

Performance-orientierte Asphaltspezifikation – Entwicklung eines praxisgerechten Prüfverfahrens zur Ansprache des Verformungswiderstands

FA 84.106

Forschungsstelle: Technische Universität Braunschweig,
Institut für Straßenwesen (ISBS) (Prof. Dr.
techn. Dipl.-Ing. M. P. Wistuba)

Bearbeiter: Wistuba, M. P. / Isailovic, I.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Ber-
gisch Gladbach

Abschluss: Juni 2014

- Druck-Schwellversuch mit definiertem Stützdruck, sog. Triaxialversuch und
- Spaltzug-Schwellversuch. Die Einbeziehung von Spaltzug-Schwellversuchen erfolgte vor dem Hintergrund, dass der Schädigungseintrag bei diesem Ermüdungsversuch neben der Materialermüdung stets auch zufolge plastischer Verformung erfolgt. Dies verdeutlicht die Auswertung der dissipierten Energie während des Versuchs.

1 Aufgabenstellung

Straßenbauasphalte werden entsprechend den Anforderungen des Technischen Regelwerks so konzipiert, dass sie die auftretenden Kräfte aus Verkehrs- und Witterungsbeanspruchung über lange Zeiträume schadlos aufnehmen können. Die grundsätzliche Eignung der Zusammensetzung einer bestimmten Asphaltart beziehungsweise -sorte als Schicht im Straßenoberbau kann im Labor mittels gebrauchsverhaltensorientierter Prüfverfahren nachgewiesen werden. Dabei werden die wesentlichen Asphalteigenschaften angesprochen, wie Steifigkeit, Ermüdungs- und Kälterissbeständigkeit, Dauerhaftigkeit und Widerstand gegen bleibende Verformungen (Verformungsstabilität).

Dieses Forschungsprojekt befasst sich mit der Prüfung der Verformungsstabilität von Walzasphalten, zu deren Ansprache eine Reihe von Laborverfahren zur Verfügung steht, wie der Spurbildungsversuch, der Druck-Schwellversuch (mit/ohne Stützdruck) oder der Stempeleindringversuch. Während der zyklisch-dynamische Druck-Schwellversuch mit Stützdruck (sog. Triaxialversuch) zum Zweck der Baustoffoptimierung und -entwicklung bekanntermaßen hervorragend geeignet ist, wird er – wegen der vergleichsweise aufwendigen Geräte- und Prüftechnik – als Standardversuch im Rahmen von Routineprüfungen (Erst-, Kontrollprüfung) in Deutschland nicht eingesetzt.

Ziel dieses Forschungsprojekts war es, zu klären, ob die Beurteilung der Verformungsstabilität von Walzasphalten alternativ zum technisch aufwendigen Triaxialversuch mit einem anderen zyklisch-dynamischen Prüfverfahren erfolgen kann. Es sollte ein praxisgerechtes Prüfverfahren zur Ansprache des Verformungswiderstands gefunden werden.

2 Projektinhalte

2.1 Vergleichende Analyse von zyklischen Prüfverfahren

Zur Charakterisierung des Widerstands gegen bleibende Verformungen wurden in diesem Projekt zeitraffende Laborprüfverfahren mit zyklischer Belastung eingesetzt. Diese Prüfverfahren umfassen sowohl solche mit dominanter Druckbeanspruchung (Verformungsversuche) als auch solche mit dominanter Zugbeanspruchung (Ermüdungsversuche):

- Druck-Schwellversuch mit nicht näher bekanntem Stützdruck, sog. Stempeleindringversuch (ohne und mit dem Einsetzen eines Stützrings),

Die Versuchsauswertung erfolgte für jeden Einzelversuch mittels Analyse der während der Versuchsdurchführung dissipierten Energie.

Als dissipierte Energie werden jene energetischen Anteile zusammengefasst, die in einem Belastung-Entlastungszyklus verbraucht werden, in Form von mechanischer Arbeit, Wärmezeugung oder Materialschädigung (Rissbildung). Dazu wurde zunächst das sich während der Prüfung je Lastzyklus verändernde Materialverhalten des Asphaltprobekörpers registriert, indem die Veränderung der Primärwirkungen (Spannung, Dehnung, Phasenwinkel) ermittelt wurde. Anschließend wurden aus den Messgrößen verschiedene Beiträge zum Materialverhalten getrennt. Dazu wurden herangezogen:

- Darstellungen jener Kurvengraphen als Lissajous-Figuren, die durch die Überlagerung der Spannungs-Dehnungs-Schwingungen entstehen, und
- die dissipierte Energie.

Wird im Versuch (bei Kraftregelung) beim Lastimpuls $i+1$ mehr Energie dissipiert als beim Lastimpuls i , so steht dies in Zusammenhang mit einer Änderung der mechanischen Materialeigenschaften. So kann größtenteils aus der Veränderung der dissipierten Energie auf die Art der Probekörperschädigung geschlossen werden. Bleibt die dissipierte Energie konstant, bedeutet das keine Änderung im mechanischen Verhalten.

2.2 Untersuchungen zur Herstellung von schlanken Probekörpern

Die Durchführung von Performance-Prüfungen erfordert die Herstellung von Asphaltprobekörpern aus im Labor verdichtetem Mischgut. In Deutschland wird gemäß der "Technischen Prüfvorschrift für Asphalt" (TP Asphalt-StB), Teil 33, das Mischgut mittels Walzsektor-Verdichtungsgerät zu Asphaltprobeplatten verdichtet.

Für die Durchführung des Triaxialversuchs sind die Probekörper so aus der Asphaltprobeplatte zu entnehmen, dass die Belastung des Probekörpers während der Prüfung parallel zu jener Verdichtungskraft erfolgt, die während des Verdichtungs Vorgangs auf die Platte einwirkte (siehe Bild 1). Somit sind ausreichend dicke Asphaltprobeplatten notwendig, mit Plattendicken von etwa 200 mm.

Die Praxis zeigt, dass die Herstellung von dicken, ausreichend homogenen Asphaltplatten nur über einen mehrlagigen Einbau zu erreichen ist, wofür das notwendige Verdichtungsregime

bisher unbekannt war. Aus diesem Grund wurde experimentell ein geeignetes Verdichtungsprogramm durch Variation der Verdichtungskräfte und der Überrollungszahlen entwickelt, welches eine homogene Dichteverteilung über die gesamte Asphalt-Probeplatte sicherstellt. Dazu wurden zwei Varianten der Verdichtung erprobt, die Wegregelung und eine Kombinati-

on aus Weg- und Kraftregelung. Die Herstellung von Asphalt-Probeplatten erfolgte dreilagig. Anschließend wurde der Einfluss der Verdichtungsregime und der Bohrrichtung (parallel zur Verdichtungskraft, parallel zur Verdichtungsrichtung und orthogonal zu Verdichtungsrichtung) auf das Ergebnis des Triaxialversuchs analysiert (vgl. Bild 1).

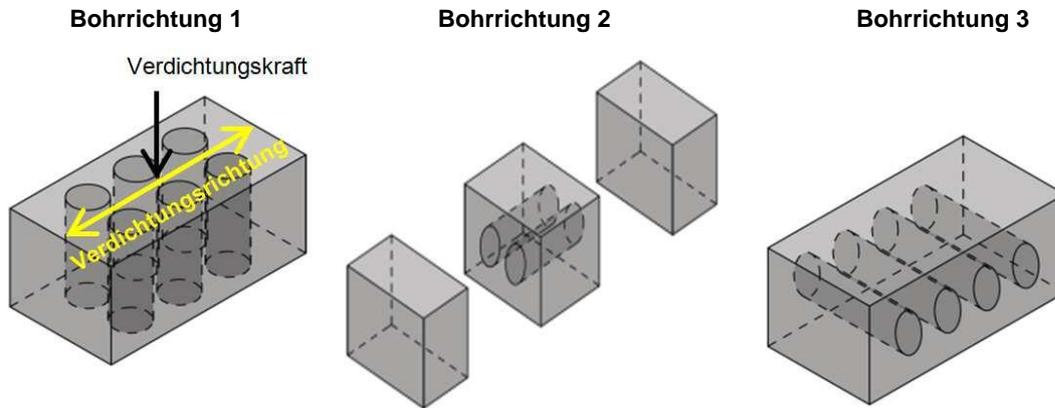


Bild 1: Unterschiedliche Bohrrichtungen für die Gewinnung von zylindrischen Probekörpern aus Asphaltplatten: Bohrrichtung 1 parallel zur Verdichtungskraft, Bohrrichtung 2 orthogonal zur Verdichtungskraft in Verdichtungsrichtung, Bohrrichtung 3 orthogonal zur Verdichtungsrichtung.

3 Untersuchungsergebnisse

Anhand der in diesem Projekt erhaltenen Ergebnisse aus zyklischen Prüfungen an Walzasphalten kann festgehalten werden:

- Die Auswertung der dissipierten Energie während zyklisch-dynamischer Asphaltprüfungen ist sehr aussagekräftig, weil für jeden Versuchstyp aufgeschlüsselt werden kann, welche Veränderungen während der Prüfung im Baustoff stattfinden und welche Schädigungen vorhanden sind (Ermüdung oder plastische Verformung oder beide). Sie liefert die Grundlage zur Beantwortung der Forschungsfrage dieses Projekts.
- Unter allen Verformungsprüfungen ist der Druck-Schwellversuch mit radialem, schwellendem Stützdruck (sog. Triaxialversuch) der aussagekräftigste, weil er eine realitätsnahe Simulation jenes Hauptspannungszustands ermöglicht, der in der Straße bei Radüberfahrt entsteht. Bild 2 zeigt exemplarisch die Auswertungen aus Triaxialversuchen für die Asphaltart AC 22 T S, wo die akkumulierten plastischen Druckdehnungen und Energiedissipation als Funktion der Belastungszyklen dargestellt sind. Nach einer Anfangsphase (Nachverdichtung) stellt sich ein quasistationäres Materialverhalten ein. Die gestrichelte Linie gibt näherungsweise die Grenze der überproportionalen Zunahme der plastischen Druckdehnungen zu Versuchsbeginn an (ca. 500 Belastungszyklen), ab der die dissipierte Energie nicht mehr abfällt und näherungsweise konstant bleibt. Während der Phase mit quasistationärem Materialverhalten ist fast ausschließlich plastische Druckverformung zu beobachten, während die Effekte zufolge Änderungen des Materialverhaltens vernachlässigbar klein sind.
- Der Triaxialversuch und der Stempel Eindringversuch liefern qualitativ ähnliche Ergebnisse, wie anhand der

Auswertung der dissipierten Energie nachgewiesen wurde. Die relativen Verhältnisse der berücksichtigten Asphaltvarianten sind bei beiden Versuchstypen vergleichbar, die Reihung der Asphaltvarianten bezüglich Verformungsbeständigkeit ist gleich.

- Untersuchungen zur Charakterisierung des Widerstands gegen bleibende Verformungen bei Stempel Eindringversuchen mit und ohne Stützring zeigen, dass der Stützring das überproportionale Wachstum von plastischen Dehnungen verhindert. Damit wird ein Vergleich von verschiedenen Materialien ermöglicht, ohne Berücksichtigung von mehreren Parametern für den Fall eines Wendepunkts. Die Verwendung eines Stützrings wird daher empfohlen.
- Die Auswertung der dissipierten Energie für Spaltzug-Schwellversuche, durchgeführt bei 20 °C, ergab, dass dieser Versuchstyp zu dominanten plastischen Zugdeformationen und zu vergleichsweise kleinen Änderungen in den Ermüdungseigenschaften führt. Die Materialermüdung ist gegenüber der Verformung untergeordnet und das Bruchversagen des Probekörpers ist zum überwiegenden Teil eine Folge von überlagerten plastischen Zugdeformationen. In der Folge wurde überprüft, ob die Anfälligkeit des Asphalts gegenüber plastischer Zugverformung in einem Zusammenhang steht mit dessen Anfälligkeit gegenüber plastischer Druckverformung (festgestellt in Verformungsversuchen). Eine relative Betrachtung der berücksichtigten Asphaltvarianten zeigt nicht die gleichen Ergebnisse wie bei Stempel Eindringversuchen. Das Verformungsverhalten unter Zugbeanspruchung ist nicht mit jenem unter Druckbeanspruchung vergleichbar. Ein Versuch mit dominanter Zugbeanspruchung (hier Spaltzug-Schwellversuch) eignet sich somit grundsätzlich nicht

(auch nicht tendenziell) zur Beurteilung des Verformungsverhaltens unter Druckbeanspruchung.

- Die Laborstudien zur Herstellung von schlanken Probekörpern für den Triaxialversuch ergaben, dass mittels einer kombinierten weg-kraftgeregelten Verdichtung eine homogene Dichteverteilung über die gesamte Probeplatte sichergestellt werden kann. Die Zunahme des irreversiblen axialen Verformungsanteils während des Triaxialversuchs ist bei Probekörpern, die mittels weggeregelter Verdichtung hergestellt wurden, deutlich stärker ausgeprägt als bei Probekörpern, die mittels weg-kraftgeregelter Verdichtung hergestellt wurden. Bezüglich des Einflusses der Bohrrichtung auf Verformungsanfälligkeit beim Triaxialversuch wurde nachgewiesen, dass die größte Verformungsbeständigkeit jeweils bei den Probekörpern der Bohrrichtung 1 (parallel zur Verdichtungskraft) erzielt wird und die niedrigste bei Bohrrichtung 3 (orthogonal zur Verdichtungsrichtung). Das vertikale Ausbohren von schlanken Probekörpern aus ausreichend dicken Platten wird empfohlen.

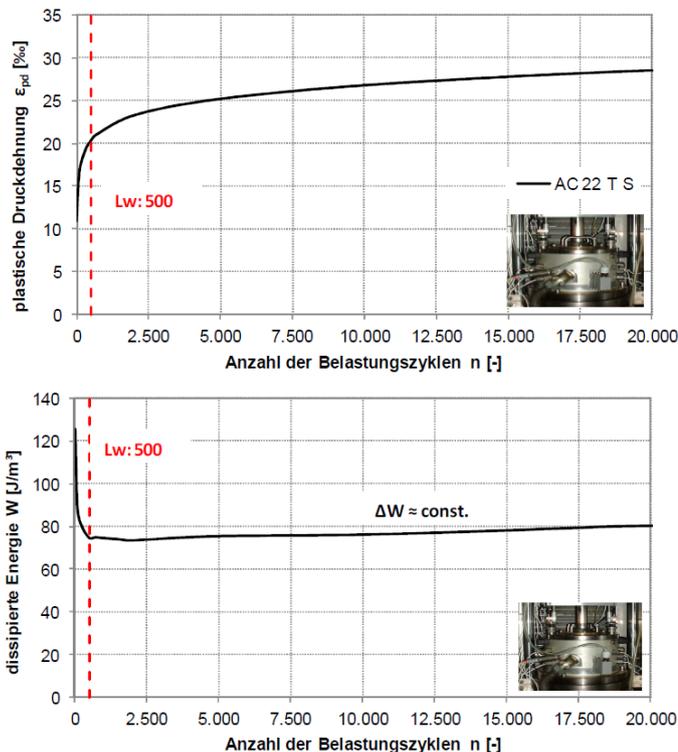


Bild 2: Triaxialversuch: akkumulierte plastische Druckdehnungen als Funktion der Belastungszyklen, durchgeführt an der Asphaltart AC 22 T S (oben) und Energiedissipation als Funktion der Belastungszyklen (unten).

4 Folgerungen für die Praxis

In der Prüftechnik zur Ansprache von Asphalteeigenschaften im Labor haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Performance-Prüfverfahren etabliert, die sich in der Belastungsart und in den Belastungsgrößen wesentlich unterscheiden: Zug-, Druck-, Zug-Druck-Wechselbeanspruchung oder Biegung, Wegregelung oder Kraftregelung, direkte oder indirekte Beanspruchung. Diese Vielfalt in der prüftechnischen Ansprache erschwert den

Vergleich und die Bewertung der mit unterschiedlichen Prüfmethoden ermittelten Asphalteeigenschaften. Mitunter sind die Prüfergebnisse und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen sogar widersprüchlich. Grund dafür ist das von der Prüfgeometrie und den -bedingungen abhängige Asphaltverhalten, insbesondere weil sich Ermüdungs- und Verformungseigenschaften oft überlagert zeigen und bei konventioneller Betrachtung nicht voneinander trennen lassen. Darüber hinaus bleiben Materialeffekte aus Thixotropie und Temperaturerhöhung infolge innerer Reibung sowie Selbstheilungseffekte bei der Auswertung von Performance-Prüfungen unberücksichtigt, obwohl deren Einfluss international diskutiert wird. Dies führt in der Prüfpraxis oft dazu, dass Laborergebnisse nicht mit zufriedenstellender Aussagekraft bewertet werden können.

Der in diesem Forschungsprojekt verfolgte Ansatz ist auf eine verbesserte Interpretation der Prüfergebnisse gerichtet, indem bei der Auswertung verschiedene Materialeffekte, die aus der jeweiligen Materialansprache resultieren, aufgeschlüsselt werden. Es wird nachgewiesen, dass mithilfe der Analyse der während der zyklischen Asphaltprüfung je Lastimpuls dissipierten Energie sowohl das Ermüdungs- als auch das Verformungsverhalten von Asphalt zielsicher angegeben werden können. Die vorgestellte Auswertemethodik anhand der dissipierten Energie erweist sich als überaus gut geeignetes Werkzeug für die Prüfpraxis zur Beurteilung der inkrementellen Veränderung der belastungs- und mischgutabhängigen Materialantwort je Lastzyklus.

Die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts dienen dazu, die prüftechnische Ansprache von Asphalt-Performance-Eigenschaften, die Gewinnung von Eingangsparametern in die rechnerische Dimensionierung und die Langzeitprognose von Straßenbefestigungen entscheidend zu verbessern. Damit besteht ein direkter Bezug zur Baupraxis, wenn zukünftig Performance-Prüfungen verstärkt zur Anwendung kommen sollen. Durch eine verbesserte Auswertemethodik von Performance-Prüfungen kann verhindert werden, dass fehlinterpretierte Prüfergebnisse zur Prognose des Gebrauchsverhaltens über lange Zeiträume verwendet werden (zum Beispiel im Rahmen der rechnerischen Dimensionierung).

Hinsichtlich eines zum Triaxialversuch alternativen praxisgerechten Laborprüfverfahrens zur Ansprache der Verformungsstabilität von Walzasphalten wurde festgestellt, dass der Stempelindringversuch mit Stützring eine gute Alternative zum technisch aufwendigen Triaxialversuch ist – etwa zur Vorselektion von Mischgutvarianten. Ergebnisse aus Triaxialversuchen korrelieren gut mit jenen aus Stempelindringversuchen. Das Materialverhalten, das sich bei beiden Versuchstypen einstellt, ist qualitativ vergleichbar. Der Stützring aus Metall, der den Asphaltprobekörper vollständig umschließt, ist vorteilhaft und führt durch die Vermeidung störender horizontaler Zugdeformationen zu plausibleren Prüfergebnissen.

Der Spaltzug-Schwellversuch gibt keinen eindeutigen Hinweis auf die Anfälligkeit des Asphalts gegenüber plastischer Druckverformung, weil diese nicht mit der Verformungsanfälligkeit unter Zugbeanspruchung korreliert. Versuche mit dominanter Zugbeanspruchung können somit nicht als Alternativen zum Verformungsversuch unter Druckbeanspruchung herangezogen werden.

Das Herstellungs- und das Gewinnungsverfahren von Asphaltprobekörpern aus Asphaltplatten können einen großen Einfluss auf das Versuchsergebnis aus zyklisch-dynamischen Laborversuchen haben. Es sind – speziell für Triaxialversuche – ausreichend dicke Probekörper zu verwenden. Zylindrische, schlanke Probekörper sollten in vertikaler Richtung (parallel zur wirkenden Verdichtungskraft während des Verdichtungs Vorgangs) aus der Asphaltprobepatte gebohrt werden. Die Verdichtung von mehrlagigen Asphaltprobepplatten sollte mittels Walzsektor-Verdichtungsgerät unter einem kombinierten weg-kraftgeregelten Verdichtungsregime erfolgen.