

Absorbertheorien für offenporigen Asphalt

Ennes Sarradj
TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation

Einleitung

Offenporiger Asphalt (OPA) spielt als Straßenbelag eine potentiell wichtige Rolle bei der Verminderung des Verkehrslärms. Neuere Untersuchungen zeigen eine Wirksamkeit bereits bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten [1]. Neben anderen, das Reifenrollgeräusch mindernden Eigenschaften ist dafür vor allem die Schallabsorption des OPA verantwortlich. Um die Eigenschaften dieses Absorbers zu optimieren, ist eine zutreffende Theorie zur Bestimmung der akustischen Kennwerte aus den Parametern des porösen Asphalts notwendig. Während sich in der Literatur [2] dazu Angaben lediglich für den anzustrebenden Strömungswiderstand finden, ergaben Untersuchungen an der TU Dresden einen deutlichen Einfluss weiterer Parameter, insbesondere der Porosität und der Porengeometrie [3].

OPA besteht wie jeder Asphalt aus einzelnen Split-Körnern, die untereinander mit Bitumen gebunden sind. Durch geeignete Wahl der Anteile verschiedener Korngrößenklassen (Bild 1) entstehen Hohlräume. Typische Hohlraumgehalte liegen zwischen ca. 12% und 27%.

Absorberkennwerte

Das akustische Verhalten eines homogenen Absorbers lässt sich durch zwei akustischen Kennwerte vollständig beschreiben. Analog zur Wellenzahl und der Schallkennimpedanz in Luft können hier die Ausbreitungskonstante und der Wellenwiderstand (beide komplex) gewählt werden. Zur Berechnung dieser Kennwerte aus den Parametern des Absorbers existieren eine Reihe von Absorbertheorien, die von einfachen Modellgeometrien ausgehen. Während einige dieser Theorien nur für die Behandlung von Absorbern mit sehr hoher Porosität (z.B. Faserabsorber) in Frage kommen, gibt es auch zur Behandlung niedrigerer Porositäten geeignete. Diese berücksichtigen nicht nur den längenbezogenen Strömungswiderstand Ξ und die Porosität σ , sondern auch die Porengeometrie. Bei der sogenannten Theorie des homogenen Mediums geschieht das durch den Parameter Strukturfaktor χ , für den allerdings keine eindeutige Definition existiert. Dadurch wird der Strukturfaktor zum frei anpassbaren Parameter. Andere Theorien verwenden den wohldefinierten Parameter Tortuosität τ^2 (Quadrat des Verhältnisses von effektiver Weglänge einer Strömung durch eine Schicht porösen Materials und der Schichtdicke) und zum Teil auch zusätzlich Formfaktoren, mit denen die Querschnittsform der Strömungskanäle durch das poröse Medium berücksichtigt wird. Zur Beschreibung von OPA geeignet sind z.B. das sogenannte phänomenologische Modell mit 3 Parametern und ein Mikrostruktur-Modell mit 5 Parametern [4]. Zur erfolgreichen Verwendung dieser Modelle müssen die notwendigen Parameter Ξ ,

σ und τ^2 bekannt sein. Während für Laboruntersuchungen ohne weiteres Messungen [5][6] erfolgen können, ist es für Untersuchungen zur Optimierung sinnvoll, von den technologischen Parametern des OPA auszugehen.

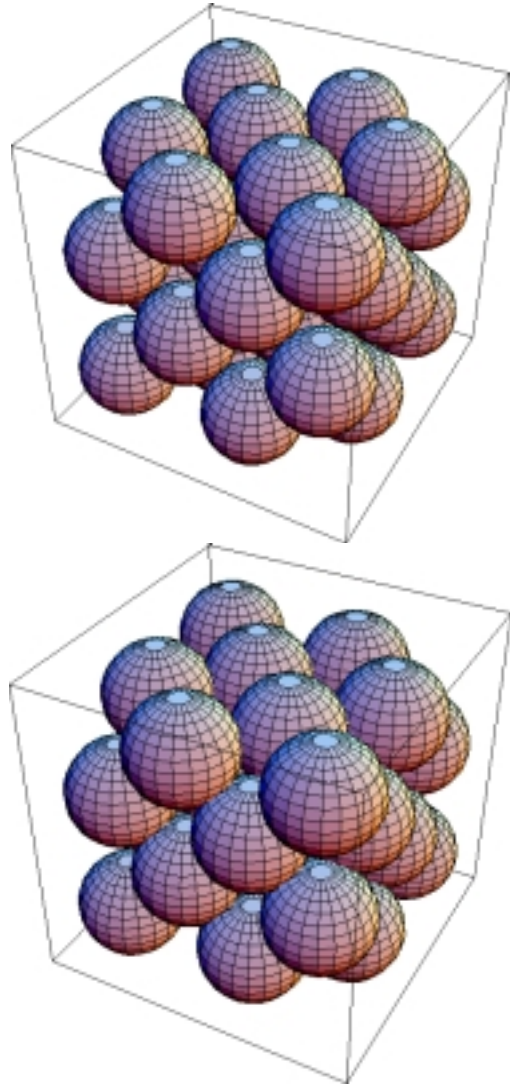


Bild 2: Konsolidierte Kugelpackung
(oben: $\sigma = 25,95\%$, unten: $\sigma = 8,55\%$)

Ein Strukturmodell für OPA

Eine mögliche Modellgeometrie zur Beschreibung geht von einer Gitter-Packung gleichgroßer Kugeln aus, die einander an der Oberfläche durchdringen (konsolidierte Kugelpackung, Bild 2). Unter der Annahme eines kubisch flächenzentrierten Gitters der Weite $2d$ und bei einem Kugelradius R ist die Porosität einer solchen Anordnung:

$$\sigma = 1 + \pi(3d^3 - 9dR^2 + 5R^3) / 3\sqrt{2} d^3. \quad (1)$$

Ebenso lässt sich der Strömungswiderstand mittels einer numerischen Berechnung [7] bestimmen, die zu folgendem Zusammenhang führt:

$$\Xi = C(1-\sigma)^2 / (\sigma^3 R^2). \quad (2)$$

Der Koeffizient C hängt vom Strömungsmedium ab und beträgt für Luft etwa $9 \cdot 10^{-4}$ Pa·s Für die Tortuosität von Packungen beliebig geformter, einander ähnlicher Körner gilt [8]

$$\tau^2 = \sigma^{-m}. \quad (3)$$

Der Exponent m hängt dabei von der Form der Körner ab, die die Packung bilden. Die so gewonnenen Absorberparameter sind als Eingangsgrößen für die Absorbertheorien zur Berechnung der Absorberkennwerte einsetzbar.

Einen anderen denkbaren Weg zur Bestimmung der Kennwerte anhand des Modells der Kugelpackung ist die allerdings sehr aufwendige direkte numerische Simulation einer Wechselströmung (Schall) durch die Kugelpackung.

Auf jeden Fall bleibt die Frage, in welcher Beziehung das Modell der Packung gleichgroßer Kugeln die wirklichen Verhältnisse im OPA widerspiegelt, der ja aus verschiedenen großen, nicht kugelförmigen Partikeln besteht. Dazu wurden über einhundert unterschiedlicher Probekörper untersucht und die Messwerte für die Porosität, den längenbezogenen Strömungswiderstand, die Tortuosität und den Schallabsorptionsgrad für senkrechten Schalleinfall mit berechneten Werten verglichen. Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass aus der Verteilung der Korngrößen und dem Bindemittelanteil der Proben ein mittlerer Kugeldurchmesser sowie die Porosität berechnet werden können, die als Eingangsgrößen für die Berechnung prinzipiell geeignet sind (Bild 3). Allerdings gibt es zum Teil noch erhebliche Abweichungen, die auf weitere Einflüsse wie den erreichten Verdichtungsgrad zurückzuführen sind. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass nur der

von außen zugängliche Teil des Porenvolumens zur Absorption beiträgt.

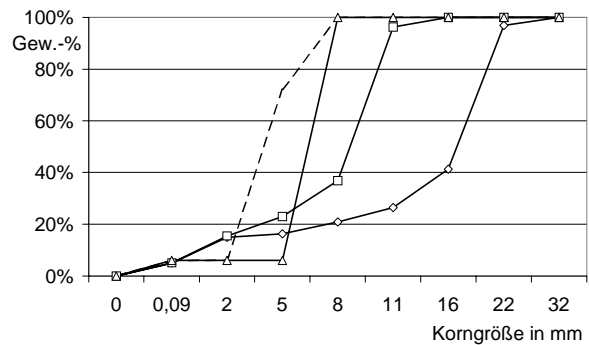


Bild 1: Korngrößenverteilung für einige untersuchte OPAs

Literatur

- [1] Poggi, A. u.a.: Contribution of double layer asphalt in reduction of urban traffic noise. Proc. InterNoise 2000
- [2] von Meier, A.: Thin porous surface layers – design principles and results obtained. Proc. Eurosymposium "Mitigation of Traffic noise", 1992
- [3] Reichel, S.: Asphaltgemische mit definierten akustischen Parametern unter Beachtung der straßenbautechnischen Eigenschaften. Diplomarbeit TU Dresden 1999
- [4] Berengier, M. u.a.: Porous road pavements: Acoustical characterization and propagation effects. JASA 101,1997, S.155-162
- [5] Sarradj, E. u.a.: Präzise Strömungswiderstandsmessungen mit der Vergleichsmethode. DAGA 2001
- [6] Lerch, T. u. a.: Tortuositätsmessungen an offenporigen Asphaltproben. DAGA 2001
- [7] Larson, R. u.a.: A periodic grain consolidation model of porous media. Physics of Fluids A 1, 1989, S.36-46
- [8] Sen, P. u.a.: A self-similar model for sedimentary rocks with application to the dielectric constant of fused glass beads. Geophysics 46, 1981, S, 781-795

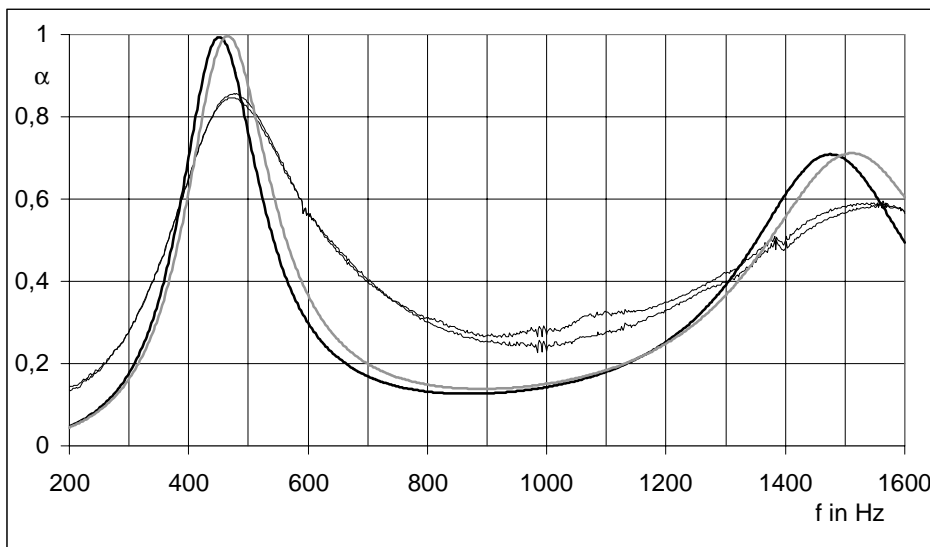


Bild 3: Gemessene (dünne Linien) und berechnete Absorptionsgrade für senkrechten Schalleinfall für eine 72 mm dicke OPA-Probe – schwarz: aus gemessenen Ξ , σ und τ^2 (4350 Pas/m^2 , $25,27\%$, $5,26$) berechnet, grau: mit (1)-(3) aus Korngrößenverteilung berechnet (5200 Pas/m^2 , $25,87\%$, $4,9$)