

Berücksichtigung von Windgeräuschen bei der Lärmemission von Pkw

FA 2.224

Forschungsstelle: Akustik-Data, Berlin

Bearbeiter: Barsikow, B. / Hellmig, M.

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

Abschluss: September 2003

1. Aufgabenstellung und Untersuchungs- methodik

Ziel des vorliegenden Projekts ist es, den akustischen Schwerpunkt der seitlichen Schallemission von typischen Ausführungen einer Mittelklasse-Limousine, eines Van sowie eines Kleintransporters in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit zu bestimmen. Den Hintergrund zu dieser Untersuchung bildet die Vorstellung, dass sich bei schnellen Fahrzeugen mit größeren Höhenabmessungen, d. h. beispielsweise bei einem Van oder Kleintransporter, die Höhenkoordinate des Schwerpunkts auf Grund hoch liegender Schallquellen nach oben verschiebt; und zwar insbesondere zu Werten größer als 0,5 m über der Fahrbahn, wo der Emissionsort der Schallquellen in der zurzeit gültigen RLS-90 festgeschrieben ist. Dementsprechend wurden für die Versuchsfahrten ein Mercedes-Benz (MB) V 230 als typischer Van und ein MB-Sprinter 313 CDI als Vertreter der schnellen Kleintransporter angemietet. Des Weiteren fanden Vergleichsfahrten mit einer Mittelklasse-Limousine statt, nämlich einem VW Passat. Während mit dem VW Passat und dem MB V 230 Fahrten bei den Geschwindigkeitsstufen 80, 100, 120, 140, 160 und 180 km/h durchgeführt werden konnten, hat der MB Sprinter als Höchstgeschwindigkeit nur ca. 155 km/h erreicht.

Als Versuchsstrecke wurde das zum EuroSpeedway Lausitz gehörige Testoval benutzt, dessen Fahrbahnbelag am Messort aus Asphalt mit der Körnung 0/11 bestand. Die meteorologischen Bedingungen während der beiden Versuchstage im Oktober 2002 können trotz des böigen Winds am ersten Tag als zufrieden stellend bezeichnet werden, zumal es stets trocken war und gezeigt werden konnte, dass die Windverhältnisse des ersten Tages im Vergleich zu den Ergebnissen des Folgetages zu keiner Verfälschung der Messergebnisse geführt haben. Standardgemäß wurde die Gesamtemission der Fahrzeuge bei allen Vorbeifahrten mit einem Einzelmikrofon in 7,5 m Abstand von der Fahrzeugmitte und 1,2 m Höhe über der Fahrbahn dokumentiert. Zur Lokalisierung der individuellen Schallquellen und zur Bestimmung deren Höhenverteilung an den Versuchsfahrzeugen diente ein zweidimensionales Array aus 124 Mikrofonen, das so genannte Snowflake-Array.

Die 124 Mikrofone des Snowflake-Arrays sind nach einem Muster, das an die Struktur eines Eiskristalls erinnert, in einer Ebene von ca. 4 x 4 m verteilt und drei ineinander verschachtelten Unter-Arrays zugeordnet. Dadurch entstehen für den Gesamtarbeitsbereich des Arrays von 280 bis 4 500 Hz drei Frequenzbereiche mit nahezu konstantem Array-Auflösungsvermögen von beispielsweise 0,3 m bei einem Abstand von 2,5 m zum Messobjekt. Die Auswertung der Signale der Array-Mikrofone und mithin die Lokalisierung der Schallquellen an den Versuchsfahrzeugen erfolgte durch "phased-array beamforming" im Zeitbereich. Dabei wurde eine Vielzahl von Fokuspunkten mit einem Raster von 5 x 5 cm gebildet und die von jedem Fokuspunkt ausgehende Emission über die Zeit des Mit-

schwenkens des Fokus' mit der Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt. Der Fokusschwenk war mit + 15 ° in Fahrrichtung bezüglich der Array-Normalen festgelegt. Die Zuordnung der von den Array-Mikrofonen empfangenen Signale zur Position des jeweiligen Fahrzeugs geschah über die simultane Aufzeichnung eines Lichtschrankensignals. Die Array-Mikrofone und das Einzelmikrofon wurden täglich kalibriert.

Als Basisinformation liefert das Snowflake-Array für jede der insgesamt 83 Fahrzeugvorbeifahrten zweidimensionale Pegelverteilungen in verschiedenen Frequenzbändern sowie für den A-bewerteten Gesamtpegel. Beispiele für Verteilungen des A-bewerteten Pegels sind im Bericht für die Versuchsfahrzeuge bei ca. 80, 120 und 180 bzw. 155 km/h dargestellt; die Pegelverteilungen in den Frequenzbändern 280–1 120 Hz, 1 121–2 240 Hz und 2 241–4 500 Hz sowie des A-bewerteten Pegels für alle Vorbeifahrten sind einer dem Bericht beigelegten CD zu entnehmen. In diesen Verteilungen sind stets die Bereiche nahe den Radaufstandspunkten als Quellorte des Reifen/Fahrbahn-Geräuschs deutlich zu erkennen. Bei den höchsten Geschwindigkeiten wird außerdem als einzige kompakte aerodynamische Schallquelle der Seitenspiegel lokalisiert. Zum Nachweis der Ortungsgenauigkeit des Arrays wurden zusätzliche Vorbeifahrten der Limousine mit aufgeklebten Miniatur-Lautsprechern durchgeführt. Deren Emissionsspektren sowie die von den Radaufstandspunkten herrührenden Spektren sind im Bericht dargestellt, um zu demonstrieren, dass mit dem Snowflake-Array auch spektrale Informationen erhältlich sind.

Die im Bereich der Radaufstandspunkte in den zweidimensionalen Verteilungen ablesbaren Pegelmaxima wurden für jedes Fahrzeug getrennt nach Vorder- und Hinterachse einer linearen Regression unterzogen, um den Geschwindigkeitsexponenten dieser Geräuschkomponente zu bestimmen. Es ergeben sich Werte zwischen 2,0 und 3,3, wie sie für das Reifen/Fahrbahn-Geräusch erwartet werden. Des Weiteren wurden die im vorderen Radhaus des MB V 230 gemessenen Pegel analysiert, da hier ein hoher aerodynamischer Geräuschanteil vermutet wird. Bei einem dort bestimmten Geschwindigkeitsexponenten von 4,0 ist dies allerdings nicht nachzuweisen.

Zur Berechnung von Höhenverteilungen der Schallemission der Versuchsfahrzeuge wird zunächst das Vorgehen im Falle einer Messung mit einem zweidimensionalen Mikrofon-Array – wie mit dem Snowflake-Array – an einem Simulationsbeispiel erläutert. Hierbei ist die Gesamtemission eines mit 160 km/h am Array vorbeifahrenden Pkw durch sieben Punktschallquellen mit unterschiedlichen Quellstärken und -höhen modelliert. Die auf Grund der zweidimensionalen Pegelverteilung dieser Simulation berechnete vertikale Verteilung gibt exakt die Anteile der Quellen in den verschiedenen Höhen wieder. Folglich werden nach diesem Schema aus den gemessenen zweidimensionalen Verteilungen für jede Vorbeifahrt der Versuchsfahrzeuge die zugehörigen Höhenverteilungen der seitlichen Schallemission berechnet und anschließend für jedes Fahrzeug bei den einzelnen Geschwindigkeitsstufen gemittelt. Diese Verteilungen sind im Bericht nicht nur für den Gesamtfrequenzbereich von 280 bis 4 500 Hz wiedergegeben, sondern auch für die Teilfrequenzbereiche 280–560 Hz, 561–1 120 Hz, 1 121–2 240 Hz sowie 2 241–4 500 Hz. Die Verteilungen zeigen bei allen Fahrzeugen und Geschwindigkeiten in fast allen Frequenzbereichen das Reifen/Fahrbahn-Geräusch in ca. 10 cm Höhe über der Fahrbahn als ausgeprägte Pegelmaxima. Allerdings sind beim Van und beim Kleintransporter auch höher gelegene Geräusch-

teile erkennbar, die im Hinblick auf die Gesamtemission berücksichtigt werden müssen.

Auch für die Bestimmung der Höhenkoordinate des akustischen Schwerpunkts wird das bereits erwähnte Simulationsbeispiel verwendet. Insbesondere lässt sich hieran erkennen, dass die Rechnung mit Punktschallquellen bzw. einer daraus abgeleiteten Höhenverteilung für die Lage des Schwerpunkts keinen nennenswerten Unterschied ergibt. Insofern werden die akustischen Schwerpunkte der drei Versuchsfahrzeuge aus den gemittelten vertikalen Verteilungen des A-bewerteten Pegels durch Integration von der Fahrbahn bis zur Dachhöhe der Fahrzeuge berechnet.

2. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das Messergebnis zeigt, dass sich die Schwerpunkthöhe der Limousine deutlich von der des Van und Kleintransporters unterscheidet. Während diese Höhe bei der Limousine auf Grund des dominierenden Reifen/Fahrbahn-Geräuschs bei ca. 34 cm über der Fahrbahn liegt, bewirken die nicht mehr vernachlässigbaren, höher gelegenen Schallquellen beim Van und Kleintransporter, dass sich der akustische Schwerpunkt im Mittel in eine Höhe von etwa 60 bzw. 80 cm verlagert. Ferner ist je nach

Fahrzeug eine schwache bis deutliche Verschiebung des Schwerpunkts zu größerer Höhe mit steigender Geschwindigkeit zu beobachten. So nimmt die Schwerpunkthöhe beim MB-Sprinter im untersuchten Geschwindigkeitsbereich um 14 cm zu; beim VW Passat und beim MB V 230 beträgt diese Zunahme lediglich 3–4 cm und ist damit wahrscheinlich nicht signifikant.

Es ist festzuhalten, dass sich bei den beiden Fahrzeugen mit erheblicher Höhenabmessung, also beim Van und beim Kleintransporter, eine Höhe des akustischen Schwerpunkts oberhalb von 0,5 m ergibt. Insofern deutet sich für die Festlegung der Höhe des Emissionsorts in der RLS-90 ein Modifizierungsbedarf an.

Auf der anderen Seite konnte nur ansatzweise gezeigt werden, dass für die erhöhte Lage des Schwerpunkts aerodynamische Schallquellen verantwortlich sind und dass dies folglich ein Effekt bei höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten ist.

Es bleibt zu überprüfen, ob sich obige Aussagen für eine große Anzahl von Fahrzeugen bestätigen lassen. Des Weiteren ist zu klären, inwieweit das starke Reifen/Fahrbahn-Geräusch bei der Limousine das Ergebnis des auch bei hohen Geschwindigkeiten tief liegenden akustischen Schwerpunkts in untypischer Weise beeinflusst hat. □