

Zur Schallausbreitung über porösen Straßenoberflächen

Jörn Hübel*, Tobias Lerch**, Ennes Sarradj* und Andreas Zeibig*

* Institut für Akustik und Sprachkommunikation, TU Dresden, 01062 Dresden

** Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, TU Dresden, 01062 Dresden

Einleitung

Ziel eines an der TU Dresden laufenden Forschungsprojektes ist die Entwicklung einer akustischen Modellbeschreibung zur Optimierung der lärmindernden Wirkung offenerporiger Asphalte. Dazu sollte ausgehend von den „Technologischen Parametern“ der Strasse (Korngrößenverteilung, Bindemittel, Kornform...) die Schalldruckverteilung über der Fahrbahn berechnet werden.

Zur Theorie

Grundphilosophie der Modellierung ist die Auffassung der offenerporigen Strasse als homogener Absorber.

Das entstandene Modell besteht aus mehreren Stufen, an deren Schnittstellen der Abgleich mit Ergebnissen von Labormessungen an „Marshall-Probekörpern“ möglich ist. Dabei wurden etwa 250 Probekörper unterschiedlichster Zusammensetzung untersucht.

In einer ersten Stufe wird unter Verwendung des Modells der Kugelpackungen [Lar89] eine homogene Struktur von Kugeln unterschiedlicher Radien erzeugt. Diese Modellstufe erlaubt die Vorhersage der für den porösen Absorber typischen Eigenschaften (z.B. längenbezogene Strömungsresistenz, Porosität, Tortuosität).

In einer weiteren Stufe erfolgt dann die Berechnung der Kennwerte des porösen Absorbers (komplexe Ausbreitungskonstante und komplexer Wellenwiderstand). Dazu wurden verschiedenste Absorbertheorien hinsichtlich ihrer Eignung zur akustischen Beschreibung der offenerporigen Fahrbahnoberfläche untersucht. Als günstig stellte sich dabei das „Phänomenologische Modell“ [Ham92], [Ber97] heraus.

Die für das Rollgeräusch dominanten, sehr flachen Schalleinfallswinkel erfordern die Berücksichtigung von kugelförmigen Wellenfronten sowie die Beschreibung des Absorbers Strasse als „lateral reagierend“.

Zur Modellierung des Auftreffens kugelförmiger Wellenfronten bietet sich die Theorie nach „Weyl - von de Pol“ an z.B. [Rud47].

Eine Grundvoraussetzung dieser Theorie ist jedoch die Existenz eines lokal reagierenden Absorbers. Abhilfe können hier die Lösungsvorschläge von Attenborough [Att 80], Thomson [Thom70] bieten.

Diese Autoren berücksichtigen in ihren Lösungen für die gleiche Problemstellung den Absorber als lateral reagierend. Die unterschiedlichsten Resultate wurden von Attenborough [Att80] verglichen. Unter der Berücksichtigung spezieller Randbedingungen konnte dabei Übereinstimmung zwischen den einzelnen Modellansätzen gefunden werden.

In einem Artikel von Li [Li98] wurde zur Modellierung der lateralen Reaktion bei Anwendung des „Weyl-von de Pol“ - Modells die Einführung einer effektiven Impedanz vorgeschlagen. Die mit diesem Ansatz gewonnenen Ergebnisse sind mit Messergebnissen unterschiedlichster Autoren bestätigt worden z.B. [Nic85].

Messungen

Zur Validierung der Modellansätze wurde eine „in situ“ Messtechnik entwickelt [Hü01]. Diese erlaubt die Messung der komplexen Wandimpedanz der realen Strasse direkt vor Ort. Weiterhin sind Messungen zur Bestimmung der Übertragungsfunktion Quelle zu Mikrofon für sehr flache Schalleinfallswinkel durchgeführt worden.

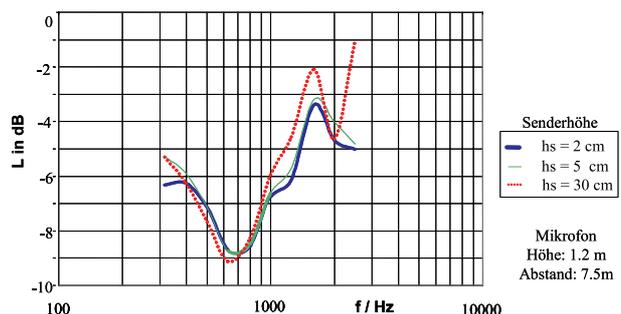


Bild 1: Messung - Schallpegelminderung gegenüber einem Splittmastix-Asphalt ähnlicher Textur (schallharter Belag) – Sender: Schlauch an Hornstreiber.

In Bild 1 ist die Schallpegelminderung durch offenerporigen Asphalt gegenüber einem als schallhart aufgefassten Splittmastix Asphalt (SMA) 0/8mm dargestellt. Deutlich erkennbar ist eine starke Minderung im Bereich von $f = 700\text{Hz}$. Der „in-situ“ bestimmte Absorptionsgrad (Bild 2) weist in diesem Frequenzbereich ein Maximum auf.

Ein Vergleich zwischen Rechnung nach [Li98] und Messung ist in Bild 3 dargestellt. Auch hier kann für den Schalldruckpegel-Terzfrequenz-Verlauf eine gute Übereinstimmung festgestellt werden. Ziel zukünftiger Arbeiten soll ein systematischer Vergleich zwischen Messung und Berechnung sowohl an realen Straßenoberflächen als auch an den „Marshall“-Probekörpern sein.

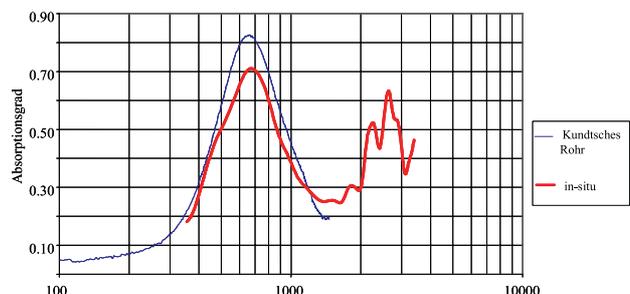


Bild 2: Messung – Absorptionsgrad – „Kundtsches Rohr“ <-> „in situ“ (senkrecht).

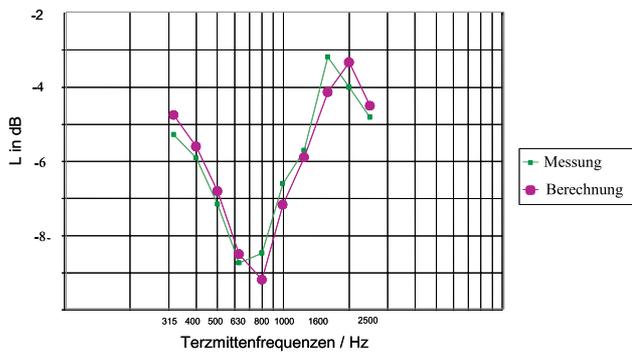


Bild 3: Vergleich: Messung/Berechnung Schallpegelminderung gegenüber einem schallharten Belag

Kriterium zur Beurteilung

Mit Hilfe eines Kriteriums soll die Optimierung der porösen Straßenoberfläche ermöglicht werden.

Als Input dient dabei ein zweidimensionales Quellen-Array [Iw99]. Die berechneten Schallpegelwerte werden auf einen Referenzbelag bezogen, der im einfachsten Fall über den gesamten Frequenzbereich als schallhart aufgefasst werden kann (SMA 0/8mm).

Die frequenzabhängige Wichtung des Rollgeräuschspektrums wird A-bewertet nach DIN EN 1793-3 berücksichtigt.

In Bild 4 ist die Minderung der A-bewerteten Schalldruckpegelverteilung durch den Einsatz eines offenporigen Asphaltbelages gegenüber der Wirkung einer schallharten Fläche dargestellt. Dabei ist deutlich die Herausbildung eines keilförmigen Bereiches mit signifikanter Minderung zu erkennen.

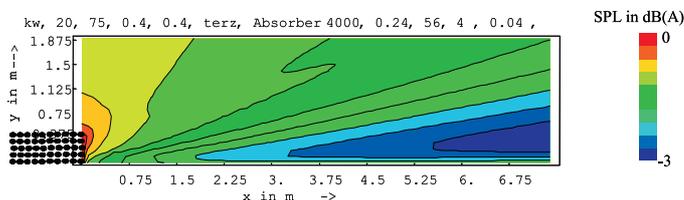


Bild 4: Schallfeld über der Absorberfläche A-bewerteter Schalldruckpegel, Mittelung über Terzmittelfrequenzen (Absorberfläche in der x/z - Ebene bei $y = 0$)

Vorschlag zur akustischen Eignungsprüfung der Asphaltbeläge im Labor

Die Exaktheit der Ergebnisse einer „in situ“ Messung auf der realen Straße hängen derzeit im großen Maße vom Erfahrungsschatz des Bedieners ab.

Eine Alternative zur „in situ“ Messung stellt die Untersuchung der Proben in einem speziellen „Kundtschen Rohr“ dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei der im Straßenbau für einen Eignungstest üblichen Entnahme der Bohrkerne, Veränderungen der akustischen Eigenschaften auftreten können (Reinigen der Poren durch Spülung...).

In dem speziellen Rohr sollen die Absorberkennwerte (komplexe Ausbreitungskonstante, komplexer Wellenwiderstand) bestimmt werden. Diese erlauben dann die Berechnung des Schallfeldes über der Straße und somit den Vergleich mit Richtwerten.

Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Modell ist die Optimierung offenporiger Asphaltbeläge möglich. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist jedoch nur die Minderung des Schalldruckpegels auf dem Schallausbreitungsweg modelliert. Effekte im Nahbereich (z.B. „Air-Pumping“) werden nicht berücksichtigt.

Gestützt auf Ergebnisse von Studien der jüngsten Zeit [Fe02] und dem Vergleich der berechneten Ausbreitungsminderung mit der Schalldruckpegelminderung die bei statistischen Vorbeirollpegeln auf offenporigen Asphaltbelägen erzielt wurden, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Effekte im Nahbereich eher eine untergeordnete Rolle spielen.

Ein vorteilhafter Weg zur Eignungsprüfung offenporiger Asphaltbeläge stellt die Bestimmung der Absorberkennwerte (komplexe Ausbreitungskonstante, komplexer Wellenwiderstand) in einem speziellen „Kundtschen Rohr“ dar.

Zur günstigen Optimierung der Asphaltbeläge muss eine Dezimierung der Eingangsparameter erfolgen. Dabei soll in nächster Zeit der Zusammenhang zwischen Porosität und Tortuosität sowie der Abhängigkeit des Strömungswiderstandes von der Porosität tiefergreifender untersucht werden.

Literatur

- [Ber97] Berengier, M. and Stinson, M. and Daigle, G. and Hamet, J.: „Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects“, JASA 101(1), 155-162, (1997).
- [Lar89] Larson, R. u.a.: A periodic grain consolidation model of porous media, Physics of Fluids A 1, 1989, pp. 36-46.
- [Ham92] Hamet, J.: „Modelisation acoustique d'un enrobe drainant“, INRETS, (1992).
- [Rud47] Rudnik, I.: „The propagation of an acoustic wave along a boundary“, JASA 19, 348-356, (1947).
- [Att 80] Attenborough, K., Hayek, S. I., Lawther, J. M.: „Propagation of sound above a porous half space“, JASA 68, 1493-1501, (1980).
- [Thom70] Thomasson, S.-I.: „Sound propagation above a layer with a large refraction index“, JASA 61 (3), S. 659-674, (1977).
- [Li98] Li, K. M., Waters-Fuller, Attenborough, K.: „Sound propagation from a point source over extended-reacting ground“, JASA 104, 679-685, (1998).
- [Nic85] Nicolas, J., Berry, J. L., Daigle, G. A.: „Propagation of sound above a finite layer of snow.“ JASA 77, 67-73, (1985).
- [Hü01] Hübelt, J., T. Lerch and E. Sarradj: Porous Road Surfaces: Acoustical Characteristics, Models and Measurements. ICA 17, Rom, 2001.
- [Iw99] Iwase, T., Kawabata, R.: „Measurements of basic acoustical properties of the porous road pavement and their application to the estimation of road traffic noise reduction“, JASJapan 20 (1), 63-74, (1999).
- [Fe02] Forschungsbericht FE-Nr. 03.293 R95M „Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifenfahrbahngeräusch“, Fa. Müller BBM GmbH, München-Planegg, (2002).