

Grundlagen für die Beurteilung der dimensionierungsrelevanten Eigenschaften und der Wirtschaftlichkeit von Oberbaubefestigungen aus Asphalt

FA 7.236

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

Bearbeiter: Wellner, F. / Zander, U. / Dragon, I. / Birbaum, J. / Buch, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: November 2014

1 Aufgabenstellung

Die Dauerhaftigkeit und somit die Wirtschaftlichkeit einer Straßenbefestigung ist von einer Reihe von Einflussfaktoren abhängig, von denen nur ein Teil innerhalb des Planungsprozesses direkt berücksichtigt werden kann. Randbedingungen, wie die über die Nutzungsdauer hinweg nicht hinreichend genau prognostizierbaren Wetterbedingungen oder auch die Verkehrsbelastungen, können nur statistisch abgeschätzt und durch geeignete Modelle im Dimensionierungsprozess berücksichtigt werden.

Diese Veränderlichkeit der Materialeigenschaften kann durchaus in eine natürliche oder auch endogene Variabilität sowie eine künstliche oder auch exogene Variabilität unterteilt werden. Dabei beschreibt die endogene Variabilität jene Streuungen der Materialeigenschaften, die auf die Inhomogenität des Baustoffs zurückzuführen und somit völlig unabhängig von äußeren Faktoren sind. Dagegen resultiert die exogene Variabilität aus allen (exogenen) Faktoren, die von außen und unabhängig von der natürlichen Variabilität Einfluss auf die Schwankungen der Versuchsergebnisse/Materialeigenschaften nehmen, wie zum Beispiel die Schwankungen bei der Herstellung von Asphaltmischgut sowie der gesamte Bereich des Asphaltbaus angefangen – vom Transport des Mischguts zur Baustelle bis hin zur Verdichtung der einzelnen Schichten.

Ziel des Forschungsprojekts ist es, den Einfluss sowohl der nach DIN EN 13108-21 nicht zu beanstandenden Toleranzen bei der Mischgutzusammensetzung als auch des Einbauprozesses auf die Eingangsparameter der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt und somit auf die Ergebnisse der Dimensionierung zu bestimmen.

Im Zuge einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung werden aufbauend auf den Ergebnissen dieser Berechnungen die Kosten für das Material und den Einbau – auf Grundlage der Abschätzungen von Zeiträumen für Erhaltungsmaßnahmen sowie des strukturellen Nutzungsausfallzeitpunkts – über den Nutzungszeitraum hinweg aufsummiert. Ziel ist die Abschätzung des wirtschaftlichen Nutzens der aus der rechnerischen Dimensionierung hervorgehenden Bauweisen, besonders im Bezug auf die Anwendbarkeit von innovativen Baustoffen und Materialien.

Als Grundlage für die Abschätzung der aus der Entstehung von Spurrinnen resultierenden Erhaltungsintervalle für Asphaltdeck- und Asphaltbinderschichten soll die in den RDO Asphalt beschriebene Verfahrensweise für den Nachweis der Spurrinnen-

gefährdung modifiziert werden. Darauf aufbauend können dann die erforderlichen Erhaltungsintervalle vergleichend beurteilt sowie eine zugehörige monetäre Bewertung durchgeführt werden.

2 Untersuchungsmethodik

Für jede Asphaltmischgutsorte, welche an einem Mischwerk hergestellt wird, ist nach den TL Asphalt eine Erstprüfung vor der ersten Verwendung durchzuführen und eine Leistungserklärung anzufertigen. Ein weiterer wesentlicher Teil der Leistungserklärung des Asphalt Herstellers ist die Durchführung der Werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) nach den DIN EN 13108-21, welche durch ein Zertifikat einer Überwachungs- und Zertifizierungsstelle zu bestätigen ist. Im Rahmen der WPK werden Proben des fertigen Asphaltmischguts entsprechend einer vorgegebenen Häufigkeit entnommen und hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung und ihres Bindemittelgehalts sowie Hohlraumgehalts überprüft. Die Ergebnisse der kompositionellen Merkmalsgrößen sind mit den auf die Erstprüfung anzuwendenden Toleranzen nach Tabelle A.1 der DIN EN 13108-21 zu vergleichen und als konform oder nichtkonform einzuordnen. Es wird angenommen, dass die Abweichung (Toleranz) einer Merkmalsgröße vom zugehörigen Sollwert durch die Asphaltherstellung, durch die Probenahme und durch die Präzision des Prüfverfahrens verursacht wird [Reinhardt 2002].

Für die Untersuchungen zur Erfassung, Analyse und Beschreibung der Auswirkungen exogener Faktoren auf die dimensionierungsrelevanten Asphalteigenschaften wurden jeweils ein Deck-, Binder- und Tragschichtmaterial einbezogen, welche im Folgenden sind:

- SMA 8 S mit PmB 25/55-55A,
- AC 16 B S mit PmB 25/55-55A,
- AC 32 T S mit 50/70.

Es sollten je festgelegter Asphaltmischgutsorte neben der Erstprüfungsvariante vier weitere Varianten untersucht werden. Um eine möglichst große Spannweite der dimensionierungsrelevanten Eigenschaften beziehungsweise der Dimensionierungsergebnisse erreichen zu können, sollten die maximal zulässigen Toleranzen nach DIN EN 13108-21, Anhang A, ausgereizt werden. Die verschiedenen Asphaltmischgutvarianten wurden im Asphaltmischwerk hergestellt. Die Probenahme der für die Durchführung der Untersuchungen notwendigen Mengen an Asphaltmischgut erfolgten jeweils vom Haufwerk. Folgende fünf Varianten wurden je Asphaltart untersucht:

1. Erstprüfung,
2. positive Abweichung der Korngrößenverteilung von der Erstprüfung,
3. positive Abweichung der Korngrößenverteilung sowie des Bindemittelgehalts von der Erstprüfung,
4. negative Abweichung der Korngrößenverteilung von der Erstprüfung,

- negative Abweichung der Korngrößenverteilung sowie des Bindemittelgehalts von der Erstprüfung.

Zwei der vier Varianten je Asphaltart (1 und 4) konnten im Rahmen eines Bauvorhabens auch im eingebauten Zustand beprobt und untersucht werden.

Die Bestimmung der für die rechnerische Dimensionierung von Asphaltbefestigungen notwendigen Funktionen erfolgte nach der AL Sp-Asphalt 09. Die Steifigkeitsmodul-Temperaturfunktion wurde für alle Asphaltmischvarianten und die Ermüdungsfunktion von den Asphalttragschichtvarianten ermittelt.

Für die Beschreibung des plastischen Verformungsverhaltens von Asphaltbefestigungen sollte eine modifizierte Variante des in [Wellner et al. 2007] entwickelten Verfahrens zur Spurrinnenprognose verwendet werden. Die für dieses Modell maßgebenden Materialeigenschaften (Impulskriechfunktion) wurden abweichend zu [Wellner et al. 2007] mithilfe des einaxialen Druck-Schwellversuchs (DSV) an Probekörpern mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Höhe von 200 mm unter fünffacher Variation des Deviators (hier $\sigma_{DEV} = \sigma_1$, da $\sigma_{2/3} = 0$) sowie unter vierfacher Variation der Temperatur ermittelt. Die Untersuchungen für die Modellerstellung erfolgten am Deckschichtmaterial der Variante 1.

Für die Beurteilung des Einflusses der kompositionellen Merkmalsgrößen im Rahmen der zulässigen Toleranzen nach DIN EN 13108-21, Anhang A, auf das plastische Verformungsverhalten sollten jeweils an drei ausgewählten Chargen des Asphaltdeckschichtmaterials (2, 3 und 4) und des Asphaltbinder-schichtmaterials (1, 2 und 4) einaxiale DSV durchgeführt werden.

In diesem Projekt waren weiterhin umfangreiche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen verschiedener Straßenbefestigungen mit unterschiedlichen Schichteigenschaften über den gesamten Lebenszyklus durchzuführen, um die Gesamtauswirkungen auf besonders vor- und nachteilige Kombinationen von Schichten in der Befestigung untersuchen und abschätzen zu können. Der Nutzungsausfallzeitpunkt ist dabei für alle Straßenbefestigungen durch das Eintreten des strukturellen Substanzschadens, also durch eine Ermüdung der Asphalttragschicht aufgrund von Verkehrsbelastungen und der daraus resultierenden Rissbildung, definiert.

Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist ein am Institut für Straßenwesen der Universität Siegen entwickeltes Bewertungsverfahren. Dieses betrachtet jede Schicht des Straßenoberbaus separat und ermittelt in Abhängigkeit von der bautechnisch zu erwartenden Restnutzungsdauer einen monetären Wert auf der Grundlage definierter oder tatsächlicher Neubau- beziehungsweise Erhaltungskosten. Der monetäre Wert einer Asphaltstraßenbefestigung stellt die Summe der monetären Teilwerte aller Schichten des Aufbaus dar. Durch Verrechnung mit den über den Lebenszyklus anfallenden Kosten für die Erhaltung kann dann unter Berücksichtigung eines Askontierungsprozentsatzes von 3 % die Gesamtwirtschaftlichkeit verschiedener Betrachtungsfälle untersucht und gegeneinander gewertet werden.

Der Bestimmung von möglichst repräsentativen Eingangsparametern kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Kostensätze für den Neubau und die Erhaltung lassen sich unter Berücksichtigung

der Anteile für den Einbau, das Asphaltmischgut, die Baustelleneinrichtung, Verkehrssicherung sowie den Transport und gegebenenfalls Ausbau mit dem Programm "€-Cost 2010" schichtenspezifisch abschätzen. Nutzungsdauern der Asphalttragschichtvarianten liegen als Ergebnis der rechnerischen Dimensionierung vor. Für die Asphaltbinder- und Asphaltdeckschicht mussten aufgrund fehlender Erkenntnisse geeignete Annahmen getroffen werden, wobei für letztere anhand der Ergebnisse der Druck-Schwellversuche unterschiedliche Verformungseigenschaften qualitativ berücksichtigt werden können.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Dimensionierungsrelevante Materialeigenschaften, Nutzungsdauer und plastisches Verformungsverhalten

Hinsichtlich der dimensionierungsrelevanten Materialparameter kann anhand der Untersuchungsergebnisse Folgendes zusammengefasst werden: Eine negative Ausreißung der maximal zulässigen Toleranzen bezüglich der Korngrößenverteilung und des Bindemittels hat zum größten Teil eine Abnahme der Steifigkeit zur Folge. Bei einer positiven Ausreißung der maximal zulässigen Toleranzen hinsichtlich der Korngrößenverteilung und des Bindemittels scheint die Auswirkung auf die Materialeigenschaft Steifigkeit abhängig von der Asphaltart und damit von der Zusammensetzung des Gesteinskörnungsgemisches der Erstprüfung zu sein. Möglicherweise gibt es ein optimales Verhältnis Bindemittelanteil zu dem Anteil der feinen Gesteinskörnungen. In Bezug auf die Ermüdungsfunktion ist die Auswirkung der Änderung der Asphaltzusammensetzung abhängig von der Größenordnung der Dehnungen.

Der Einfluss auf die prognostizierte Nutzungsdauer einer Asphaltbefestigung hängt im Wesentlichen von den Materialparametern der Asphalttragschicht ab. Hier konnte anhand der Untersuchungsergebnisse eine Abnahme der Nutzungsdauer infolge der negativen Ausreißung der maximal zulässigen Toleranzen der Korngrößenverteilung und des Bindemittels beobachtet werden. Bei der positiven Ausreißung der maximal zulässigen Toleranzen der Zusammensetzung von der Erstprüfung ist die Größe der Verkehrsbelastung von Bedeutung, ob die geplante Nutzungsdauer von 30 Jahren verkürzt wird.

Die Ergebnisse des Vergleichs der Nutzungsdauern von Asphaltbefestigungen, deren Materialparameter an im Labor hergestellten und feldverdichteten Walzasphaltprobekörpern ermittelt wurden (Variante 1 und Variante 4), zeigen keine eindeutige Tendenz. Während für die Befestigungsvariante, deren Materialparameter von im Labor hergestellten Probekörpern der Variante 4 stammen, geringere Nutzungsdauern als für das tatsächlich eingebaute Asphaltmaterial bei Annahme gleicher Sicherheitsbeiwerte prognostiziert wurde, ergab sich für die Befestigungsvariante, deren Materialparameter anhand von Labor-Probekörpern der Variante 1 ermittelt wurden, hingegen eine längere vorhergesagte Nutzungsdauer im Vergleich zu der zugehörigen Variante mit den an den Bohrkern-Probekörpern bestimmten Materialparametern.

In dem Forschungsvorhaben "Entwicklung und Adaption von Prognoseverfahren zur Abschätzung der strukturellen Substanz sowie der Spurrinnenbildung als Grundlage von Risikoanaly-

sen" [Geike et al. 2014] wurden Modellansätze gefunden, mittels derer die Regressionsparameter der Impulskriechfunktion eines Asphaltmaterials in Abhängigkeit von den elastischen Anfangsdehnungen bestimmt werden können. Diese konnten im Rahmen des Forschungsprojekts anhand der einaxialen DSV bestätigt werden. Ebenso wurden die von Wellner [Wellner et al. 2007] und Kayser [Kayser et al. 2011] entwickelten Verfahren zur Prognose von Spurrinnen in Asphaltbefestigungen anhand des Materialmodells in [Geike et al. 2014] fortgeführt und konnten im Forschungsprojekt angewendet werden.

Betrachtet man die Materialfunktionen für die Bestimmung der Regressionsparameter der Impulskriechfunktion anhand der elastischen Anfangsdehnungen der untersuchten Asphaltbinderschichtgemische, so waren die Streuungen der Einzelversuche größer als die Unterschiede zwischen diesen Materialfunktionen. Diese geringfügigen Unterschiede sind dann dafür verantwortlich, dass bei der Prognose für die Spurrinnenentwicklung ebenfalls nur geringe Unterschiede auftreten.

Bei den Materialfunktionen der untersuchten Asphaltdeckschichtmaterialien konnten nur bei den maximal positiven zulässigen Abweichungen der Asphaltzusammensetzung gegenüber der Erstprüfung Unterschiede gefunden werden. Da aber die Spurrinnenentwicklung bei dem angewendeten Verfahren auch von der Steifigkeit der Asphaltgemische abhängig ist, können sich bezüglich der Spurrinnenentwicklung einer Asphaltbefestigung trotzdem Unterschiede ergeben. Die Untersuchungs- und Berechnungsergebnisse zeigen, dass alle im Forschungsvorhaben untersuchten Deckschichtmaterialien, welche hinsichtlich ihrer Zusammensetzung von der Erstprüfung abweichen, einen höheren Widerstand gegen bleibende Verformungen aufweisen als das Asphaltdeckschichtmaterial der Erstprüfungsvariante. Dies entspricht nicht unbedingt den Erwartungen, nach denen beispielsweise ein feineres Asphaltgemisch einen geringeren Widerstand gegen plastische Verformungen aufweisen müsste. Eine mögliche Ursache könnte hier ebenfalls das Verhältnis Bindemittelanteil zum Anteil der feinen Gesteinskörnungen sein, welches für das Verformungsverhalten eventuell bei der Erstprüfungsvariante nicht optimiert war.

Die Ergebnisse der Prognose der Spurrinnenentwicklung auf der Grundlage von elastischen Anfangsdehnungen zeigen, dass mit dem angewendeten Verfahren eine Reihung von verschiedenen Asphaltmaterialien und Asphaltbefestigungen hinsichtlich ihres Widerstands gegenüber plastischen Verformungen aufgestellt werden kann. Aufgrund der fehlenden Verfahrensvalidierung und -kalibrierung ist das Verfahren jedoch noch nicht geeignet, eine genaue zeitliche Abfolge der Spurrinnenentwicklung vorherzusagen. Damit aber Prognoseverfahren zur Spurrinnenentwicklung akzeptiert werden und damit in ein effektiv arbeitendes System der Straßenerhaltung eingebunden werden können, ist diese unbedingte Voraussetzung.

3.2 Einfluss auf die Gesamtwirtschaftlichkeit

Es zeigten sich gravierende Auswirkungen der zulässigen Toleranzen nach DIN EN 13108-21, Anhang A, auf die rechnerisch ermittelten Nutzungsdauern der Asphalttragschichtvarianten, die bei einer gleich bleibenden Verkehrsbelastung von 100 Mio. [AÜ 10 t] Schwankungen von 8 bis 48 Jahren aufwiesen. Dementsprechend signifikant waren auch die Einflüsse auf die resul-

tierenden Lebenszykluskosten, wobei zusätzlich die Nutzungsdauer der Asphaltdeckschicht, die Verkehrsmenge, der Einbau und besonders die gewählte Erhaltungsstrategie die Wirtschaftlichkeit in erheblichem Maße beeinflussen können.

Die Variation der Zusammensetzung des Asphalttragschichtmischguts im zulässigen Bereich der Toleranzen kann zu einer Erhöhung der Lebenszykluskosten von bis zu 200 % führen. Insbesondere die Verringerung des Bindemittelgehalts der Asphalttragschicht hatte in den betrachteten Fällen einen negativen Einfluss auf die resultierenden Lebenszykluskosten. Aber auch eine Erhöhung des Bindemittelgehalts der Asphalttragschicht bei gleichzeitiger Verwendung einer feineren Korngrößenverteilung hatte in den betrachteten Fällen einen Anstieg der Lebenszykluskosten zur Folge.

Die Qualität der übrigen Schichten einer Straßenbefestigung wirkt sich in geringerem Maß, jedoch noch immer in einer nicht zu vernachlässigenden Größenordnung auf die Wirtschaftlichkeit aus. So konnte ermittelt werden, dass zur Verlängerung der Nutzungsdauer einer Asphaltdeckschicht um ein Jahr höhere Kosten von etwa 6,8 % verträglich sind. Werden andersherum betrachtet durch 10 % höhere Kosten für die Deckschicht keine größeren Nutzungsdauern erreicht, steigen die Lebenszykluskosten der Befestigung um rund 2,5 %.

Die Erhaltungsmaßnahmen an Schichten, deren Schäden unter Verkehr selten oder erst sehr spät erkennbar werden, müssen anhand von voraussichtlich noch zur Verfügung stehenden Restnutzungsdauern eingeplant werden. Im Abgleich mit den Restnutzungsdauern aller Schichten führt dies wiederholt zu einem wirtschaftlichen Szenario, bei dem einzelne Schichten vor ihrem Nutzungsausfall erneuert werden. Eine konkrete Anzahl von Jahren, um die eine solche Maßnahme vorgezogen werden sollte, konnte im Rahmen des Forschungsprojekts aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahl für diese Fragestellung nicht ermittelt werden. Die durchgeführten Analysen lassen aber einen verträglichen Zeitbereich von 3 bis 5 Jahren als voraussichtlich noch wirtschaftlich abschätzen.

In diesem Zusammenhang zeigte sich darüber hinaus deutlich, dass eine frühzeitige und auf die Nutzungsdauer der Schichten der Befestigung abgestimmte Erhaltung erheblich zur Reduzierung der Lebenszykluskosten beitragen kann. Gegenüber einer rein technischen Vorgehensweise, die allein auf sichtbare Schäden reagiert, bot bei den betrachteten Fällen eine wirtschaftlich optimierte Erhaltungsstrategie unter Ansatz von ermittelten oder abgeschätzten Nutzungsdauern ein Potenzial von rund 12 % bezogen auf die Lebenszykluskosten der Gesamtbefestigung. Hierbei ist der wirtschaftlich negativ zu beurteilende Fall einer vorsorglichen und nicht auf Materialanalysen basierenden Entscheidung zur Herausnahme einer Asphalttragschicht noch nicht subsummiert.

4 Folgerungen für die Praxis

Die nach DIN EN 13108-21 nicht zu beanstandenden Toleranzen bei der Mischgutzusammensetzung als auch des Einbauprozesses auf die Eingangsparameter der rechnerischen Dimensionierung nach den RDO Asphalt und somit auf die Ergebnisse der Dimensionierung können sich erheblich auf die Nutzungsdauer einer Asphaltbefestigung auswirken. Inwieweit

eine Asphaltbefestigung vor der geplanten Nutzungszeit von 30 Jahren versagt, hängt dabei unter anderem von den örtlichen Gegebenheiten ab (Verkehrsstärke und -verteilung, klimatische Einflüsse, Schichtdicken etc.).

In Bezug auf den Vergleich von im Labor hergestellten Probekörpern und Probekörpern aus einer Asphaltbefestigung, welche aus dem gleichen Asphaltmischgut hergestellt wurden, wird empfohlen, im Rahmen von Kontrollprüfungen für die Prognose der Nutzungsdauer Bohrkerne aus der Asphaltbefestigung zu bevorzugen.

Für das Erhaltungsmanagement von Straßenbefestigungen wird angeraten, die Entscheidungen über die Art und den Zeitpunkt der Maßnahmen im Lebenszyklus auf der Grundlage von belastbaren Restnutzungsdauern zu fällen. Hierzu sind entsprechende Untersuchungen insbesondere an der Asphalttragschicht unerlässlich. Darüber hinaus sollten Verfahren entwickelt und eingesetzt werden, die eine gebrauchsorientierte Beurteilung von Asphalttschichten anhand von Nutzungsdauern einzuschätzen vermögen. Auf ihrer Basis ist eine wirtschaftliche Bewertung von Schichten mit optimierten Eigenschaften und veränderten Kosten über den Lebenszyklus möglich.