit der jeweiligen untersuchten Asphaltmischung. Ein weiterer Teil der durchgeführten SATS-Tests hatte die Ermittlung der Sättigung nach der Beanspruchung der Probekörper zum Ziel.

Für weitere Untersuchungen wurde Bitumen von ausgewählten Asphaltmischungen aus den während der SATS-Tests beanspruchten sowie aus nicht beanspruchten Probekörpern extrahiert. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nicht von allen zwölf untersuchten Asphaltmischungen eine Analyse der chemischen Zusammensetzung durchgeführt werden. Die Wahl fiel in Absprache mit

der Betreuerin dieser Arbeit auf vier Asphaltmischungen mit den Mineralstoffsorten Basalt und Kreimbach sowie der Bitumensorte 10/20 und der polymermodifizierten Sorte 25/55-55 A.

Extrahierte Proben dieser vier Sorten wurden dank der Unterstützung des Deutschen Kunststoff Institutes in Darmstadt mithilfe der Gelpermeationschromatographie untersucht. Durch Auswertung der erhaltenen Ergebnisse konnten Aussagen über die Fraktionierung der untersuchten Bitumenproben im Anlieferungszustand sowie vor und nach der Beanspruchung im SATS-Test getroffen werden.

Bei Betrachtung aller ermittelten und ausgewerteten Ergebnisse sind einige, teils überraschende Aussagen zu treffen.

Erwartungsgemäß sind die Asphaltmischungen mit Basalt, in Bezug auf das angepasste Steifigkeitsmodul vor der Beanspruchung, und bis auf die aufgeführte Ausnahme, stärker als die entsprechenden Mischungen mit Kreimbach. Für den Zustand nach der Beanspruchung zeigte sich jedoch überraschenderweise ein anderes Bild. Die im Vergleich mit den Mischungen mit Basalt höheren Steifigkeiten nach der Beanspruchung der Mischungen mit Kreimbach drücken sich auch in deutlich höheren Werten der verbleibenden Steifigkeiten aus.

In die gleiche Richtung gehen die Erkenntnisse der Untersuchung des Erweichungspunktes Ring und Kugel. Alle Mischungen mit Kreimbach erwiesen sich im Vergleich mit der entsprechenden Mischung mit Basalt als härter. Der Anstieg des Erweichungspunktes kann mit einer Zunahme der Asphaltene im Vergleich mit dem Anlieferungszustand erklärt werden. Aufgrund der zunehmenden Strukturbildung der agglomerierten Micellen nimmt die Härte des Bitumens zu.

Diese Zunahme ist deutlich in den aus den Ergebnissen der GPC-Untersuchungen erstellten „Fingerabdrücken“ der untersuchten Bitumenproben zu sehen. Die Zunahme an Asphaltene ist bei Mischungen mit der Bitumensorte 25/55-55 A, relativ gesehen, höher als bei Mischungen mit Basalt. Das Dispersionsmittel nimmt ab: teilweise aufgrund der Verdunstungsalterung, aber auch aufgrund von Umwandlungsvorgängen in höhermolekulare Anteile des Bitumens. Der Anteil der Erdölharze bleibt über alle Alterungsstufen weitgehend konstant. Der Anstieg der detektierten Asphaltene kann mit den bei der Strukturalterung von Bitumen ablaufenden Vorgängen begründet werden. Gleichzeitig wäre jedoch ein Rückgang der Erdölharze zu erwarten gewesen.

Die Vermutung, dass die höhere Härte der Mischungen mit Kreimbach auf einen höheren Anteil an Asphaltene zurückgeführt werden kann, bestätigte sich jedoch nicht. Die Ergebnisse der GPC-Untersuchungen zeigen keine höheren Anteile an Asphaltene für die untersuchten Mischungen mit Kreimbach. Tatsächlich zeigen die Untersuchungsergebnisse sehr kleine bzw. gar keine Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung beim Vergleich der Mischungen mit unterschiedlicher Mineralstoffsorte.

Die „Fingerabdrücke“ der untersuchten Bitumenproben sind für beide Gesteinssorten vergleichbar. Der Einfluss der Wahl der Gesteinssorte auf die Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Bitumens während der Alterung stellte sich somit bei den hier verwendeten Gesteinssorten als klein bzw. nicht vorhanden heraus. Die besseren Werte der verbleibenden Steifigkeit für Mischungen mit Kreimbach müssen somit anders zu begründen sein.

Ein Ansatz zur Erklärung der besseren Werte ist der mechanische Ansatz zur Haftung zwischen Bitumen und Mineralstoff. Aufgrund der raueren Oberfläche und der somit größeren Kontaktfläche von Kreimbach stellt sich ein besserer Verbund zwischen Bitumen und Mineralstoff ein. Die Poren der Mineralstoffoberfläche erhalten nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip zusätzlich den Verbund mit dem Bitumen aufrecht.

Mit einer Ausnahme sind für Mischungen mit 10 % Hohlraumgehalt bessere Werte des Steifigkeitsmoduls nach der Beanspruchung zu beobachten. Gleiches gilt für den Quotienten der vor und nach der Beanspruchung ermittelten Steifigkeitsmoduln, die verbleibende Steifigkeit. Aufgrund von Aussagen in der ausgewerteten Literatur war dies nicht zu erwarten. Einhellige

Empfehlung für widerstandsfähige Asphaltmischungen sind möglichst geringe Hohlraumgehalte im Einbauzustand.

Zusätzliche SATS-Testläufe mit anderen Hohlraumgehalten der Probekörper könnten näheren Aufschluss über die Abhängigkeiten von Hohlraumgehalt und verbleibender Steifigkeit bringen. Hierfür könnten unter anderem Mischungen für Offenporigen Asphalt mit bis zu 25 % Hohlraumgehalt zum Einsatz kommen. Eventuell ist mit Werten um 10 % ein Maximum erreicht und nicht bei einem möglichst geringem Hohlraumgehalt, wie es den Empfehlungen zu entnehmen ist.

Die Asphaltmischungen mit höherem Hohlraumgehalt weisen bei den im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Erweichungspunkten Ring und Kugel leicht höhere Werte als die entsprechenden Mischungen mit nur 6 % Hohlraumgehalt auf. Auffällig sind bei der Betrachtung des Erweichungspunktes Ring und Kugel jedoch die Mischungen mit der Bitumensorte 25/55-55 A. Bei ihnen ist kein Unterschied zwischen den Asphaltmischungen mit 6 bzw. 10 % Hohlraumgehalt zu beobachten.

Diese größere Zunahme der Härte des Bitumens bei den Mischungen mit 10 % Hohlraumgehalt kann unter anderem die besseren Werte des Steifigkeitsmoduls nach der Beanspruchung erklären. Fast alle untersuchten Proben weisen jedoch einen um mehr als 8°C erhöhten Erweichungspunkt Ring und Kugel auf. Das heißt, dass schon eine geringe weitere Zunahme in der Härte zur Versprödung des Bitumens führen wird. Eine Variation der Beanspruchungsdauer im SATS-Test könnte Vergleichswerte liefern und hierüber Aufschluss bringen.

Weitere GPC-Untersuchungen sind nötig, um Unterschiede der chemischen Zusammensetzung des Bitumens zwischen den Mischungen mit 6 bzw. 10 % Hohlraumgehalt zu bestimmen, auch wenn die durchgeführten GPC-Untersuchungen zeigten, dass die Gesteinsorte keinen Einfluss auf Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung hatte. Besonders interessant sind hierbei die Vergleiche der relativen Zunahme und absoluten Werte des Anteils an Asphaltene. Hohe Werte würden sowohl die höheren Erweichungspunkte Ring und Kugel sowie die besseren Werte der verbleibenden Steifigkeit für Mischungen mit 10 % Hohlraumgehalt erklären.

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen der durchgeführten GPC-Untersuchungen auffällig geworden ist, betrifft die Modifikation von Bitumen mit Polymeren. Die untersuchten Proben der Bitumensorte 25/55-55 A wiesen einen gewissen Anteil an langkettigen Verbindungen auf, die den zur Modifikation eingesetzten Polymeren zugeordnet werden konnten. Jedoch betrug ihr Anteil an der Gesamtmasse weniger als 1 M.-%. Empfohlen werden jedoch Anteile zwischen 3 und 7 M.-%. Die GPC könnte somit in Zukunft zur Qualitätskontrolle von polymermodifizierten Bitumen eingesetzt werden.

Allgemein kann jedoch durch GPC-Untersuchungen nur indirekt auf chemische Prozesse geschlossen werden, die bei der Bitumenalterung ablaufen. Im Rahmen der GPC-Untersuchungen erfolgt eine Trennung des Stoffgemisches Bitumen aufgrund der Größe der beinhalteten Moleküle. Andere Analysemethoden liefern zusätzliche Informationen. So können mithilfe der NMR Aussagen über die Massenanteile von unterschiedlich gebundenen Kohlenstoffatomen getroffen werden. Die Beobachtung von Veränderungen in diesen Anteilen gibt die Möglichkeit zu differenzierteren Aussagen über die abgelaufenen chemischen Reaktionen.

Den in der Literatur vorgestellten Theorien zur oxidativen Alterung von Bitumen nach, ist für den Start der oxidativen Alterung Energie aus der UV-Strahlung des Sonnenlichts nötig. Da jedoch während des SATS-Testlaufs Energie in Form von Wärme und Druck zugeführt wird, können, der Meinung des Bearbeiters nach, oxidative Vorgänge beim SATS-Test trotz des Ausschlusses von Sonnenlicht nicht ausgeschlossen werden. BENEDIX [2008] zeigt, dass Wärmeenergie bereits für den Start von Depolymerisationsvorgängen, durch den Bruch von C-Cl-Bindungen, ausreicht. Die Bindungsenergien von C-C- und C-Cl-Bindungen unterscheiden sich nicht signifikant. Zur Klärung dieser könnten NMR-Untersuchungen beitragen.