

Ermittlung von dimensionierungsrelevanten Eingangsgrößen für Asphaltbefestigungen im Rahmen einer rechnerischen Dimensionierung - Ermüdungsversuche mit dem Spaltzug-Schwellversuch

FA 4.202

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. F. Wellner)

Bearbeiter: Lipke, S. / Werkmeister, S. / Kayser S. / Patzak, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Juni 2010

1. Aufgabenstellung

Die Dimensionierungspraxis in Deutschland beschränkt sich zurzeit auf die Anwendung der Standardbefestigungen der RStO, d. h. es werden auf der Grundlage empirisch gewonnener Erkenntnisse die Schichtdicken der Straßenbefestigung festgelegt. Eine rechnerische Abschätzung der Beanspruchung in der Straßenbefestigung und daraus abgeleitet ein rechnerischer Nachweis des Befestigungsaufbaus erfolgte in der Vergangenheit nicht. Aus diesem Grund wurde an der Professur für Straßenbau der TU Dresden ein rechnerisches Verfahren zur Dimensionierung von flexiblen Straßenbefestigungen entwickelt. Voraussetzung dafür ist jedoch die wirklichkeitsnahe Beschreibung des Spannungs-Verformungsverhaltens der Befestigung. Dazu gehört u. a. die zutreffende materialtechnische Beschreibung der einzelnen Schichten der Straßenbefestigung. Dabei kann der Beanspruchungszustand der Befestigung anhand eines Berechnungsverfahrens unter Berücksichtigung des Stoffverhaltens der Straßenbaustoffe sowie der Eigenschaften des Untergrunds/-baus ermittelt werden. Anschließend kann die Nutzungsdauer der Befestigung unter Heranziehung der verschiedenen Schadenskriterien ermittelt werden. Dabei sind u. a. das Asphaltpaket auf das Risiko der

Ermüdungsrissobildung sowie der Entstehung von Spurrinnen zu untersuchen.

Zur materialtechnischen Beschreibung der Asphaltgemische sind im Rahmen der Dimensionierung bezogen auf die Ermüdung zum einen der E-Modul sowie zum anderen das Ermüdungsverhalten der Asphalttragschicht (ATS) heranzuziehen. Systematische Untersuchungen für die heute im deutschen Straßenbau angewendeten Asphalte hinsichtlich des Einflusses der Gemischparameter auf das Ermüdungsverhalten der ATS wurden bisher nicht durchgeführt.

Ziel des Forschungsprojekts war es, die Möglichkeit der Berücksichtigung der Asphalteigenschaften bei der rechnerischen Dimensionierung der Befestigung für praktische Anwendungen wesentlich zu verbessern. Weiterhin war es geplant, eine Datenbank einzurichten, in der die Versuchsergebnisse des Forschungsprojekts erfasst werden können.

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollten die Eigenschaften der Gemischkomponenten (Gestein, Bitumen) sowie der Gemischrezepturen (u. a. Hohlraumgehalt) der zu untersuchenden Asphalte systematisch variiert werden. Anschließend waren an diesen Asphalten Ermüdungsversuche sowie Versuche zur Bestimmung des E-Moduls (Spaltzug-Schwellversuche und Vierpunkt-Biegeprüfungen) durchzuführen. Anhand der Ergebnisse dieser Untersuchungen sollte der Einfluss der Gemischkomponenten (Gestein, Bitumen) und der Gemischrezeptur (Hohlraumgehalt) auf das Ermüdungsverhalten sowie auf den E-Modul ermittelt werden.

Folgende Forschungsinstitutionen waren bei der Bearbeitung des vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung geförderten Forschungsvorhabens beteiligt:

Forschungsstelle	Bearbeiter	Aufgaben
TU Dresden, Lehrstuhl für Straßenbau	Prof. Dr.-Ing. Frohmüt Wellner Dipl.-Ing. Sebastian Lipke	Projektleitung Spaltzugversuche Vierpunkt-Biegeprüfungen
TU Braunschweig, Institut für Straßenwesen	Prof. Dr.-Ing. Michael Wistuba	Abkühlversuche

2. Untersuchungsmethodik

In diesem Forschungsprojekt wurden unter Verwendung verschiedener Gesteine und unterschiedlicher Bitumen für ein ATS-Gemisch die dimensionierungsrelevanten Asphalteigenschaften bestimmt. Vorgesehen war eine Kombination aus Spaltzug-Schwellversuchen und Vierpunkt-Biegeprüfungen sowie Versuchen zur Bestimmung der kryogenen Zugspannungen.

Insgesamt wurden in diesem Forschungsprojekt 10 unterschiedliche ATS-Gemische untersucht. Dabei fanden drei verschiedene Gesteine und acht Bitumensorten (Normalbitumen und PmB) Anwendung.

Zur versuchstechnischen Ermittlung der E-Moduln und der Ermüdungsfunktionen mit dem Spaltzug-Schwellversuch wurden die Probekörper bei einer Belastungsfrequenz von 10 Hz geprüft. Die Ermittlung der kryogenen Spannungen erfolgte anhand der Ergebnisse von Abkühlversuchen. Die Vierpunkt-Biegeprüfungen wurden kraft geregelt durchgeführt. Zur Be-

stimmung der Ermüdungsfunktion betrug die Belastungsfrequenz 30 Hz.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Ergebnisse der Spaltzugversuche – Bestimmung des E-Moduls

In Zusammenfassung der Ergebnisse zur Bestimmung der E-Moduln mit dem Spaltzug-Schwellversuch kann zunächst festgestellt werden, dass bei allen vier untersuchten Temperaturen im Mittel die E-Moduln für ATS-Gemische, welche ein PmB enthielten, geringfügig niedriger sind als bei den untersuchten ATS-Gemischen mit Normalbitumen.

Werden die ermittelten E-Moduln von ATS-Gemischen mit unterschiedlichem Gestein und demselben Bitumen (Normalbitumen 50/70) verglichen, so sind Unterschiede von bis zu 20 % in der Höhe der E-Moduln zu beobachten. Ein Zusammenhang zwischen der Affinität zwischen Bindemittel und Gestein sowie dem Ermüdungsverhalten der ATS-Gemische konnte nicht festgestellt werden.

Die Ergebnisse der Spaltzug-Schwellversuche zeigen weiterhin, dass für die untersuchten ATS-Gemische insbesondere bei einer Prüftemperatur von 0 °C eine Zunahme der E-Moduln mit steigendem Bindemittelgehalt auftritt. Mit zunehmendem Hohlraumgehalt des untersuchten ATS-Gemischs war eine Abnahme der ermittelten E-Moduln zu beobachten.

3.2 Ergebnisse der Spaltzugversuche – Bestimmung der Ermüdungsfunktion

Werden die Ermüdungsfunktionen aller untersuchten ATS-Gemische verglichen, so ist deutlich zu erkennen, dass die ATS-Gemische mit PmB eine höhere Ermüdungsresistenz im Vergleich zu den ATS-Gemischen mit Normalbitumen aufweisen. Weiterhin zeigte sich ein geringer Einfluss des verwendeten Gesteins, demgegenüber hat der Bindemittelgehalt eine wesentlich deutlichere Auswirkung auf die Ermüdungsresistenz. Weiterhin belegen die Ergebnisse der Ermüdungsversuche, dass die Provenienz der Bindemittel sehr deutlichen Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit der Asphaltgemische haben kann. Ferner wurde ersichtlich, dass bei Zunahme des Verdichtungsgrads die Ermüdungsresistenz zunimmt, was sich in einer Zunahme des Anstiegs der Ermüdungsfunktionen ausdrückt.

3.3 Ergebnisse der Vierpunkt-Biegeprüfungen

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden weiterhin Vierpunkt-Biegeprüfungen durchgeführt. Zunächst erfolgte eine Gegenüberstellung der E-Moduln für das gleiche ATS-Gemisch, ermittelt mit dem Spaltzug-Schwellversuch und der Vierpunkt-Biegeprüfung. Ein direkter Vergleich der Absolutwerte ist dahingehend zu bewerten, dass die Vierpunkt-Biegeprüfungen auftragsgemäß mit 30 Hz Belastungsfrequenz gegenüber 10 Hz bei den Spaltzug-Schwellversuchen durchgeführt wurden. Dabei ist zu erkennen, dass die E-Moduln ermittelt mit der Vierpunkt-Biegeprüfung größer sind als jene, welche im Spaltzug-Schwellversuch ermittelt werden konnten. Dies gilt insbesondere für den Tieftemperaturbereich. Der Versuch, diese Differenz mithilfe des Temperatur-Frequenz-Äquivalenzprinzips auszuräumen, war aufgrund des begrenzten Versuchsumfanges nicht möglich. Im Rahmen zukünftiger Forschungsvorhaben ist zu klären, was als Ursache für die Unterschiede in der Höhe der E-Moduln angesehen werden kann.

Der Vergleich der Ermüdungsfunktionen der ATS-Gemische, ermittelt mit dem Spaltzug-Schwellversuch und der Vierpunkt-Biegeprüfung zeigt eine Parallelverschiebung und eine identische Reihung der Ermüdungsfunktionen der sich entsprechenden ATS-Gemische. Es lässt sich ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen den Ermüdungslastwechselzahlen derselben ATS-Gemische, bestimmt mit der Vierpunkt-Biegeprüfung bzw. dem Spaltzug-Schwellversuch (Verhältnis ca. 5:1) für die untersuchten ATS-Gemische feststellen.

3.4 Berechnungen zur Abschätzung des Einflusses der Materialeigenschaften auf das Verhalten von Befestigungen

Abschließend sind zur Abschätzung der Auswirkungen der ermittelten Unterschiede auf das Verhalten der Befestigungen Berechnungen durchgeführt worden. Diese Berechnungen erfolgten unter Verwendung des Dimensionierungsprogramms PaDesTo. Bei den untersuchten ATS-Gemischen wird sowohl der große Einfluss der Provenienz der Normalbitumen bei gleichem Gestein als auch der erhebliche Einfluss von Normalbitumen bzw. PmB bei Verwendung des gleichen Gesteins auf den Ermüdungsstatus und somit auf die Lebensdauer der Befestigung deutlich. Die Auswirkung der Verwendung unterschiedlichen Gesteins auf das Ermüdungsverhalten der Befestigungen bei den untersuchten ATS-Gemischen ist dagegen relativ gering. Weiterhin hat sich gezeigt, dass lediglich bei Verwendung einer Variante der untersuchten ATS-Gemische

der Nachweis gegen Ermüdung als erfüllt angesehen werden kann. Das bedeutet, dass bei Verwendung der anderen ATS-Gemische höhere Schichtdicken erforderlich sind, um im geplanten Nutzungszeitraum strukturelle Schädigungen in der Befestigung auszuschließen.

4. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann im Ergebnis des Forschungsprojektes festgestellt werden, dass für die untersuchten Asphaltgemische die Eigenschaften des Bindemittels Bitumen wesentlichen Einfluss auf das Ermüdungsverhalten der Asphalte hatten. Weiterhin wird offensichtlich, dass die derzeit im deutschen Regelwerk geforderten Bindemittelspezifikationen und die dazugehörigen Versuche als nicht geeignet erscheinen, die hier verwendeten Bindemittel so zu charakterisieren, dass das mechanische Verhalten des Asphalts gezielt beeinflusst werden kann. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die Verwendung von nach der Spezifikation "gleichwertigen" Bindemittel (z. B. 50/70) ein sehr unterschiedliches Ermüdungsverhalten der ATS-Gemische bei sonst gleichen Parametern, wie Korngrößenverteilung oder Art des Gesteinskorngemisches auftreten kann.

Aus diesem Grund war es nur im Rahmen einer rechnerischen Dimensionierung in Verbindung mit geeigneten performanceorientierten Laborversuchen (z. B. Spaltzug-Schwellversuche) möglich, das mechanische Verhalten der Asphaltgemische zu erfassen und die Befestigungen entsprechend zu dimensionieren. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu erwähnen, dass aufgrund der vorliegenden Berechnungsergebnisse mit dem Programm PaDesTo die derzeit in den RDO-Asphalt enthaltenen Sicherheitsbeiwerte für die Ermüdungsfunktionen als zu konservativ erscheinen. Aus diesem Grund wird empfohlen, im Rahmen von zukünftigen Forschungsarbeiten diese Sicherheitsbeiwerte durch weitere Kalibrierrechnungen zu überprüfen und neu festzulegen.

Weiterhin haben die Untersuchungen gezeigt, dass durch die Verwendung von PmB das Ermüdungsverhalten der Asphalte verbessert werden kann. Mit den Ergebnissen konnte nachgewiesen werden, dass sich für hoch beanspruchte Asphaltbefestigungen durch den Einsatz von PmB auch in ATS-Gemischen positive Effekte hinsichtlich der Lebensdauer der Befestigung ergeben.

Die Ursache für die unterschiedlichen Ermüdungskurven ermittelt mit dem Spaltzug-Schwellversuch und der Vierpunkt-Biegeprüfung konnten im Rahmen des Forschungsprojekts nicht geklärt werden. Vermutlich sind die Unterschiede auf die in den Versuchen unterschiedlichen Frequenzen (10 Hz und 30 Hz) zurückzuführen. Auch hier besteht weiterer Forschungsbedarf.