

Verfahren zur direkten Messung der Geräuschemission von Straßen

Sebastian Kluth¹, Christian Schulze¹, Jörn Hübelt²

¹ Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH, 01307 Dresden, E-Mail: sebastian.kluth@akustikforschung.de

² Hochschule Mittweida – University of Applied Sciences, 09648 Mittweida, E-Mail: huebelt@hs-mittweida.de

Einleitung

Die Bestimmung der Geräuschemission von Fahrbahnbelägen erfolgt bisher nach dem Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt (SPB-Verfahren, [1]). Dieses Verfahren basiert auf der Messung des Schalldruckpegel-Zeitverlaufs einzelner vorbeifahrender Fahrzeuge. Um zu gewährleisten, dass die Einzelvorbeifahrten von anderen Fahrzeugen nicht beeinflusst werden, ist ein Mindestabstand zwischen den vorausfahrenden und nachfolgenden Fahrzeugen erforderlich. Aufgrund der zunehmenden Verkehrsdichte ist die statistisch geforderte Anzahl von Einzelvorbeifahrten jedoch kaum noch zu erreichen. Ziel eines Forschungsprojekts der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) war die Entwicklung eines neuen Mittelungspegel-Verfahrens, das trotz dichten Verkehrs einen Rückschluss auf die Geräuschemission des Fahrbahnbelags zulässt.

Mittelungspegel-Verfahren

Die Messgröße, die nach dem bisherigen Verfahren der statistischen Vorbeifahrt zur Beurteilung der Geräuschemission von Fahrbahnoberflächen herangezogen wird, ist der Schalldruckpegel-Zeitverlauf $L_{p,i}(t)$, der während der Vorbeifahrt eines Fahrzeugs i an einem Mikrofon im Abstand $7,5 \pm 0,1$ m von der Mitte des zu untersuchenden Fahrstreifens in einer Höhe von $1,2 \pm 0,1$ m über der Fahrbahnoberfläche auftritt. Der Schalldruckpegel-Zeitverlauf ist mit der Frequenzbewertung „A“ und der Zeitbewertung „FAST“ zu ermitteln. Die Geschwindigkeit v_i des Fahrzeugs muss im betrachteten Fahrbahnabschnitt konstant sein. Die das Mikrofon passierenden Fahrzeuge werden in verschiedene Kategorien (PKW, zweiachsiger LKW, mehrachsiger LKW) unterteilt, wobei zur Gewährleistung der statistischen Sicherheit für jede Kategorie eine Mindestanzahl gültiger Vorbeifahrten angegeben ist.

Eine gültige Vorbeifahrt ist nur bei technisch einwandfreien Fahrzeugen sowie unter der Voraussetzung gegeben, dass der Schalldruckpegel vor und hinter dem zu messenden Fahrzeug mehr als 6 dB unter dem maximal auftretenden Schalldruckpegel während der Vorbeifahrt des Fahrzeugs liegt. In dem betrachteten Zeitintervall darf daher kein anderes Fahrzeug den untersuchten Messabschnitt passieren, was die praktische Anwendung des genormten Verfahrens auf geringe bis mittlere Verkehrsdichten beschränkt.

Aus den Aufzeichnungen des Vorbeifahrtpegel-Zeitverlaufs $L_{p,i}(t)$ wird für jede Vorbeifahrt das Maximum $L_{p,i,max}$ ermittelt und für jede Fahrzeugkategorie als Funktion der logarithmischen Geschwindigkeit $\lg(v_i/(km/h))$ aufgetragen. Der Funktionswert der berechneten Regressionsgerade an der Stelle $\lg(v_{ref}/(km/h))$ ist der von der Fahrzeugkategorie und der Geschwindigkeitsklasse der

Straße (Referenzgeschwindigkeit v_{ref}) abhängige Fahrzeuggeräuschpegel $L_{p,veh}$. Zur Beurteilung der Geräuschemission der Fahrbahnoberfläche in einer Geschwindigkeitsklasse werden die Fahrzeuggeräuschpegel der Fahrzeugkategorien gewichtet und energetisch addiert. Der ermittelte SPB-Index kann schließlich mit dem eines Referenzbelags oder dem SPBI unterschiedlicher Prüfbeläge verglichen werden. Je niedriger der SPBI ist, desto geringer ist die Geräuschentwicklung des Fahrbahnbelags. In den „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ [2] wird zur Berücksichtigung des Einflusses der Fahrbahnoberfläche auf die Geräuschentwicklung an Straßen der D_{stro} Wert angegeben. Dieser berechnet sich direkt aus der Differenz des Fahrzeuggeräuschpegels der Kategorie 1 - Pkw ($v_{ref} = 120$ km/h) des Prüfbelags und des Referenzbelags. Letzterer ist in [3] mit 85,2 dB angegeben.

In Bild 1 ist das Prinzip des bisherigen SPB-Verfahrens (linker Pfad) dem des neuen Mittelungspegel-Verfahrens (rechter Pfad) gegenübergestellt. Beim Mittelungspegel-Verfahren werden keine Vorbeifahrtpegel-Zeitverläufe von Einzelvorbeifahrten, sondern der Vorbeifahrtpegel-Zeitverlauf $L_{p,mess}(t)$ der gesamten Verkehrssituation gemessen (vgl. Bild 2). Mit Hilfe eines geeigneten Schallausbreitungsmodells werden die Vorbeifahrtpegel-Zeitverläufe $L_{p,sim,i}(t)$ der einzelnen Fahrzeuge simuliert. Dafür ist es notwendig, für jedes Fahrzeug, das den zu untersuchenden Streckenabschnitt passiert die Fahrzeugkategorie, die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Fahrspur und den Zeitstempel beim Passieren eines definierten Kontrollpunktes zu erfassen. Die Simulation berücksichtigt insbesondere die Schallausbreitungseffekte Luftabsorption und geometrische Divergenz, Bodenreflexion mit Impedanzdiskontinuität nach [4] und Inkohärenz nach [5].

Durch zeitliche Ordnung und energetische Überlagerung der einzelnen simulierten Vorbeifahrtpegel-Zeitverläufe ergibt sich der Vorbeifahrtpegel-Zeitverlauf $L_{p,sim}(t)$ der gesamten Verkehrssituation. Mit Hilfe der Minimierung des Abstands zwischen gemessenem und simuliertem Vorbeifahrtpegel-Zeitverlauf der gesamten Verkehrssituation wird eine Fahrbahnbelagskorrektur ΔL_{Fb} ermittelt, die berücksichtigt, dass der Prüfbelag andere akustisch wirksame Eigenschaften (z. B. Textur, Schallabsorptionsgrad) besitzt als der überfahrene Fahrbahnbelag bei der messtechnischen Bestimmung der statistischen spektralen Schallleistung. Die Berechnung der Fahrbahnbelagskorrektur ΔL_{Fb} erfolgt über zwei verschiedene Ansätze:

- indirekte Bestimmung der Fahrbahnbelagskorrektur $\Delta L_{Fb,t}$ durch zeitabhängige Minimierung des Abstands zwischen simuliertem und gemessenem Vorbeifahrtpegel-Zeitverlauf mit Hilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate,

- direkte Bestimmung der Fahrbahnbelagskorrektur $\Delta L_{Fb,eq}$ durch Differenz der Energie von gemessenem und simuliertem Vorbeifahrtpegel-Zeitverlauf.

Der Fahrzeuggeräuschpegel $L_{p,veh}$ wird analog zum bisherigen SPB-Verfahren aus den Maxima der simulierten Vorbeifahrtpegel-Zeitverläufe $L_{p,sim,i}(t)$ bestimmt und anschließend mit der Fahrbahnbelagskorrektur ΔL_{Fb} addiert.

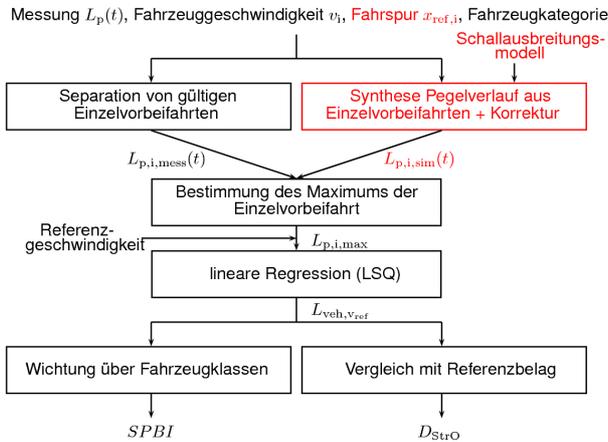


Abbildung 1: Vergleich von bisherigem SPB-Verfahren und neuem Mittelungspegel-Verfahren

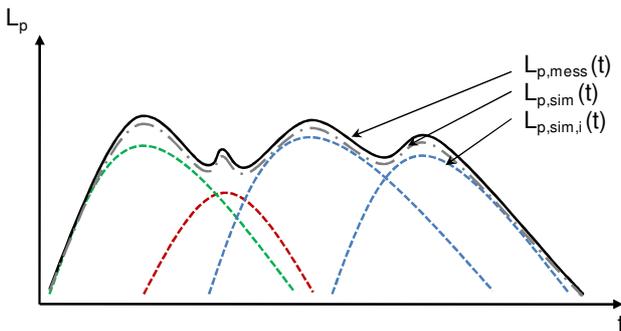


Abbildung 2: Prinzipieller Verlauf der zeitlich geordneten simulierten Vorbeifahrtpegel-Zeitverläufe der Einzelvorbeifahrten $L_{p,sim,i}(t)$, des daraus berechneten simulierten Vorbeifahrtpegel-Zeitverlaufs der gesamten Verkehrssituation $L_{p,sim}(t)$ sowie des gemessenen Vorbeifahrtpegel-Zeitverlaufs der gesamten Verkehrssituation $L_{p,mess}(t)$

Akustische Messungen

Zur Validierung des Schallausbreitungsmodells wurden messtechnische Untersuchungen an Fahrzeugen des fließenden Verkehrs auf einer Bundesstraße bei gleichzeitiger Anwendung des SPB-Verfahrens und des Mittelungspegel-Verfahrens durchgeführt. Die Bestimmung der Geschwindigkeit der Fahrzeuge erfolgte mit Laser-Lichtschranken. Da die Abweichungen zwischen dem mit beiden Verfahren bestimmten Fahrzeuggeräuschpegel für PKW mit 1,0 dB bzw. 2,3 dB für den praktischen Einsatz zu groß waren, wurden anhand der Ergebnisse auf der Bundesstraße Maßnahmen zur Verbesserung des Schallausbreitungsmodells untersucht. Dazu zählten die Berücksichtigung der Zeitbewertung FAST, die breitbandige Berechnung der Schallausbreitung, das Ausschneiden des Hintergrundgeräusches sowie die Optimierung des Inkohärenzansatzes. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Schallausbreitungsberechnung mit optimiertem Kohärenzfaktor

wesentlich zur Verbesserung der Ergebnisse des neu entwickelten Mittelungspegel-Verfahrens beiträgt. Bei vollständig inkohärenter Schallausbreitungsberechnung ($K = 0$) und gleichzeitiger Anwendung der Zeitbewertung FAST sowie ausgeschnittenem Hintergrundsignal verringert sich die Abweichung der Ergebnisse der beiden Verfahren auf -0,1 dB bzw. -0,6 dB. Ein wesentlicher Einfluss der breitbandigen Berechnung der Schallausbreitung konnte nicht nachgewiesen werden. Die Simulation mit frequenzabhängig optimiertem Kohärenzfaktor ($K(f > 1000 \text{ Hz}) = 0$) ergab eine weitere Reduzierung der Abweichung der Ergebnisse zwischen beiden Verfahren auf 0,4 dB bzw. 0,1 dB. Diese Werte liegen deutlich innerhalb der Wiederholpräzision des SPB-Verfahrens von < 1 dB.

Abschließend erfolgte die Verifikation des neuen Mittelungspegel-Verfahrens an Fahrzeugen des fließenden Verkehrs auf der Autobahn. Durch die wiederum direkte Gegenüberstellung der Ergebnisse des bisherigen SPB-Verfahrens und des Mittelungspegel-Verfahrens sollte die gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Verfahren für dichten Verkehr bestätigt werden. Durch Auswertung des Datenstroms einer Verkehrsbeeinflussungsanlage wurden die Geschwindigkeit und die Fahrzeugkategorie der Fahrzeuge bestimmt. Für die Fahrzeugkategorie PKW bestätigte sich das auf der Bundesstraße gefundene Optimum für die Bestimmung des Fahrzeuggeräuschpegels (energetischer Ansatz der Fahrbahnbelagskorrektur und Anwendung des optimierten Kohärenzfaktors). Die Abweichung zwischen den Ergebnissen der beiden Verfahren lag im Bereich von $\pm 0,1$ dB und ist damit deutlich kleiner als die für das SPB-Verfahren angegebene Wiederholpräzision von < 1 dB. Zudem erwies sich der energetische Ansatz zur Berechnung der Fahrbahnbelagskorrektur als robuster, da sich die Abweichung zwischen den Ergebnissen der beiden Verfahren mit der Erhöhung der Verkehrsdichte auf der Autobahn nahezu nicht veränderte.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 11819-1: Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche, Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. Mai 2002
- [2] RLS-90: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, Der Bundesminister für Verkehr, 1990
- [3] ARS 03/2009. Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, März 2009
- [4] HÜBELT, J.; SCHULZE, C.: Reflexion von Schall an seitlichen Hindernissen. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt FE 02.264/2005/LRB, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2007.
- [5] HEUTSCH, K: SonRoad - Neues Schweizer Straßenlärmmodell. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 52 (2005), Nr.6, November 2005

Diesem Paper liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE-Nr. 02.297/2008/LRB durchgeführten Forschungsarbeit zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.