

Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge

FA 2.239

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für
Stadtbauwesen und Straßenbau
(Prof. Dr.-Ing. F. Wellner)

Bearbeiter: Schmid, H. / Hübelt, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und
Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Mai 2005

1. Aufgabenstellung

Die Arbeit hatte die Entwicklung eines in-situ-Verfahrens zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge zum Ziel. Das Verfahren sollte auf indirektem Wege quantitative Aussagen über den zu erwartenden Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} nach der Methode der "Statistischen Vorbeifahrt" [1] liefern, sich unproblematisch durchführen lassen und tolerant gegenüber Störeinflüssen aus der Umgebung sein.

Innerhalb der Untersuchungen sollen daher Messverfahren Anwendung finden, bei denen davon auszugehen ist, dass sie Aussagen zum Einfluss der beiden Hauptmechanismen der lärmindernden Wirkung offenporiger Asphalte, der Reduzierung des "Airpumping-Effekts" und der Schallabsorption im Nah- und Fernfeld vom Reifen, erlauben:

- Bestimmung der Permeabilität durch Messung der Wasserdurchlässigkeit:
Ein Plexiglaszylinder wird abgedichtet auf die Fahrbahn aufgesetzt und mit Wasser gefüllt. Aus der gemessenen Ausflusgeschwindigkeit wird die Wasserdurchlässigkeit bestimmt.

- Bestimmung der Permeabilität durch Messung des Strömungswiderstandes:
Bei einem transportablen Messgerät für die Messung des längenbezogenen Strömungswiderstandes nach [2] wird die Probenhalterung gegen eine Manschette ausgetauscht, die abgedichtet auf die Fahrbahn gesetzt wird. Der effektive Strömungswiderstand wird bestimmt.
- Messung des Schallabsorptionsgrades in situ:
Nach der DIN-Norm [3] oder in Anlehnung daran wird mit Hilfe des Impuls-Echo-Verfahrens der Absorptionsgrad (in Terzbändern) der Fahrbahnoberfläche gemessen.
- Messung der Schallausbreitung:
Über der Fahrbahnoberfläche wird eine Punktschallquelle positioniert. An zwei Orten in unterschiedlichen Höhen wird das Schalldruck-Frequenzspektrum mit einem Mikrofon gemessen und aus der Differenz auf indirektem Weg die Porosität, der längenbezogene Strömungswiderstand und die Tortuosität der offenporigen Deckschicht bestimmt.

Da von keinem der Verfahren bekannt ist, welche Qualität die Korrelation mit dem Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} hat, ist es sinnvoll, sie gleichzeitig zu prüfen.

Jedes dieser Verfahren soll an sieben Messstellen angewendet werden. Anschließend werden die einzelnen Ergebnisse den jeweiligen Resultaten für den maximalen Vorbeifahrtpegel gegenübergestellt. Dabei kann das Verfahren mit der besten Korrelation der Ergebnisse ausgewählt werden.

2. Untersuchungsmethodik

2.1 Messverfahren zum Wasserdurchfluss

Die Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit kann unabhängig vom Sättigungszustand der OPA-Schicht erfolgen. Der Wasserdurchlässigkeitsversuch ist damit unabhängig von der Witterung zum Versuchszeitpunkt.

Der Versuchsablauf gestaltet sich wie folgt:

- viermaliges Befüllen des Zylinders zum Annässen der offenporigen Asphaltdeckschicht (Wasser vollständig durchlaufen lassen),
- 15 Messungen pro Versuch,
- Stoppen der Ausflusszeit für die Messmarken $h_1 = 22,5$ cm und $h_2 = 17,5$ cm ($\Delta h = 5$ cm).

Der Einfluss des offenen Porenvolumens der Deckschicht auf die Lärminderung wird anhand einer Silikon-Unterlage untersucht.

Es wird ein Wasserverbrauch von 40 Liter pro Versuch geschätzt (ca. 12 Liter Wasser zum Annässen und 28 Liter für 15 Messdurchläufe).

2.2 Messverfahren zum Strömungswiderstand

Das Labormessverfahren zur Bestimmung des spezifischen Strömungswiderstandes nach STINSON [6] wurde an die in-situ-Messaufgabe auf der offenporigen Fahrbahn angepasst. Die Messung des effektiven spezifischen Strömungswiderstandes R'_s erfolgt dabei anhand eines zylinderförmigen Adapters mit Krempe, welcher direkt auf die offenporige Fahrbahn aufgesetzt wird.

Für die Überprüfung der Nachhaltigkeit der akustischen Wirkung der inneren Struktur des Asphalts muss der Messaufsatz mit einem mittels Silikonkautschuk aufgeklebten Gummiring abgedichtet werden. Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zur Genauigkeit des Verfahrens ergaben, dass der relative maximale Fehler ca. 7 % beträgt. Die über die Testserien gemittelte relative Standardabweichung σ ist dabei mit ca. 3 % angebar.

Einen großen Einfluss auf das Messergebnis hat die innere Feuchtigkeit des Asphalts. Den hier durchgeführten Untersuchungen zufolge muss davon ausgegangen werden, dass zu jeder Zeit innerhalb des Asphalts eine Restfeuchtigkeit vorhanden sein wird. Diese Feuchtigkeit ist daher als Eigenschaft der Straße zu berücksichtigen.

2.3 Messverfahren zum Schallabsorptionsgrad

Zur Bestimmung des Schallabsorptionsgrades wurde das Verfahren nach [3] ("Impuls-Echo-Methode" in Verbindung mit der "Subtraktionstechnik") herangezogen.

Auf der Basis des Rollgeräuschspektrums nach [4] ist darüber hinaus eine Vorschrift zur Ermittlung einer "Einzählangebe" für den Schallabsorptionsgrad der Fahrbahn entwickelt worden. Dies war notwendig, da die zur Korrelation heranzuziehenden Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} nach [1] als Gesamtschalldruckpegel angegeben werden.

2.4 Messung der Schallausbreitung

Schätzverfahren zur Strömungsresistenz

Zur Durchführung der Parameteridentifikation ist die Definition eines Zielfunktionals notwendig. Innerhalb der Arbeit wurde zur Herleitung dieses Funktionals die "Methode der kleinsten Fehlerquadrate" verwendet. Zur Minimierung des Zielfunktionals ist

das Verfahren von LEVENBERG und MARQUARDT herangezogen worden.

Das "LEVENBERG-MARQUARDT-Verfahren" ist nur lokal konvergent, d. h., es ist eine gute Ausgangsschätzung notwendig. Diese Abschätzung kann sehr erfolgreich anhand von "Templates" in Anlehnung an [5] durchgeführt werden. Für die Durchführung der Schätzung wurde das "Level-Differenz-Verfahren" zweimalig verwendet.

Zur praktischen Erprobung des Verfahrens wurde die Strömungsresistenz der Fahrbahnen an sieben Messorten geschätzt. Diese Werte sind anschließend mit den Messwerten für den spezifischen Strömungswiderstand R'_s korreliert worden. Hierbei stellte sich eine sehr geringe Korrelation zwischen diesen Messgrößen heraus. Der für den Standstreifen berechnete Korrelationskoeffizient ρ beträgt nur 0,09. Über der Rollspur und in der Mitte des 1. Fahrstreifens muss der Korrelationskoeffizient mit $\rho = -0,03$ bzw. mit $\rho = -0,21$ angegeben werden.

Den Ergebnissen der Voruntersuchungen zufolge hat sich das Verfahren zur Bestimmung des effektiven spezifischen Strömungswiderstandes R'_s als ausreichend genau herausgestellt. Die Ergebnisse der Korrelation des effektiven spezifischen Strömungswiderstandes R'_s mit den Schätzwerten für die Strömungsresistenz bescheinigen dem Schätzverfahren daher eine nur unzureichende Funktionsweise. Deshalb wurde davon abgesehen, die durch Schätzung ermittelten Werte für die Strömungsresistenz den an den Fahrbahnen ermittelten Werten für die Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} gegenüberzustellen.

Einfügungsdämpfung D_e der offenporigen Fahrbahn
Die bei der Messung der Schallausbreitung gewonnenen Daten können zusätzlich zur Berechnung der Einfügungsdämpfung herangezogen werden. Dabei soll hier unter Einfügungsdämpfung der Anteil des Minderungseffekts verstanden werden, der durch die Absorption der Fahrbahn hervorgerufen wird. Die Einfügungsdämpfung wurde auf der Basis des genormten Rollgeräuschspektrums nach [4] berechnet.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Messungen auf Bundesautobahnen

Die in-situ-Messungen zur Permeabilität wurden an sieben Messorten auf Bundesautobahnen durchgeführt. An den einzelnen Orten fanden die Standspur und der 1. Fahrstreifen Berücksichtigung. Auf dem 1. Fahrstreifen sind dabei die Rollspur und die Fahrstreifenmitte untersucht worden.

Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich bei Fahrbahnen mit älterer Liegezeit (ca. 6 Jahre) die Messwerte der Permeabilität in Querschnittsrichtung stark unterscheiden. So ist bei den älteren Fahrbahnen in der Rollspur ein weitaus geringerer Strömungswiderstand als auf dem Standstreifen beobachtet worden. Diese niedrigen Werte in der Rollspur bestätigen die in der Literatur erwähnte Reinigungswirkung durch Sog- und Druckeffekte beim Überrollen durch den Reifen.

Exakt an den zur Bestimmung der Permeabilität festgelegten Messstellen fand die in-situ-Messung des Schallabsorptionsvermögens statt. Bei Belägen älterer Liegezeit konnte ebenfalls eine starke Änderung des Absorptionsgrad-Frequenz-Verlaufs in Querschnittsrichtung der Fahrbahn verzeichnet werden.

3.2 Korrelation der Messergebnisse

Der Einfluss des "Airpumping Effekts" auf den Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} wurde anhand der Messung der Permeabilität der Fahrbahn (effektiver spezifischer Strömungswiderstand R'_s)

und Wasserdurchfluss q) berücksichtigt. Dazu ist die Korrelation des dekadischen Logarithmus vom effektiven spezifischen Strömungswiderstand R'_s und des dekadischen Logarithmus vom Reziproken des Wasserdurchflusses mit den Fahrzeuggeräuschpegeln L_{Veh} berechnet worden. Hierbei konnte ein besonders hoher Korrelationskoeffizient $\rho_{R'_s, L_{Veh,2}}$ für die Mikrofonposition $h_{L,2} = 2$ m und die Position des Strömungswiderstands-Messaufsatzes in der Rollspur des 1. Fahrstreifens ermittelt werden. Der Wert ist mit $\rho_{R'_s, L_{Veh,2}} = 0,97$ anzugeben.

Für den Wasserdurchfluss wurde ebenfalls in der Rollspur der höchste Korrelationskoeffizient ermittelt ($\rho_{R'_s, L_{Veh,2}} = 0,87$). Dieser Wert ist jedoch geringer als der für die Korrelation zwischen effektivem spezifischen Strömungswiderstand R'_s und Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} bestimmte. Die geringe Stichprobenanzahl (sieben Messorte) innerhalb dieser Untersuchungen sowie die Messunsicherheit beider Verfahren erlaubt dennoch keine eindeutige qualitative Bewertung der beiden Methoden.

Aufgrund der in den Untersuchungen dargestellten technischen Vorteile (z. B. gute Automatisierbarkeit, Gültigkeit des Gesetzes nach DARCY für höhere Strömungsgeschwindigkeiten, Abhängigkeit der Ergebnisse von der Restfeuchte im Asphalt) soll jedoch zur Bestimmung der Permeabilität der offenporigen Fahrbahn das Verfahren zur Messung des effektiven spezifischen Strömungswiderstands R'_s herangezogen werden.

Auf der Basis der in situ gemessenen Schallabsorptionsgrade und der Messwerte zur Schallausbreitung wurde eine Schalldruckpegelminderung $\Delta L_{p\alpha}$ durch Absorption bzw. eine Einfügungsdämpfung D_e der Fahrbahn berechnet. Für die auf diese Weise ermittelten "Einzahlangaben" ist anschließend die Korrelation mit den Fahrzeuggeräuschpegeln L_{Veh} bestimmt worden. Hierbei ergaben sich die höchsten Korrelationskoeffizienten in der Mitte des 1. Fahrstreifens. Der größte Korrelationskoeffizient für die Schalldruckpegelminderung durch Absorption betrug dabei $\rho_{\Delta L_{p\alpha}, L_{Veh,2}} = 0,92$. Der maximal beobachtete Korrelationskoeffizient für die Einfügungsdämpfung D_e ist mit 0,91 angebbbar.

Die auf der Basis der Schallabsorptionsgrade berechnete Schalldruckpegelminderung $\Delta L_{p\alpha}$ weist im Vergleich zur Einfügungsdämpfung D_e eine geringfügig höhere Korrelation mit den Fahrzeuggeräuschpegeln L_{Veh} auf. Wie schon bei den Verfahren zur Bestimmung der Permeabilität diskutiert, ist aufgrund der geringen Stichprobenanzahl innerhalb der durchgeführten Untersuchungen sowie infolge der Messungenauigkeiten der Verfahren keine eindeutige Aussage über die qualitative Einstufung der Methoden zu treffen. Da sich aber das Verfahren zur in situ-Bestimmung der Schallabsorption als sehr robust herausstellte und darüber hinaus zur Beurteilung von Fahrbahnbelägen genormt wurde, sollte dieses Verfahren für weitere Untersuchungen herangezogen werden.

Die Ergebnisse einer abschätzenden Berechnung sind wie folgt zusammenfassbar:

- Die Wirkung der beiden Hauptmechanismen der Lärminderung durch offenporige Asphalte, die Minderung des "Air-

pumping-Effekts" und die Schallabsorption des offenporigen Belags im Fern- und Nahfeld vom Reifen kann quantitativ als gleichrangig eingestuft werden.

- Für Werte der Strömungsresistenz $\Xi < \Xi_0$ verhält sich die Schalldruckpegelminderung indirekt proportional, der dekadische Logarithmus des effektiven spezifischen Strömungswiderstandes R'_s dagegen proportional zum Fahrzeuggeräuschpegel L_{Veh} .

4. Folgerungen für die Praxis

Aufgrund der in den hier dargestellten Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse müssen zur indirekten Bestimmung der lärmindernden Wirkung von offenporigen Asphalten zwei Verfahren, die Messung des effektiven spezifischen Strömungswiderstandes R'_s und die Bestimmung des Schallabsorptionsgrades α , gleichberechtigt Anwendung finden. Der effektive spezifische Strömungswiderstand R'_s muss dabei in der Rollspur des ersten Fahrstreifens gemessen werden. Die Bestimmung des Schallabsorptionsgrades α soll dagegen in der Mitte des 1. Fahrstreifens erfolgen.

Sollte sich bei Folgeuntersuchungen herausstellen, dass sich die gemessenen Werte für den effektiven spezifischen Strömungswiderstand R'_s und die Resultate für den Schallabsorptionsgrad α für alle Messorte als linear korreliert zeigen, kann zukünftig auf die Messung des Schallabsorptionsgrades verzichtet werden. In diesem Fall gilt für die vorgefundenen Strömungsresistenzen $\Xi < \Xi_0$.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN-ISO 11819-1: Akustische Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgläusche, Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren, Berlin: Deutsches Institut für Normung (Veranst.), 2001
- [2] DIN-EN 29053: Materialien für akustische Anwendungen – Bestimmung des Strömungswiderstandes. Berlin: Deutsches Institut für Normung (Veranst.) Mai 1993
- [3] DIN-EN-ISO 13472-1: Akustik-Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen vor Ort – Teil 1: Freifeldverfahren. Deutsches Institut für Normung (Veranst.), April 2004
- [4] DIN EN 1793-3: Lärmschutzeinrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum. Berlin: Deutsches Institut für Normung (Veranst.), 1997
- [5] ANSI 51.18 TEMPLATE METHOD FOR GROUND IMPEDANCE, Revision: 99, Chg: W/REAF. Mart 2004
- [6] STINSON, M.; DAIGLE, G.: Electronic system for the measurement of flow resistance. In Journal of the Acoustical Society of America 83 (1988), Nr. 6, S. 2422–2428

