

# DEUFRAKO: Vorhersage und Ausbreitung von Rollgeräuschen (P2RN)

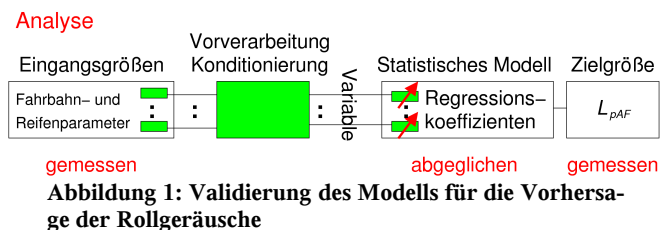
Bettina Droste, Markus Auerbach

Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, Deutschland, Email: droste@bast.de

## Einleitung

Bei diesem Projekt kooperieren deutsche und französische Institute und Firmen unter der Leitung des „Laboratoire Central des Ponts et Chaussées“ (LCPC) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), um neue Konzepte für die Optimierung von Fahrbahnoberflächen hinsichtlich des Reifen-Fahrbahngeräusches zu erstellen. Dabei dient das von Müller BBM, einem der Projektpartner, mitentwickelte SPERoN („Statistical Physical Explanation of Rolling Noise“) Modell erstmals als Tool für das Design neuer, lärmarmen Fahrbahnoberflächen. Das Modell wird in einem ersten Schritt mit französischen Fahrbahnbelägen validiert, um in einem zweiten Schritt neue Texturen für lärmarme Straßenbeläge zu entwickeln. Diese Ergebnisse dienen dann als Input für Schallausbreitungsmodelle, die in Frankreich und Deutschland entwickelt wurden, um die Wirkung dieser neuen Fahrbahnbeläge im Fernfeld zu untersuchen. Diese Ergebnisse fließen in ein Ranking mit anderen typischen französischen und deutschen Fahrbahnoberflächen und führen zu einer gemeinsamen Datenbank (DEUFRABASE). Die Betrachtung der Schallausbreitung im Fernfeld ist wichtig hinsichtlich der Umweltbelastung, hier sei beispielsweise die europäische Umgebungslärmrichtlinie genannt, wohingegen die Betrachtung des Schallfeldes im Nahfeld für die Einordnung der Fahrbahnbeläge in Straßenbelagsklassen notwendig ist.

## Vorhersage des Rollgeräusches

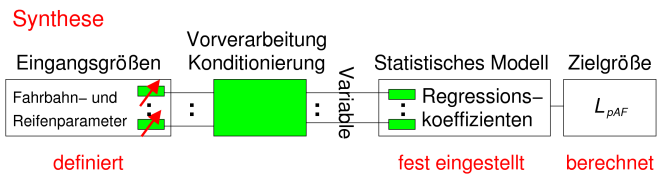


SPERoN [1] ist ein Hybrid-Modell, das ein physikalisches Modell mit einem statistischen Modell kombiniert. Als Eingangsdaten werden Fahrbahnparameter wie Textur und Strömungswiderstand sowie Reifenparameter benötigt. Mit der gemessenen Zielgröße, dem Vorbeifahrtpegel, können nun die Regressionskoeffizienten angepasst und somit das Modell validiert werden (Abbildung 1). In einem zweiten Schritt werden nun die Eingangsparameter, in diesem Fall die Fahrbahnparameter variiert und der Vorbeifahrtpegel berechnet (Abbildung 2).

Insgesamt wurden drei Beläge entwickelt bzw. optimiert:

- konventionelle Oberfläche mit Quarzgestein (Durchmesser 4-6 mm)
- Oberfläche mit Glaskugeln (Durchmesser 5 mm)

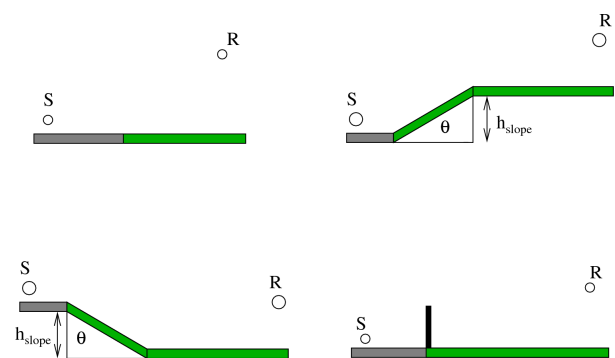
- Oberfläche mit definierter Textur: die Oberfläche wird während des Verdichtungsvorgangs mit einer definierten Struktur versehen



Ein Hauptziel dieses Teilprojektes ist es, geeignete Materialien, Konstruktionsmethoden und Maschinen zu finden, um diese neuen Fahrbahnoberflächen kontrolliert und reproduzierbar auf kurzen Teststrecken zu realisieren. Hierfür entwerfen die französischen Straßenbauunternehmen Colas und Eiffage Asphaltmischungen, stellen Muster her und bauen die neuen Beläge schließlich auf kurzen Teststrecken in Lyon ein.

## Ausbreitung des Rollgeräusches

Um eine große Anzahl von Straßentopographien zu simulieren wird ein Benchmark erstellt. Insgesamt werden vier Geometrien (Abbildung 3) mit unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit (Bodenimpedanz) und unterschiedlichen Entfernungen zwischen Quelle und Empfänger ausgewählt, so dass die Schallausbreitung für insgesamt zehn Fälle mit analytischen (Rasmussen) und numerischen Modellen (BEM, PE) berechnet wird.



**Abbildung 3: Geometrien der Testfälle, S: Quelle, R: Empfänger,  $\theta$ : Steigungswinkel**

Für alle Konfigurationen, die berechnet werden, wird die Bodenimpedanz für dichte Beläge mit Hilfe des Modells von Delany und Bazley [3] ( $\sigma$ ) bzw. für poröse Beläge mit Hilfe des phänomenologischen 3-Parameter Modells [4] berechnet ( $\sigma$ ,  $\Omega$ ,  $K$ ). Folgende Werte werden dabei angenommen:

- für Gras:  $\sigma=200 \text{ kNsm}^{-4}$

- für dichten Asphalt:  $\sigma=300\ 000\ \text{kNsm}^{-4}$
- für porösen Asphalt:  $\sigma=10\ \text{kNsm}^{-4}$ ,  $\Omega=25\%$ ,  $K=3,5$

dabei sind  $\sigma$ : Strömungswiderstand,  $\Omega$ : Porosität,  $K$ : Tortuosität. Die Lufttemperatur ist für die Berechnungen auf  $20^\circ\text{C}$  festgelegt und die Quelle befindet sich immer 5 cm über der Fahrbahn.

In einem ersten Schritt werden mit diesen Berechnungen die unterschiedlichen Schallausbreitungsmodelle abgeglichen. Hierfür werden die Ergebnisse immer relativ zur freien Ausbreitung (Dämpfung) betrachtet, so dass die Ergebnisse unabgänglich von der Quellstärke sind. In einem zweiten Schritt werden diese berechneten Dämpfungen als Input für die Berechnung des Schallmittelungspegels und somit auch zur Erstellung des Ranking von typischen deutschen und französischen Fahrbahnbelägen benutzt.

**Prinzip der Berechnung des Schallmittelungspegels LA<sub>eq</sub>**

Für die Berechnung des Mittelungsschallpegels LA<sub>eq</sub> wird ein Verfahren angewandt, dass in Frankreich entwickelt wurde [2]. Als Eingangsparameter werden der Vorbeifahrtpegel, die Dämpfung in Abhängigkeit der Topographie, des Untergrundes und der Meteorologie (entspricht der berechneten Dämpfung vom Benchmark) sowie die Verkehrsstärke gebraucht.



**Abbildung 4:** Prinzip der Prozedur zur Berechnung des LA<sub>eq</sub>

Abbildung 4 zeigt das Prinzip der Prozedur zur Berechnung des LA<sub>eq</sub>. Zuerst wird aus dem Vorbeifahrtpegel LA<sub>max</sub> (gemessen) der LA<sub>eq</sub> für ein Fahrzeug beim Referenzempfänger E<sub>ref</sub> mit der Entfernung D<sub>ref</sub> von der Quelle über einen Zeitraum T (in der Regel eine Stunde) mit der Geschwindigkeit v<sub>ref</sub> berechnet:

$$LA_{eq}, T(v_{ref}) = LA_{max} * v_{ref} + 10 \log \frac{\pi D_{ref}}{v_{ref} T} \quad [\text{dB(A)}] \quad (1)$$

In einem weiteren Schritt wird nun der LA<sub>eq</sub> für ein Fahrzeug in einer Entfernung D<sub>mess</sub> wie folgt berechnet:

$$LA_{eq}, T(v, D) = LA_{eq}, T(v_{ref}) + \text{Dämpfung} \quad [\text{dB(A)}] \quad (2)$$

Diese Berechnungen werden sowohl für PKW als auch für LKW durchgeführt. Um nun den LA<sub>eq</sub> in Abhängigkeit der Verkehrsstärke für jede Stunde zu berechnen, müssen die in Gl. 2 berechneten LA<sub>eq</sub>, T(v, D) noch energetisch aufsummiert werden:

$$LA_{eq}(T) = 10 \log \left( \frac{1}{T} (n_{PKW} * 10^{0,1 LA_{eq}(PKW)} + n_{LKW} * 10^{0,1 LA_{eq}(LKW)}) \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (3)$$

Anschließend wird noch der L<sub>den</sub> aus den Mittelungspegeln der einzelnen Tageszeiten wie folgt berechnet:

$$L_{den} = 10 \log \left( \frac{12}{24} * 10^{0,1 L_d} + \frac{4}{24} * 10^{0,1 (L_e + 5)} + \frac{8}{24} * 10^{0,1 (L_n + 10)} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (4)$$

Tabelle 1 zeigt am Beispiel einer flachen Geometrie (Abstand Quelle-Empfänger: 200 m) mit Impedanzdiskontinuität den L<sub>den</sub> für typische deutsche Fahrbahnbeläge. Für den Verkehr werden folgende Annahmen gemacht: zwei Fahrspuren je Richtung, insgesamt 40 000 Fahrzeuge, davon 10% LKW. Der Tagesgang des Verkehrsaufkommens entspricht dem eines Werktages: Maxima morgens und abends bei PKW (Berufsverkehr), sowie mittags bei LKW.

Belag	L <sub>den</sub> in dB(A)
ZWOPA 0/8	35,8
OPA 0/8	36,7
SMA 0/8 LA	36,8
SMA 0/5 LA	36,9
SMA	38,8
SMA 0/11 S	39,1
GA 0/5 LA	39,1
SMA 0/8 S	39,2
ZBJT	40,1
WB 0/8	40,1
GA 0/5	40,2
ZBKR	40,4
WB 0/5	40,8

**Tabelle 1:** L<sub>den</sub> für typische deutsche Fahrbahnbeläge: flache Geometrie, Entfernung Quelle-Empfänger 200 m, Impedanzdiskontinuität

Es zeigt sich, dass bei den typischen Fahrbahnbelägen ähnlich wie im Nahfeld der Einfluss der Fahrbahnoberfläche groß ist. Durch die Wahl eines geeigneten Belages kann der Mittelungspegel über einen gesamten Tag L<sub>den</sub> um bis zu 5 dB gesenkt werden.

**Literatur**

[1] Beckenbauer, T., Kropp, W.: Research network "Quiet road traffic". Final report of project TP 3114 – Computational models – Hybrid-Model SPERoN

[2] Bérengier, M., Pichaud, Y., Le Fur, J.-F.: Effect of low-noise pavements on traffic noise propagation over large distances: influence of ground and atmospheric conditions, Internoise 2000, Nice, France, 2000

[3] Delany, M. E., Bazley, E. N.: Acoustical properties of fibrous absorbent materials, Applied acoustics, 3 (1970), 105-116

[4] Hamet, J. F., Bérengier, M.: Acoustical characteristics of porous pavements: a new phenomenological model, Internoise 93, Leuven, Belgium, 1993