

## Raumdichtebestimmung an hohlraumreichen Asphalten

FA 7.288

Forschungsstelle: ASPHALTA Prüf- und Forschungslaboratorium GmbH, Berlin

Bearbeiter: Dudenhöfer, B. / Rückert, P.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Mai 2020

### 1 Einleitung und Problemstellung

Asphaltdeckschichten haben nach dem in Deutschland gültigen Regelwerk für den Straßenbau, in Abhängigkeit der gewünschten Gebrauchseigenschaften, unterschiedliche Hohlraumgehaltsanforderungen zu erfüllen. Während konventionelle Deckschichten durch geringe Hohlraumgehalte die Dauerhaftigkeit der Befestigung sicherstellen sollen, indem sie den Wasserzutritt in die Konstruktion verhindern und einer oxidativen Alterung des Bitumens entgegenwirken, ist bei akustisch wirksamen Deckschichten ein Maximum der Schallpegelminderung durch hohe von außen zugängliche Hohlräume erreichbar. Weiterhin wird der Hohlraumgehalt und der Verdichtungsgrad bei Schichten der Asphaltdecke als vertragsrelevantes Abzugskriterium angewandt. Während der Verdichtungsgrad zumeist im Sinne der Dauerhaftigkeit auf mindestens 98 % limitiert wurde, sind die Anforderungen an den Hohlraumgehalt mischgutspezifisch ausgelegt. Die Spannweite des Hohlraumgehalts der national standardisierten Asphaltmischgutarten/-sorten reicht von 0 bis 30 Vol.-%.

Beiden Merkmalen – Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt – liegt die Bestimmung der Raumdichte am Ausbaustück oder Marshallprobekörper entsprechend den nationalen Prüfvorschriften zugrunde. Diese ist, in Abhängigkeit von der Mischgutsorte, nach den entsprechend geregelten Verfahren durchzuführen. Bei Offenporigen Asphalten ist das Ausmessverfahren (Verfahren D) anzuwenden und bei allen anderen Walzasphalten das Tauchwägewerfahren mit Ledertuch (Verfahren B). Nur bei lärmtechnisch optimierten Asphaltdeckschichten soll zur Erfahrungssammlung neben dem Verfahren B auch das Verfahren D angewandt werden.

Aus den Erfahrungen mit den Prüfverfahren ist bekannt, dass mit zunehmendem Hohlraumgehalt die Raumdichte an Prüfkörpern mit den standardisierten Verfahren nicht präzise genug erfasst werden kann. Vor allem, wenn der von außen zugängliche Hohlraumgehalt als Kriterium für die Beurteilung der akustischen Wirksamkeit einer Fahrbahndeckschicht herangezogen wird, muss ein präzises und technisch nachvollziehbares Verfahren zur Verfügung stehen. Durch das Forschungsvorhaben soll, auf Basis der Erkenntnisse aus bisher angewandten Verfahren, ein neues oder zumindest verbessertes Prüfverfahren empfohlen werden. Das Verfahren soll es ermöglichen, die Volumenermittlung zur Raumdichtebestimmung an hohlraum-

reichen Asphaltprobekörpern mit verbesserter Präzision durchzuführen. Das Verfahren soll die Qualitätssicherung verbessern.

### 2 Konzept der Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden an drei Mischgutarten durchgeführt, die bezüglich des Hohlraumgehalts die gesamte Spannweite der Praxis abdecken. Ausgewählt wurden ein konventionelles Asphaltmischgut aus Splittmastixasphalt für den unteren Bereich des Hohlraumgehaltsspektrums, ein Asphaltmischgut für lärmarmen Splittmastixasphalt für den mittleren Bereich des Hohlraumgehaltsspektrums und ein Asphaltmischgut für offenporige Asphaltdeckschichten mit einem Hohlraumgehalt an der Obergrenze des Spektrums. Das Asphaltmischgut für alle Mischgutsorten wurde großtechnisch hergestellt und bei der Ausführung realer Baumaßnahmen entnommen. Weiterhin wurden Ausbauproben zu den Untersuchungen hinzugezogen. Nachfolgend ist das Untersuchungskonzept tabellarisch in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Verfahren B (Raumdichtebestimmung durch Tauchwägung mit einem Ledertuch), Verfahren D (Ausmessverfahren) und das Verfahren nach TP A Teil 82 (Raumdichtebestimmung nach Wasseraufnahme im Vakuum) sind national geregelt und werden in der Praxis angewandt.

Die Verfahren zur Umhüllung der Prüfkörper sind nicht eindeutig geregelt. Das Verfahren mit einer Wachsumhüllung wird auch in Bereichen der bodenphysikalischen Prüfungen zur Raumdichtebestimmung an bindigen Böden angewandt. Die Umhüllung mit einem Vakuumbeutel ist in einer ASTM geregelt. Hierbei wird der Prüfkörper in einen Vakuumbeutel gelegt und die Luft evakuiert, sodass sich der Beutel an den Prüfkörper und deren Textur schmiegt.

Das Laserabtastungsverfahren nutzt neueste Vermessungstechnik und Auswertungsalgorithmen, um das Volumen eines Prüfkörpers durch Scans zu erfassen. Die Raumdichtebestimmung mittels Gammastrahlung ist vergleichbar mit den Radioisotopen-Sonden zur einbaubegleitenden Dichteüberwachung. Dieses Verfahren wurde in einem Prüfstand der BAST durchgeführt.

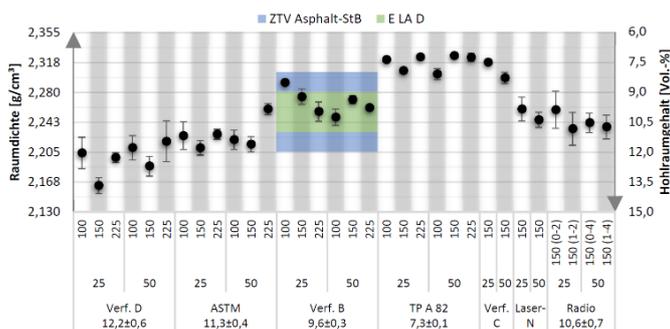
Tabelle 1: Untersuchungskonzept an den Prüfkörpern (° – wurde nicht durchgeführt)

| Mischgutarten  | SMA 8 S / SMA 8 LA / PA 8       |       |     |     |       |     |              |
|--|---------------------------------|-------|-----|-----|-------|-----|--------------|
|  | Prüfkörper im Labor hergestellt |       |     |     |       |     | Ausbauproben |
| Schichtdicke [mm]  | 25                              |       |     | 50  |       |     | 35           |
| Durchmesser [mm]   | 100                             | 150   | 225 | 100 | 150   | 225 | 150          |
| TP Asphalt-Teil 6 – Verfahren D, Ausmessen                 | 1-4                             | 1-20  | 1-4 | 1-4 | 1-20  | 1-4 | 1-20         |
| ASTM D6752 / D6752 M – umhüllte Probekörper (Vakuumbeutel) | 1-4                             | 1-20  | 1-4 | 1-4 | 1-20  | 1-4 | 1-20         |
| TP Asphalt-Teil 6 – Verfahren B, Ledertuch                 | 1-4                             | 1-20  | 1-4 | 1-4 | 1-20  | 1-4 | 1-20         |
| TP Asphalt-Teil 82 – Wasseraufnahme im Vakuum              | 1-4                             | 1-4   | 1-4 | 1-4 | 1-20  | 1-4 | °            |
| DIN EN 12697 – 6 – umhüllte Probekörper (Wachs)            | °                               | 5-8   | °   | °   | 5-8   | °   | °            |
| Volumenbestimmung über Laserabtastungsverfahren            | °                               | 9-12  | °   | °   | 9-12  | °   | 1-4          |
| Raumdictebestimmung mittels Gammastrahlung                 | °                               | 13-16 | °   | °   | 13-16 | °   | 5-8          |

### 3 Untersuchungsergebnisse

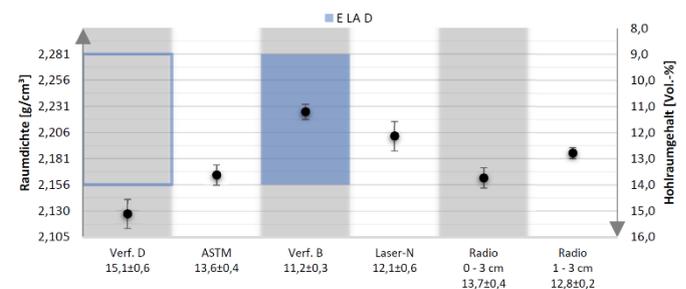
Nachfolgend wird nur auf die Ergebnisse der Prüfkörper aus SMA 8 LA eingegangen, da jene Mischgutsorte/semiporöse Asphaltdeckschicht als Hauptschwerpunkt betrachtet werden sollte.

Dass es zu einer Abweichung zwischen den beiden Verfahren kommen kann, wird in den E LA D zurzeit noch nicht ausgewiesen. Das Verfahren nach ASTM führt im Mittel zu einem Hohlraumgehalt von  $(11,2 \pm 0,4)$  Vol.-% und einer tendenziell besseren Wiederholpräzision als das Verfahren D.



**Bild 1:** Zusammenfassung der Ergebnisse der Raumdicteuntersuchungen an der Mischgutart Lärmarmes Splittmastixasphalt SMA LA – Verfahren C ( $7,9 \pm 0,2$ ) Vol.-%, Laser-N ( $10,1 \pm 0,5$ ) Vol.-% (statistische Unsicherheit als Fehlerindikator)

Das Verfahren C und das Verfahren TP A – 82 führen im Mittel zur höchsten Raumdicte. Die radiometrische Dichtebestimmung und das Laserabtastungsverfahren führen zu einem vergleichbaren Niveau mit höherer Streuung unter Wiederholbedingungen wie das Verfahren B. Das alternative Verfahren D für Lärmarme Splittmastixasphalte führt zur geringsten Raumdicte und einem abweichenden Niveau gegenüber dem Referenzverfahren B.



**Bild 2:** Zusammenfassung der Ergebnisse der Raumdicteuntersuchungen an den Bohrkernen einer Baumaßnahme mit SMA 8 LA

Die Raumdichten der Bohrkern aus der eingebauten Schicht weisen eine vergleichbare Relation auf wie die Laborprüfkörper. Dem Referenzverfahren wurde der erforderliche Hohlraumgehalt von 9 bis 14 Vol.-% in blau hinterlegt. Alle Proben ohne Ausreißer erfüllen die Anforderungen an den Hohlraumgehalt mit dem Verfahren B. Bei Anwendung des in den E LA D zur Erfahrungssammlung geforderten Verfahren D und dem gleichen Niveau des geforderten Hohlraumgehalts wird die Anforderung von allen Proben deutlich überschritten.

#### 4 Einflussfaktoren bei der Raumdichtebestimmung

Um die Eignung der Verfahren für unterschiedliche Bereiche und Anwendungen beurteilen zu können, wurden alle Daten der Untersuchungen (Raumdichte und Streuung) hinsichtlich der Einflüsse aus den geometrischen Kennwerten (Prüfkörperhöhe und -durchmesser), Prüfkörpermasse und charakterisierenden Kennwerten wie dem Hohlraumgehalt, den Textureigenschaften, der effektiven Fläche der Textur und körnungsspezifischen Kennwerten analysiert. Die körnungsspezifischen Kennwerte charakterisieren die Körnungslinie und repräsentieren die Steuerungsmöglichkeit des Hohlraumgehalts und der Eigenschaften einer Mischgutsorte/-art über die Zusammensetzung. Der Bindemittelgehalt wurde ebenfalls berücksichtigt. Dieser wies nie einen Einfluss auf das Niveau der Raumdichte oder deren Streuung auf.

Insgesamt konnte nachgewiesen werden, dass nicht immer die gleichen Faktoren Einfluss auf das Niveau der Raumdichte und deren Streuung nehmen. Die höchsten Einflüsse können primär aus den kornspezifischen Faktoren, dem Hohlraumgehalt und der Textur inklusive der effektiven Fläche jener erwartet werden. Erst sekundär sind Auswirkungen durch die Prüfkörpergeometrie und der Masse zu erwarten. Dies bestätigt das nationale Credo, die Verfahren nach den Mischgutsorten/-arten zu differenzieren.

#### 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Es konnten deutliche Unterschiede zwischen den Verfahren nachgewiesen werden. Diese können unterschiedliche Auswirkungen auf die Praxis nehmen. Einerseits sollte aufgrund der Einflüsse aus der Textur die Beurteilung von Ausbauproben mit Schnittflächen und dem Marshall-Probekörper mit einer im Labor künstlich hergestellten Textur überdacht werden. Aufgrund dessen, dass das Verfahren nach ASTM einen geringeren Einfluss aus der Textur erwarten lässt, wird es auch zur Aufnahme als Verfahren C in die TP Asphalt-StB Teil 6 empfohlen. Die europäische Norm DIN EN 12697-6 lässt beim Verfahren C die Art der Umhüllung offen. Sie spezifiziert jedoch nicht die hierzu benötigten Gerätschaften und die Durchführung, welche für eine standardisierte Umsetzung notwendig sind. Hierzu wurden Empfehlungen im Bericht wiedergegeben.

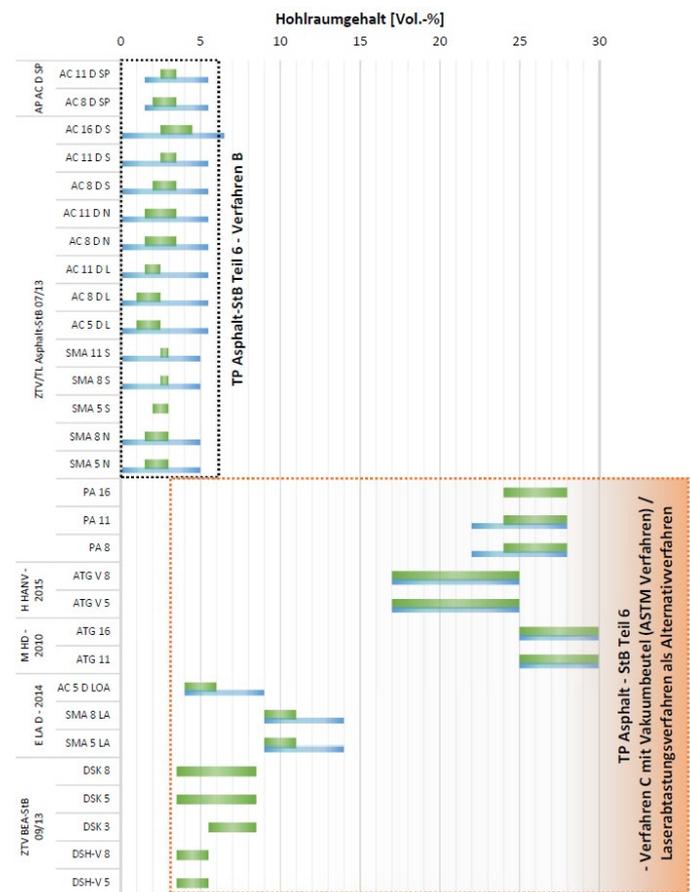
Das Verfahren B stellt das Referenzverfahren zur Raumdichtebestimmung bei dichten Asphaltdeckschichten dar. Für dieses Verfahren wäre nach den durchgeführten Untersuchungen eine Hohlraumgehaltsobergrenze von maximal 6 Vol.-% zu empfehlen. Mit zunehmender Masse und Höhe, wie es bei Asphaltbinde- und Asphalttragschichten der Fall ist, weitet sich die Obergrenze für den Hohlraumgehalt vermutlich auf. Von der Anwendung des Verfahrens bei Asphaltdeckschichten mit Hohlraumgehalten von mehr als 6 Vol.-% wird aufgrund der hohen Streuungen abgeraten.

Für Asphaltdeckschichten mit hohem Hohlraumgehalt scheinen hinsichtlich der Streuungen das modifizierte ASTM-Verfahren

und das Laserabtastungsverfahren geeigneter zu sein. Das ASTM-Verfahren führt zu einem quantitativ höheren Hohlraumgehalt, welcher jedoch präziser bestimmt werden kann als beim zurzeit gültigen Referenzverfahren, dem Verfahren D. Hierzu müssten in den Prüfstellen die benötigten Geräte und Materialien angeschafft werden. Von Vorteil ist, dass alle Geräte und Materialien in Großserien hergestellt werden und uneingeschränkt verfügbar sind.

Alternativ weist das Laserabtastungsverfahren deutliche Stärken auf, da es kaum Abhängigkeiten hinsichtlich der Streuungen der Prüfergebnisse aufweist und eine sichere Abgrenzung zwischen der Textur eines Prüfkörpers und den zur Raumdichte zugehörigen Volumen erlaubt. Hinsichtlich der Geräteverfügbarkeit zeigt es zum jetzigen Zeitpunkt gegenüber den ASTM-Verfahren eine deutliche Schwäche.

Zusammenfassend ist das nachfolgend dargestellte Prüfschema für die gängigen Asphaltdeckschichten beziehungsweise vergleichbare Asphaltmischgutarten und -sorten zu empfehlen.



**Bild 3: Empfehlung zur Anwendung der untersuchten Prüfmetho- den der Raumdichtebestimmung auf die gängigen Asphalt- deckschichten und vergleichbare Mischgutsorten**