

Zur Vorhersage der akustischen Eigenschaften offenporiger Asphalte

Ennes Sarradj¹, Jörn Hübelt²

¹Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Institut für Verkehrstechnik, D-03046 Cottbus, ennes.sarradj@tu-cottbus.de

²Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, D-01099 Dresden

Einführung

Der Einsatz von offenporigen Asphalten als lärmmindernde Straßenoberflächen nimmt in jüngster Zeit immer mehr zu. Um das Lärmminde-rungs-Potenzial solcher Asphalte möglichst voll ausschöpfen zu können, ist es sinnvoll und notwendig, die akustischen Eigenschaften für unterschiedliche Asphalte vorherzusagen. Im folgenden sollen die Ergebnisse der in [1] ausführlich erläuterten Untersuchungen vorgestellt werden.

Die Herstellung eines offenporigen Asphalts wird durch verschiedene technologische Parameter bestimmt. Ausgehend von diesen Parametern, die im ersten Abschnitt kurz erläutert werden, wurden Modelle entwickelt, um die für das akustische Verhalten relevanten Parameter Porosität, Tortuosität und Strömungswiderstand vorherzusagen. Diese Parameter können einerseits als Eingangsgrößen benutzt werden, um die Wirkung des offenporigen Asphalts als akustischer Absorber zu beschreiben. Andererseits haben sie auch direkten Einfluss auf die Entstehung des Rollgeräuschs auf der offenporigen Straßenoberfläche. Als Grundlage für die Entwicklung und Überprüfung der Modelle dienten Messungen an 207 Asphaltproben aus 48 Serien mit unterschiedlichen technologischen Parametern.

Technologische Parameter

Asphalt besteht aus einem Skelett mineralischer Körner, die durch einen Bitumenmörtel zusammengehalten werden. Dieser Mörtel besteht aus bituminösem Bindemittel und Füller. Ein offenporiger Asphalt unterscheidet sich von einem herkömmlichen, dichten Asphalt vor allem durch eine andere Größenverteilung der verwendeten Körner und durch ein anderes Bindemittel. Die Größenverteilung der Körner wird durch die sogenannte Sieblinie beschrieben, eine Verteilungsfunktion, die den Anteil der Körner verschiedener Größenklassen festlegt. Die verschiedenen Größenklassen entstehen durch Absieben eines Splitgemischs durch Siebe mit unterschiedlichen Lochgrößen. Die verwendeten Standardlochgrößen waren 0.09/0.25/0.71/2/5/8/11.2/16/22.4/32 (es ergibt sich z.B. die Größenklasse 5-8 mm). Zusätzlich wurden noch Siebe mit 4 und mit 6.3 mm Lochgröße verwendet, um schmalere Größenklassen, wie z.B. 4-5 mm zu erhalten. Die Anteile unter 0.09 mm werden als Füller F , Anteile zwischen 0.09 und 2 mm werden Sand S bezeichnet. Neben der Siebkurve bestimmen auch Anteil B und Art des Binders die Eigenschaften des offenporigen Asphalts. Eine praktikable Form zur Charakterisierung

der Sieblinie ist die mittlere Korngröße \bar{d} definiert durch:

$$\bar{d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i d_{max,i}. \quad (1)$$

y_i und $d_{max,i}$ sind dabei Anteil und obere Grenze für eine der N Größenklassen.

Akustische Materialparameter

Der wichtigste Parameter ist die Porosität, das Verhältnis zwischen Poren- und Gesamtvolumen. Nur die zugänglichen Poren können einen akustischen Einfluss haben, deshalb wird sinnvoll die zugängliche Porosität definiert:

$$\sigma_a = \frac{V_A}{V_T}. \quad (2)$$

Die gesamte Porosität des Asphalts kann aus seiner Dichte ρ_A und der Dichte des Skeletts ρ_F bestimmt werden:

$$\sigma = 1 - \frac{\rho_A}{\rho_F}. \quad (3)$$

σ_a wurde in einem speziellen Apparat bestimmt, σ durch Wägung.

Ein weiterer Parameter ist die Tortuosität. Sie charakterisiert den Verlauf und Querschnittsänderungen der Poren und ist durch das Verhältnis der Länge des „effektiven“ Durchströmungsweges l_H und der Dicke l_{min} einer durchströmten Schicht gegeben:

$$\tau_H = \left(\frac{l_H}{l_{min}} \right)^2. \quad (4)$$

Die Bestimmung der Tortuosität wurde mit dem in [2] beschriebenen Messaufbau durchgeführt.

Der dritte untersuchte Parameter ist der längenbezogene Strömungswiderstand Ξ , der durch den Druckunterschied Δp bei Durchströmung einer Δx dicken Probe gegeben ist:

$$\Xi = - \frac{\Delta p}{v \Delta x}. \quad (5)$$

Die experimentelle Bestimmung erfolgte hier mit dem in [3] beschriebenen Messgerät.

Modelle und Ergebnisse

Für die Porosität wurde ein Modell aufgestellt, das von der Porosität σ_L einer Schüttung der größten Kornfraktion ausgeht und dann die Verringerung dieser Porosität durch das Ausfüllen der verbleibenden Hohlräume mit

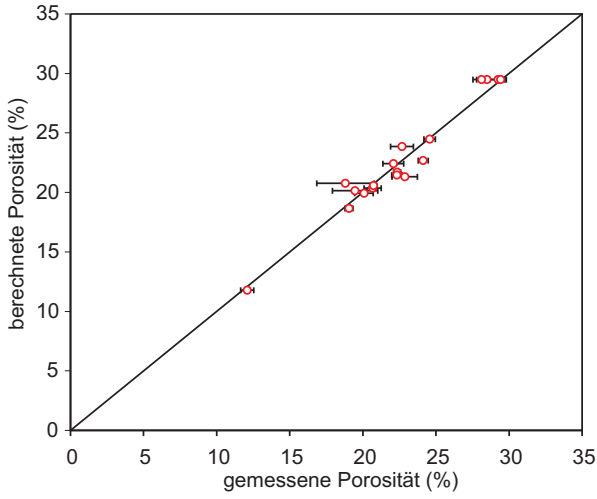


Abbildung 1: Gemessene Porosität und Porosität nach (6) für verschiedene Probenserien aus Granodiorit

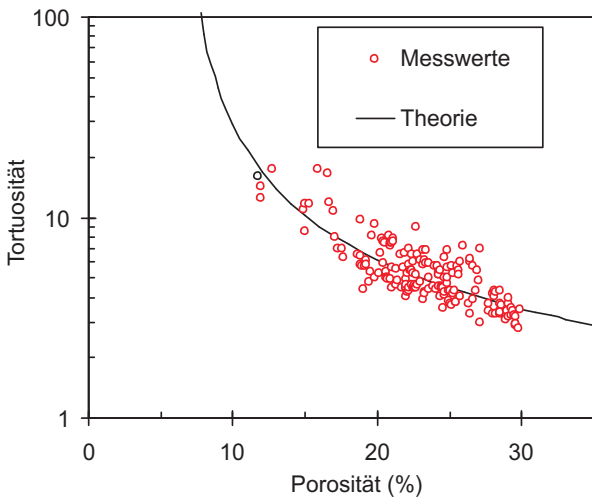


Abbildung 2: Tortuosität als Funktion der Porosität: Messwerte und Theorie nach (7)

Binder, Sand und Füller sowie dem Anteil M der Körner mit mittlerer Korngröße (Anteil der Körner mit $d < \bar{d}$) berücksichtigt:

$$\sigma = \sigma_L - (1 - \sigma_L) \left(\frac{\rho_M B}{\rho_B (1 - B)} + \frac{S + F}{1 - (S + F)} \right) - c_M \begin{cases} M & , M \leq M_m, \\ (1 - M) \frac{M_m}{1 - M_m} & , M > M_m. \end{cases} \quad (6)$$

M_m ist dabei der Wert M , bei dem die kleinste Porosität in einem Gemisch aus großen und mittleren Körnern erreicht wird. σ_L , M_m sowie lassen sich nicht theoretisch bestimmen und wurden anhand einer nichtlinearen Optimierung mit den gemessenen Probendaten ermittelt. Dabei stellte sich heraus, dass das verwendete Mineral, das auch die Form der Körner bestimmt, einen Einfluss hat.

Für die Tortuosität ist aus der Geophysik ein empirischer Zusammenhang („Archie’s law“) bekannt, der angepasst wurde, um die Tatsache einer fehlenden Durchgängigkeit der Poren unterhalb einer „Durchdringungsschwelle“ bei

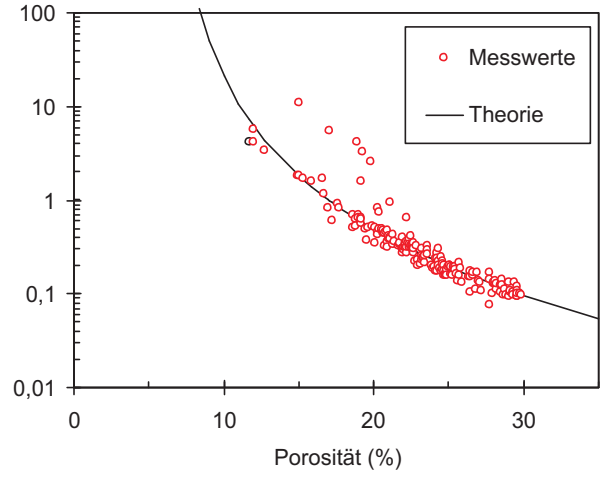


Abbildung 3: Strömungswiderstand: Produkt $\Xi \bar{d}^2$ als Funktion der Porosität - Messwerte und Theorie nach (8) für $A=4.24$, $B=0$, $C=27.5$

der Porosität σ_p zu berücksichtigen:

$$\tau = \sigma \left(\frac{\sigma - \sigma_p}{1 - \sigma_p} \right)^{-m}. \quad (7)$$

σ_p und der Exponent m wurden wiederum aus den gemessenen Probendaten ermittelt (Abb. 2)

Der Strömungswiderstand hängt stark von der Größe der Poren ab. Im Modell

$$\Xi = \frac{\mu (1 - \sigma)^B}{C \sigma^A} \frac{1}{(\bar{d})^2}. \quad (8)$$

lassen sich verschiedenen Zusammenhänge aus der Literatur zusammenfassen. Anhand der experimentell ermittelten Daten wurden verschiedene Möglichkeiten zur Wahl der Parameter A, B und C gefunden, die zu Vorhersagen guter Qualität führen [1](Abb. 3).

Zusammenfassung

Die vorgestellten Modelle erlauben die Vorhersage der für das akustische Verhalten relevanten Parameter Porosität, Tortuosität und längenbezogener Strömungswiderstand anhand der technologischen Parameter des Asphaltmischgutes. Damit ist eine Grundlage vorhanden, offenporige Asphalt so auszulegen, dass eine besonders hohe Lärminderung erreicht wird.

Literatur

- [1] E. Sarradj, T. Lerch, J. Hübel: Input Parameters for the Prediction of Acoustical Properties of Open Porous Asphalt. Acta Acustica united with Acustica 92 (2006) S. 85-96
- [2] T. Lerch, E. Sarradj, J. Hübel: Tortuositätsmessungen an offenporigen Asphaltproben. DAGA 2001
- [3] E. Sarradj, T. Lerch: Präzise Strömungswiderstandsmessungen mit der Vergleichsmethode. DAGA 2001