

---

Aktenzeichen der MV

## Beschreibung zum Forschungsantrag

### Kurzfassung

#### **1. Forschungsthema:**

Zerstörungsfreie Prüfung des zugänglichen Hohlraumgehalts von offenporigen Fahrbahnbelägen unmittelbar nach Einbau zum Erzielen von optimalen akustischen Eigenschaften

#### **2. Wissenschaftlich – technische und wirtschaftliche Problemstellung**

Offenporige Asphalte werden in Deutschland unter anderem für gezielt wasserdurchlässige Befestigungen sowie als Tragschichtmaterial für Befestigungen mit durchlässigen Deckschichten eingesetzt. Des weiteren werden diese Asphalte auf Grund ihrer lärmreduzierenden Wirkung infolge der Verringerung des Airpumping und des Lärmabsorptionsvermögens dieser Asphalte zur Reduzierung der Geräuschemission genutzt. Sowohl das Airpumping als auch das Lärmabsorptionsvermögen hängen sehr stark von dem während des Einbaus der Asphalte erreichten zugänglichen Hohlraumgehalt ab. Des weiteren beeinflusst der, im Rahmen des Einbaus erreichte zugängliche Hohlraumgehalt die Wasserdurchlässigkeit sowie die mechanischen Eigenschaften des Asphalttes in einem erheblichen Maße. Aus diesem Grund kommt der Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts eine wesentliche Bedeutung zu.

Der zugängliche Hohlraumgehalt  $H_{zu}$  wird i.d.R. an, aus der Asphaltdeckschicht entnommenen Bohrkernen bestimmt. Als Nachteil dieses Verfahrens sind die nachfolgend aufgeführten Punkte zu benennen:

- es ist keine zerstörungsfreie Methode,
- der zugängliche Hohlraumgehalt kann nur exemplarisch an bestimmten Stellen, nicht flächendeckend und somit i.d.R nicht mit statistischer Sicherheit bestimmt werden,
- der zugängliche Hohlraumgehalt kann erst nach dem Einbau an der bereits erkalteten Deckschicht bestimmt werden; eine Einflussnahme auf die Verdichtung noch während der Bauausführung ist ausgeschlossen.

Die akustischen Eigenschaften (z.B. Absorptionsgrad) offenporiger Asphalte hängen direkt vom zugänglichen Hohlraumgehalt ab. Es ist daher denkbar, dass bei Kenntnis dieses Zusammenhangs und der akustischen Eigenschaften auf den zugänglichen Hohlraumgehalt geschlossen werden kann. Wenn es gelingt, den Absorptionsgrad bereits kurz nach dem Einbau flächendeckend zu ermitteln, könnten sowohl die akustischen Eigenschaften, als auch der erreichte zugängliche Hohlraumgehalt daraus abgeleitet werden.

### Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Berechnung des zugänglichen Hohlraumgehalts

Die akustischen Eigenschaften, z.B. das Absorptionsvermögen offenporiger Fahrbahnbeläge, werden maßgeblich durch den zugänglichen Hohlraumgehalt, die Strömungsresistanz und die Tortuosität des offenporigen Asphalts bestimmt. Dieser Zusammenhang konnte anhand von Versuchsreihen an etwa 250 Marshall-Probekörpern, an Platten aus offenporigem Asphalt sowie durch Messungen an realen offenporigen Fahrbahnen nachgewiesen werden [Hue03], [Hue05]. Aus diesem Grund ist es möglich, mit Hilfe der Messung der akustischen Eigenschaften den zugänglichen Hohlraumgehalt des offenporigen Asphalts zu bestimmen.

Zur Messung der akustischen Eigenschaften offenporiger Fahrbahnen wurde bereits ein Messgerät auf der Basis von DIN ISO 13472-1 entwickelt [Hue02]. Dieses Messgerät arbeitet zerstörungsfrei und kann direkt vor Ort und während des Einbaus von offenporigen Asphalten eingesetzt werden. Grundlage des hierbei angewandten Messverfahrens ist die Beschallung des offenporigen Asphalts mit Hilfe eines Lautsprechers und die Bestimmung des von der Fahrbahnoberfläche reflektierten Schallfeldanteils mit Hilfe eines Mikrofons.

Ein weiteres Messverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften basiert auf der Messung des Wechseldrucks und der Wechselschnelle unmittelbar über der Fahrbahnoberfläche mit Hilfe eines Druck- und Schnellesensors der Firma Microflown Technologies. Dieser Sensor ist sehr klein und könnte direkt in der Nähe der Walze angebracht werden. Das Verfahren wurde bereits erfolgreich zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften herkömmlicher Absorber eingesetzt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren jedoch keine Erfahrungen bei der Messung von akustischen Eigenschaften offenporiger Asphalte.

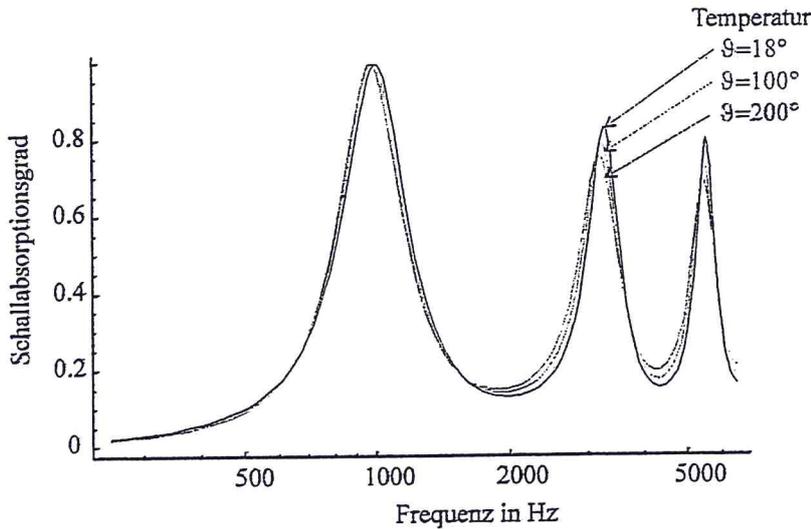
Zur Berechnung des zugänglichen Hohlraumgehalts anhand der gemessenen akustischen Eigenschaften ist das eigens für offenporige Asphalte entwickelte „Phänomenologische Modell“ [Ha92] heranzuziehen. Die Genauigkeit dieses Modells konnte bereits durch Vergleich von Berechnung und Messung bestätigt werden [Hue03]. Darüber hinaus bestehen erste Erfahrungen bei der Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts anhand der gemessenen akustischen Eigenschaften. Die zu diesem Problemkreis durchgeführten Untersuchungen fanden jedoch zunächst im Labor statt [Hue05-1].

### Abschätzung zur Temperaturabhängigkeit des Messverfahrens:

Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung des Messverfahrens zur Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts stellt die Änderung der Temperatur beim Erkalten des neu eingebauten offenporigen Asphalts dar. Es wäre denkbar, dass sich die akustischen Eigenschaften des offenporigen Asphalts beim Erkalten drastisch ändern und somit der zugängliche Hohlraumgehalt zu ungenau bestimmt wird.

Aus diesem Grund wurde in einer Voruntersuchung die Abhängigkeit der akustischen Eigenschaften von der Temperatur zunächst rechnerisch untersucht. Dazu ist die Temperaturabhängigkeit der Strömungsresistanz anhand der dynamischen Viskosität von Luft im Porenvolumen berücksichtigt worden. In Bild 1 sind Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt. Hierin ist klar erkennbar, dass die Änderung der Temperatur beim Erkalten des offenporigen Asphalts nur einen geringen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften hat.

Im Gegensatz dazu kann bei der Änderung des zugänglichen Hohlraumgehalts durch Walzen eine starke Veränderung der akustischen Eigenschaften des offenporigen Asphalts beobachtet werden. Die Verringerung des zugänglichen Hohlraumgehalts führt zu einer Verschiebung des Hauptmaximums im Frequenzbereich, zum anderen ist eine Zunahme der Amplitude des Hauptmaximums beobachtbar.



**Bild 1**  
Temperaturabhängigkeit des Schallabsorptionsvermögens offenporiger Asphalte.

Die geringe Temperaturabhängigkeit des Schallabsorptionsvermögens wird maßgeblich durch die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität der Luft in den Poren des offenporigen Asphalts bestimmt.

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die Veränderung des zugänglichen Hohlraumgehalts durch Walzen eines offenporigen Asphalts erwartungsgemäß einen hohen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften des Asphalts hat. Darüber hinaus lässt sich abschätzen, dass der Einfluss der Temperatur des Asphalts auf das Absorptionsvermögen vernachlässigbar ist. Auf der Grundlage dieses Zusammenhangs ist daher die Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts mit Hilfe der gemessenen Werte des Absorptionsvermögens möglich. Zusätzlich können Aussagen zu den akustischen Eigenschaften abgeleitet werden.

Ergebnisse von Voruntersuchungen im Sinne der Entwicklung wissenschaftlicher Grundlagen für ein Schätzverfahren liegen hierzu vor und wurden in [Hue05-1] vorgestellt.

### 3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

#### 3.1 Forschungsziel

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Messverfahrens zur Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts offenporigen Asphalts, aufbauend auf vorhandenen Ergebnissen von Voruntersuchungen zu wissenschaftlichen Grundlagen für ein Schätzverfahren [Hue05-1]. Hierzu ist ein Rechenalgorithmus zu entwickeln, mit dessen Hilfe aus aktuell gewonnenen Messdaten akustischer und thermischer Parameter des soeben eingebauten Asphalts während der Phase der Verdichtung umgehend auf den zugänglichen Hohlraumgehalt geschlossen werden kann. Damit soll es möglich sein, Qualitätsstandards bezüglich mechanischer und akustischer Eigenschaften sowie der Ableitung von Niederschlagswasser (Drainage, Verminderung der Gefahr von Aquaplaning) von Fahrbahnbelägen noch besser gerecht zu werden. Das Verfahren ist zerstörungsfrei und unmittelbar nach dem Einbau des offenporigen Asphalts einsetzbar.

#### 3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

- A. Ziel: Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung des zugänglichen Hohlraumgehalts offenporiger Asphalte mit Hilfe von Labormesswerten akustischer Eigenschaften

Arbeitsschritte	FST*)
A.1 Herstellung von Marshall-Probekörpern offenporigen Asphalts unterschiedlichen zugänglichen Hohlraumgehaltes	TUD

A.2	Normgerechte Messung akustischer Parameter im Kundtschen Rohr und am Strömungswiderstandsmessplatz als Grundlage anschließender Berechnung des zugänglichen Hohlraumgehalts; Entwicklung eines Berechnungsverfahrens, welches u. a. die Dicke der Probekörper berücksichtigt und dem das für offenporige Asphalte entwickelte Absorbermodell („Phänomenologisches Modell“ [Ham92]) zugrunde liegt.	HTWM
A.3	Vergleich berechneter Werte des zugänglichen Hohlraumgehalts mit Daten aus direkter volumetrischer Messung; hieraus Ableitung von Korrekturfaktoren für das der Berechnung zugrunde liegende Modell	TUD

B. Ziel: Weiterentwicklung des in-situ-Messverfahrens zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften offenporiger Fahrbahnen mit einem Druck- und Schnelle-Sensor

B.1	Untersuchung der Genauigkeit der in-situ-Messergebnisse des Schallabsorptionsgrads mit Druck- und Schnelle-Sensor an im Walzsegmentverdichter hergestellten Platten ( $H_{zu}$ wie in Absatz A) Hierzu wird für die zu untersuchenden offenporigen Asphalte jeweils eine ca. 1 m <sup>2</sup> große Versuchsfläche des jeweiligen offenporigen Asphalts angelegt.	TUD
B.2	In-situ-Messungen des Schallabsorptionsgrads dieser Flächen mit Messgerät nach DIN ISO 13472-1 bei Variierung der Größe der Versuchsfläche, um Genauigkeit des Verfahrens bei kleineren Probenflächen zu untersuchen. Anschließende Labormessungen zur weiteren Bestätigung der Genauigkeit des Verfahrens mit „Kundtschem Rohr“ an Bohrkernen nach DIN EN ISO 10534-2 aus der Versuchsfläche.	HTWM
B.3	Anschließend Entwicklung einer Messvorschrift zur Bestimmung des Schallabsorptionsgrads mit Hilfe des Druck- und Schnelle-Sensors auf der Basis der gewonnen Daten und Erkenntnisse.	HTWM

C. Ziel: Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der akustischen Eigenschaften

In Voruntersuchungen konnte abgeschätzt werden, dass Temperaturänderungen innerhalb offenporiger Asphalte während des Einbaus nahezu ohne Einfluss auf die gemessenen akustischen Eigenschaften sind. Dieses Ergebnis soll bei den Arbeiten experimentell bestätigt und auf eine breite Palette offenporiger Asphalte mit unterschiedlichem zugänglichen Hohlraumgehalt mit folgenden Arbeitsschritten erweitert werden:

C.1	Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts an Platten des Walzsegmentverdichters (zugänglicher Hohlraumgehalt wie in Abschnitt A) unterschiedlichen Verdichtungsgrades während der Abkühlung.	TUD
C.2	Zu C.1 Durchführung von Messungen mit den Verfahren nach Abschnitten A und B	HTWM
C.3	Direkte volumetrische Messung des zugänglichen Hohlraumgehalts	TUD
C.4	Vergleich der gewonnenen Daten	TUD
C.5	Weiterentwicklung des Berechnungsmodells anhand der Daten aus C1 – C4 nach Abschnitt A und Einführung von Korrekturfaktoren	HTWM

D. Ziel: Bestätigung der Genauigkeit des Verfahrens an realen Probestrecken

Messungen zur Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts während des Einbaus des Asphalts an 6 realen Streckenabschnitten (zur Vernachlässigung von Einfluss der Verschmutzung auf akustische Eigenschaften seit Einbau nicht älter als 6 Monate):

D.1	Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts	TUD
D.2	Entnahme von Bohrkernen, Bestimmung des zugänglichen Hohlraumgehalts durch direkte volumetrische Messung	TUD
D.3	Bewertung der gewonnenen Ergebnisse	TUD

## E. Dokumentation der Ergebnisse

E.1	Zusammenfassung / Systematisierung aller Mess- und Rechen­daten	beide
E.2	Statistische Bewertung der gewonnenen Messdaten; Interpretation	beide
E.3	Verfassen des Abschlussberichtes; redaktionelle Endbearbeitung	beide

\*<sup>j</sup>) Forschungsstellen (FST): TUD = Technische Universität Dresden, Professur Straßenbau; HTWM = Hochschule Mittweida (FH), Institut für Technische Akustik und Umweltprozesse e.V.

### 3.3 Übersicht über die Versuchsreihen

Mischgutvariation OPA 0/8, OPA 0/11 (nach Merkblatt für den Bau von offenporigen Asphaltdeckschichten)

	Inhalte A – D wie unter Abschnitt 3.2	$\Sigma$
A	30 Marshall-Probekörper mit jeweils 3 Messungen pro Probekörper sowie volumetrischer Ermittlung des zugänglichen Hohlraumgehaltes (1 Messung pro PK)	120
B	2 Versuchsflächen mit jeweils 3 Messungen pro Reduzierungsschritt (8 Reduzierungsschritte) sowie volumetrischer Ermittlung des zugänglichen Hohlraumgehaltes (1 Messung pro Platte)	80
C	30 Asphaltplatten mit jeweils 3 Messungen pro Platte und Temperatur (5 Temperaturen) sowie volumetrischer Ermittlung des zugänglichen Hohlraumgehaltes (1 Messung pro Platte)	480
D	6 Messorte auf Versuchstrecken mit jeweils 2 Messpunkten (3 Messungen pro Messpunkt bei 5 Verdichtungsstufen) sowie volumetrischer Ermittlung des zugänglichen Hohlraumgehaltes (1 Messung pro Bohrkern)	204

### 3.4 Benötigte und vorhandene Mess- und Untersuchungstechnik

Pos. Gerät	Verfügbarkeit bei
1 Kundt'sches Rohr	ITAU e.V., HTW Mittweida
2 In-situ-Messvorrichtung	ITAU e.V., HTW Mittweida
3 Walzsegmentverdichter (zur Herstellung der Marshall-Probekörper)	Professur Straßenbau, TU Dresden
4 2 Druck- und Schnelle-Sensoren	Sonden werden für die Untersuchungsdauer kostenlos von Microflown Technologies (NL) zur Verfügung gestellt

## 4. Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

Mit der Bearbeitung des vorliegenden Forschungsantrags wird die Messung des zugänglichen Hohlraumgehalts offenporiger Asphalte flächendeckend, bereits kurz nach dem Einbau möglich. Zusätzlich können akustische Eigenschaften, insbesondere der Absorptionsgrad, direkt abgeleitet werden. Somit wird ein wesentlicher Beitrag zur Überleitung bisher bearbeiteter Forschungsprojekte zur Lärmreduzierung in die Praxis und zur Ergänzung laufender Forschungsprojekte geleistet wodurch die ausführenden Unternehmen in die Lage versetzt werden, unmittelbar nach bzw. bereits während der Bauausführung den zugänglichen Hohlraumgehalt zu bestimmen und somit die Qualität der eingebauten Schicht zu überwachen und zu

gewährleisten. Diese Form der Qualitätskontrolle im Rahmen der Herstellung und des Einbaus von Asphaltmischgutes ist für KMU von großer Bedeutung, da eine ungenügende bzw. zu hohe Verdichtung des Asphaltmischgutes zu unzureichenden mechanischen und akustischen Eigenschaften führt und somit Minderungs- bzw. Regressansprüche, und damit wirtschaftliche Schäden entstehen.

Der Einsatz des Verfahrens wird vergleichsweise kostengünstig sein. Der Aufwand zur Entnahme von Bohrkernen und Inanspruchnahme von Leistungen in Prüflabors kann gleichfalls eingeschränkt werden. Durch die verbesserte Gewährleistung von Qualitätsstandards und Reduzierung von aufwendigen Nacharbeiten und eventuellen Regressforderungen wird das Verfahren somit ein Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der bauausführenden KMU sein.

Erzielte Forschungsergebnisse lassen sich den Fachgebieten Werkstoffe/Materialien, Verfahrenstechnik, Umwelttechnik sowie Messtechnik und durch den Nutzen für KMU mittelbar auch der Betriebswirtschaft zuordnen. Sie werden insbesondere in den Wirtschaftszweigen Verarbeitung von Steinen und Erden, im Baugewerbe und im Landverkehr/Transport Einzug finden.

Es ist vorgesehen, die Messvorrichtung auf einem Messfahrzeug zu installieren. Damit werden künftig mobile flächendeckende Messungen auf größeren Fahrbahnabschnitten komfortabel und zeitsparend möglich.

## **5. Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse**

Die im Rahmen des vorgeschlagenen Projekts gewonnenen Ergebnisse sollen durch Publikationen in einschlägigen Fachzeitschriften, durch Fortbildungsseminare, mit Hilfe elektronischer Medien sowie durch Diskussionsveranstaltungen in Fachverbänden erfolgen. Zusätzlich wird angestrebt, die Ergebnisse über die Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen in die maßgeblichen Regelwerke einzubringen. In diesem Zusammenhang wurde großes Interesse der Bundesanstalt für Straßenwesen signalisiert.

Bereits in der Entwicklungs- und Testphase (in-situ-Untersuchungen) auf zahlreichen Baustellen werden ausführende Bauunternehmen mit den theoretisch-praktischen Zusammenhängen und den erzielbaren Resultaten vertraut gemacht und auf diesem Weg unmittelbar dazu motiviert, die Ergebnisse umzusetzen, gezielt anzuwenden und ggf. weiterzuentwickeln.

Diese ersten Testanwendungen stehen parallel als Demonstrationsobjekt zur praktischen Veranschaulichung erzielbarer Ergebnisse.

Mit laufenden Angeboten von Vortragsveranstaltungen und Seminaren in themenbezogenen Fachgremien soll das Verfahren neben den allgemein erforderlichen Veröffentlichungen noch intensiver und zugeschnitten auf spezielle Anforderungen zugänglich gemacht werden.

Das Verfahren wird bereits in der Entwicklungsphase Einzug in die akademische Lehre der beiden beteiligten Hochschulinstitute finden. Damit werden gleichzeitig weitere innovative Impulse von kreativen Studenten erwartet.

Nach erfolgreichem Abschluss der Forschungsarbeiten wird das Verfahren allen interessierenden akademischen und beruflichen Bildungseinrichtungen für die Lehre offen stehen.

## 6. Durchführende Forschungsstellen

### 6.1 Forschungsstelle 1

Technische Universität Dresden, Professur für Straßenbau, 01062 Dresden

Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner

### 6.2 Forschungsstelle 2

HTWM-Hochschule Mittweida (FH) - University of Applied Sciences, FB Mathematik/Physik/Informatik, ITAU – Institut für Technische Akustik und Umweltprozesse e.V., Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Leiter: Prof. Dr. -Ing. Karin Künzel

### 6.3 Projektleiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmut Wellner, Professur Straßenbau, TU Dresden

### 6.4 Projektbearbeiter

Dipl.-Ing. Stefan Grohs, Professur Straßenbau, TU Dresden

Dr.-Ing. Jörn Hübelt, Institut für Technische Akustik und Umweltprozesse e.V.

## 7. Literatur

- [Ha92] Hamet, J.: Modelisation acoustique d'un enrobe drainant. INRETS, 1992
- [Hue03] Hübelt, J. ; Sarradj, E. ; Lerch, T.: Einfluss der Fahrbahneigenschaften auf das Rollgeräusch von Kraftfahrzeugen, DFG Abschlussbericht, Geschäftszeichen: KO 1242/9-1,-2. TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, 2003
- [Hue02] Hübelt, J.: About the determination of the acoustical properties of surfaces in situ using the Auto-Power-Density-Spectra. Proc. of the Forum Acusticum 2002, Sevilla (Spain), 2002
- [Hue05] Hübelt, J. ; Schmid, H. ; Bartolomaeus, W.; Wellner, F.: Über die Korrelation von Fahrzeuggeräuschpegeln mit in situ gewonnenen Messergebnissen zum Strömungswiderstand, zur Wasserdurchlässigkeit und zum Absorptionsgrad von offenenporigen Asphalten. Tagungsband der 31. Tagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Akustik (DAGA 05), 2005
- [Hue05-1] Hübelt, J. ; Böhm, M. ; Hoffmann, R.: Using an extended impedance measurement method for the estimation of porosity and flow resistance. In: Proceedings of the International Congress on Sound and Vibration Lisbon (ICSV), 2005

Bonn, 05.04.2006