

## Charakterisierung der Schallemissionen von Fahrzeugen innerorts

FA 2.290

Forschungsstelle: TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG.,  
Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität,  
Essen

Bearbeiter: Steven, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und  
Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: April 2009

- Abstand zwischen den Aufpflasterungen 250 m,
- Geschwindigkeit im Bereich der Aufpflasterungen 10 km/h,
- Zielgeschwindigkeit zwischen den Aufpflasterungen 30 und 50 km/h,
- Beschleunigungsverhalten von Pkw und SNfz unterschiedlich.

### 1 Aufgabenstellung

In den "Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen" (RLS-90) werden innerörtliche Prognosefälle nur pauschal behandelt. Insbesondere wird die Emission von Fahrzeugen nur geschwindigkeitsabhängig betrachtet und nicht fahrsituationsabhängig, was z. B. für Kreuzungsbereiche zielführender wäre. Für eine zukünftige Überarbeitung der RLS-90 erscheint eine realitätsnahe Einschätzung der Emissionen des innerörtlichen Verkehrsflusses wichtig, da diese auch für Prognosen im Innerortsbereich herangezogen wird. Für eine zukünftige Lärminderungsplanung und im Hinblick auf die in der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie geforderten Aktionspläne haben die Innerortsbereiche zunehmende Bedeutung, zumal in ihnen ca. 80 % der Bevölkerung leben.

Ziel des Vorhabens war die Ermittlung von realistischen Emissionsannahmen des Verkehrsflusses im Innerortsbereich. Nach der Vorhabenbeschreibung hatte der Auftraggeber folgende Arbeitsschritte vorgesehen:

1. Modellierung des Verkehrsflusses mit seinen geschwindigkeits- und fahrsituationsabhängigen Schallemissionen.
2. Berechnung von Schallimmissionen im innerörtlichen Bereich mit den Emissionsdaten des Verkehrsflussmodells auf der Grundlage von Verkehrserhebungen für eine freie Strecke zwischen zwei Kreuzungen, für eine Strecke mit geschwindigkeitsmindernden Maßnahmen (Aufpflasterungen), für eine Kreuzung ohne Lichtsignalanlage (LSA), für eine Kreuzung mit LSA sowie für einen Kreisverkehr.
3. Systemvergleich zwischen den einzelnen Szenarien und Ableitung von Bewertungsgrößen (vgl. Kreuzungszuschlag der RLS-90).

Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber wurden die o. g. Szenarien folgendermaßen modelliert:

Das Fahrverhalten im Bereich der Kreuzungen und des Kreisverkehrs wurde mit dem Verkehrssimulationsmodell VISSIM für eine Stunde mit 15 min Vorlauf bestimmt. Die zulässige Geschwindigkeit wurde mit 50 km/h angesetzt. Damit der Verkehr auf der unregelmäßigen Kreuzung nicht zusammenbricht, musste die Verkehrsbelastung gering gehalten werden (1157 Pkw und 57 Lkw). Unter Lkw werden hier Nutzfahrzeuge mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3 500 kg verstanden. Für die freie Strecke wurde vereinfachend eine konstante Geschwindigkeit angesetzt. Die Berechnungen wurden für 20, 30, 50, 70, 100 und 130 km/h durchgeführt, wobei die Höchstgeschwindigkeit der Lkw auf 87 km/h begrenzt wurde.

Zur Berechnung der Emissionen für das Fahrverhalten für eine Strecke mit Aufpflasterungen wurde folgendes Szenario verwendet:

Um unmittelbare Vergleichbarkeit mit den Kreuzungen und dem Kreisverkehrsplatz zu gewährleisten, wurden für die freie Strecke und die Aufpflasterungen dieselben Verkehrsbelastungen modelliert. Mit dem Geräuschemissionsmodell ROTRANOMO wurden zu den Geschwindigkeitsverläufen Beschleunigungen, Motordrehzahlen und Motorbelastungen und daraus Antriebs-, Roll- und Gesamtgeräusch als Vorbeifahrtpegel bestimmt. Diese wurden dann auf Mittelungspegel in 4 m Höhe und 25 m Abstand umgerechnet.

### 2 Emissionsberechnungen

#### 2.1 Verkehrsknoten

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden Geschwindigkeiten und Vorbeifahrtpegel klassiert und die Häufigkeitsverteilungen der klassierten Werte getrennt für Pkw und Lkw bestimmt. Die Verteilungen der Vorbeifahrtpegel entsprechen in der Tendenz den Geschwindigkeitsverteilungen und zeigen, dass die Kreuzung ohne LSA die höchsten Durchschnittswerte und die Kreuzung mit LSA die niedrigsten Durchschnittswerte (bei nicht so unterschiedlichen Spitzenwerten) aufweist.

Bei den Mittelungspegeln ergibt sich für Lkw unabhängig von der Fahrbahndeckschicht eine eindeutige Rangfolge: Am günstigsten ist der Kreisverkehr, am ungünstigsten die Kreuzung mit LSA. Auch bei den Pkw ist der Kreisverkehr am günstigsten, die Kreuzung ohne LSA ist jedoch für SMA 0/11 und ebenes Pflaster ungünstiger als die Kreuzung mit LSA. Die Unterschiede zwischen Pkw und Lkw erklären sich daraus, dass die Mittelungspegel der Pkw mit sinkender Geschwindigkeit stetig abnehmen, während die Mittelungspegel der Lkw unterhalb von 30 km/h mit sinkender Geschwindigkeit zunehmen. Damit sind die Unterschiede zwischen den Knoten abhängig vom Lkw-Anteil. Die Standardabweichungen der Geschwindigkeiten zeigen plausible Werte. Die geringsten Standardabweichungen weist der Kreisverkehr auf.

Die getrennte Auswertung von Pkw und Lkw ermöglichte es, die Unterschiede zwischen den Verkehrsknoten in Abhängigkeit vom Lkw-Anteil zu bestimmen.

#### 2.2 Freie Strecke und die Aufpflasterungen

Wie bereits erwähnt, wurden für die freie Strecke konstante Fahrgeschwindigkeiten angenommen. Dies entspricht nicht ganz der Realität, in der die freie Strecke in bebauten Gebieten kaum vorkommt, stellt aber hinsichtlich der Verkehrssituationsabhängigkeit der Geräuschemission den „Best Case“ dar. Bei den Pkw steigen die Mittelungspegel mit der Geschwindigkeit kontinuierlich an, wobei der Anstieg beim Drainasphalt geringer ausfällt als bei SMA und Pflaster. Bei den Lkw gibt es Anstiege mit der Geschwindigkeit ab 40 km/h aufwärts, die aber geringer ausfallen als bei den Pkw, insbesondere beim Drainasphalt. Zwischen 30 und 40 km/h sind die spezifischen Mittelungspegel der Lkw nahezu konstant, unterhalb von 30 km/h steigen sie dagegen mit abnehmender Geschwindigkeit an. Dies ist darauf

zurückzuführen, dass Lkw geringere Drehzahlspannen zwischen Leerlauf und Nenndrehzahl und eine höhere Anzahl von Getriebestufen aufweisen als Pkw.

Bei Pkw und Lkw kommt es in den Beschleunigungsphasen unmittelbar nach den Aufpflasterungen zu Geräuscherhöhungen gegenüber der freien Strecke, bei Lkw sogar auch während der Verzögerungsphasen vor den Aufpflasterungen.

Die Emissionen bei den Verkehrsknoten und bei den Aufpflasterungen sind höher als bei freier Strecke und gleicher Geschwindigkeit und die Erhöhungen gegenüber der freien Strecke sind bei den Lkw größer als bei den Pkw.

Eine vertiefende Analyse zeigt, dass die Erhöhungen gegenüber der freien Strecke mit zunehmender relativer Standardabweichung (Standardabweichung/Mittelwert) der Geschwindigkeit zunehmen. Dies erklärt auch die relativ günstigen Ergebnisse für die Aufpflasterungen mit Tempo 30, bei denen die Standardabweichung der Geschwindigkeit nur halb so groß ist wie bei den Aufpflasterungen mit Tempo 50.

### 2.3 Validierung der Ergebnisse mit den Ergebnissen von Geschwindigkeitsverläufen aus Messungen im realen Straßenverkehr

Aus einer Reihe von Untersuchungen zum Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen liegen Geschwindigkeitsverläufe von Pkw und Lkw aus Messungen im realen Straßenverkehr mit Informationen zur Fahrstrecke vor, die für freie Strecken und Kreuzungsbereiche separiert werden konnten. Diese wurden ebenfalls als Eingangsdaten für ROTRANOMO zur Bestimmung der spezifischen Mittelungspegel verwendet. Die Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen.

In einem weiteren Schritt sollte der Einfluss der relativen Standardabweichung noch eingehender untersucht werden. Dazu wurden die In-Use-Daten in Mikrotrips aufgeteilt, für die dann jeweils die Durchschnittsgeschwindigkeit, die relative Standardabweichung und die spezifischen Mittelungspegel bestimmt wurden. Bei dieser Vorgehensweise ergibt sich eine erheblich höhere Stichprobenanzahl. Um den Einfluss unmittelbar sichtbar zu machen, wurden die relativen Standardabweichungen in Klassen eingeteilt und dann für diese die spezifischen Mittelungspegel über der Durchschnittsgeschwindigkeit dargestellt.

Der Einfluss der relativen Standardabweichung der Geschwindigkeit ist eindeutig. Je höher bei gleicher Durchschnittsgeschwindigkeit die relative Standardabweichung, desto höher sind die Mittelungspegel. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch für leichte Nutzfahrzeuge und Lkw unter 7,5 t zulässige Gesamtmasse erhalten.

## 3 Immissionsberechnungen

### 3.1 Verkehrsknoten

Für die Verkehrsknoten und die Aufpflasterungen wurden auch Immissionsberechnungen durchgeführt. Für den Vergleich zwischen einer Kreuzung ohne LSA, einer Kreuzung mit LSA und einem Kreisverkehr wurden die Emissionsdaten als Punktquellen entlang der Fahrstreifen interpretiert. Vom Zentrum des Verkehrsknotens aus wurden Emissionen bis in 250 Meter je Richtung einbezogen. Die Berechnung erfolgte getrennt für die Kreuzung mit LSA, die Kreuzung ohne LSA und den Kreisverkehr jeweils für die Fahrbahndeckschichten SMA 0/11, ebenes Pflaster und zweilagiger OPA 0/8.

Die Emissionspunkte wurden als Punktquellen 0,5 m über dem Gelände modelliert, um die Quellhöhe der RLS-90 abzubilden.

Das Gelände im betrachteten Gebiet wurde als eben und reflektierend angenommen. Da Punktquellen in den RLS-90 nicht vorgesehen sind und die Berechnung daher nicht nach RLS-90 erfolgen konnte, wurde die Ausbreitungsrechnung nach ISO 9613-2 durchgeführt. Es wurde eine Mitwindsituation angenommen. Dabei wurden Abschirmung und Reflexion der umliegenden Bebauung einbezogen.

Da die Berechnungen für sämtliche Varianten im selben Ausbreitungsmodell unter identischen Bedingungen erfolgten und hier nur die sich aus der Emissionsänderung ergebenden Differenzen betrachtet werden sollten, sind die Auswirkungen der Verwendung der ISO 9613-2 gegenüber der RLS-90 für die hier gemachten Betrachtungen zu vernachlässigen. Für sämtliche Varianten wurde ein Gebiet von 400 x 400 m berechnet, in dessen Mitte die Kreuzung/der Kreisverkehr liegt. Die Immissionshöhe der Berechnung betrug 4 m.

Als Eingangsdaten wurden die Emissionspegel aus der VIS-SIM-ROTRANOMO-Simulation verwendet, die mit Lagekoordinaten versehen waren. Als Bebauungsschema für die Immissionsberechnung der Verkehrsknoten wurde eine lockere Blockbebauung verwendet. Die Ergebnisse bestätigen erwartungsgemäß die Ergebnisse der Emissionsberechnung, verdeutlichen aber darüber hinaus die räumliche Wirkung.

### 3.2 Aufpflasterungen

Für den Vergleich zwischen freier Strecke und Strecke mit Aufpflasterungen lagen die Emissionsdaten als kurze Straßenabschnitte vor. Insgesamt wurde eine Straße von 750 m Länge betrachtet. Die Berechnung erfolgte für die Strecke mit Aufpflasterung und ohne Aufpflasterung getrennt für die Höchstgeschwindigkeiten von 30 km/h und 50 km/h jeweils für die Fahrbahndeckschichten SMA 0/11, ebenes Pflaster und zweilagiger OPA 0/8.

Die Straßenabschnitte wurden als zweistreifige Straßen nach RLS-90 mit einer Fahrbahnbreite von 3,5 m modelliert. Die Ausbreitungsrechnung erfolgte nach RLS-90 unter Einbeziehung der Abschirmung und Reflexion der umliegenden Bebauung. Die Emissionshöhe lag nach den Vorgaben der RLS-90 0,5 m über dem Gelände. Das Gelände im betrachteten Gebiet wurde als eben angenommen. Die Immissionshöhe der Berechnung betrug 4 m. Als Bebauungsschema für die Immissionsberechnung der Aufpflasterungen wurde die Blockbebauung für die Verkehrsknoten modifiziert.

Bei Tempo 30 kommt es im Bereich der Aufpflasterungen zu Geräuscherhöhungen, die bei SMA 0/11 etwa 2 dB(A) (im Nahbereich bis zu 3 dB(A)) betragen. Bei doppellagigem OPA 0/8 sind die Minderungen stärker und umfassen einen größeren Bereich. Wenn die gesamte Strecke in ebenem Pflaster ausgeführt ist, ist die Geräuscherhöhung an den Aufpflasterungen praktisch nicht signifikant.

Bei Tempo 50 ergibt sich ein anderes Bild. Hier kommt es bei SMA 0/11 an den Aufpflasterungen zu Geräuschkinderungen von etwa 2 dB(A) (im Nahbereich bis zu 3 dB(A)), die wegen der längeren Verzögerungs- und Beschleunigungsstrecken einen etwas größeren Bereich umfassen als die Geräuscherhöhungen bei Tempo 30. Wenn die gesamte Strecke in ebenem Pflaster ausgeführt ist, erstrecken sich die Minderungen über einen größeren Bereich als bei SMA 0/11. Bei doppellagigem OPA 0/8 kommt es an den Aufpflasterungen dagegen zu Geräuscherhöhungen von bis zu 3 dB(A), im unmittelbaren Nahbereich auch über 3 dB(A).

### **4 Systemvergleich zwischen den einzelnen Szenarien und Ableitung von Bewertungsgrößen**

Zunächst einmal muss erwähnt werden, dass es deutliche Unterschiede im Emissionsverhalten zwischen Pkw und Lkw gibt. Bei Pkw ergeben sich für die freie Strecke mit Tempo 50 die höchsten Emissionen im Vergleich zu den Verkehrsknoten und den Aufpflasterungen. Beim zweilagigen offenporigen Asphaltbeton sind die Kreuzung mit LSA und die Aufpflasterung bei Tempo 50 geräuschkäufig ungünstiger als die freie Strecke. Bei den Lkw ist die Geräuschemission bei freier Strecke mit Tempo 50 überwiegend niedriger als bei den Aufpflasterungen und den untersuchten Verkehrsknoten. Lediglich bei ebenem Pflaster auf der gesamten Strecke ist die Aufpflasterung bei Tempo 30 günstiger als die freie Strecke mit Tempo 50.

Das bedeutet, dass die Unterschiede zwischen den Szenarien vom Lkw-Anteil und von der Fahrbahndeckschicht abhängen. Für den Vergleich Kreuzung mit LSA und Kreisverkehr können hinsichtlich des Lkw-Anteils pauschalierte Differenzen angegeben werden:

- -2 dB(A) bei zweilagigem offenporigem Asphalt,
- -1,5 dB(A) bei SMA 0/11,
- -1 dB(A) bei ebenem Pflaster.

Leider ist dies für den Vergleich Kreuzung ohne LSA und Kreuzung mit LSA nicht möglich. Hier variieren die Unterschiede bei SMA von +1 dB(A) für die Kreuzung ohne LSA gegenüber der Kreuzung mit LSA bei reinem Pkw-Verkehr bis zu -2 dB(A) bei 25 % Lkw-Anteil. Beim ebenen Pflaster ergeben sich Werte von +1,5 dB(A) bis -1,5 dB(A).

Beim zweilagigen Drainasphalt ergeben sich analog Werte von -1 dB(A) bis -3 dB(A). Diese Angaben beziehen sich auf die mittleren Emissionen über den gesamten berücksichtigten Streckenverlauf.

Im Bericht sind auch räumliche Angaben über die Vergleiche angegeben, die mithilfe der Ergebnisse der Immissionsberechnungen gewonnen wurden.