

## Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

FA 2.331

Forschungsstelle: Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH

Bearbeiter: Schulze, C. / Kluth, S. / Ruhnau, M. / Hübel, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Januar 2014

### 1 Problem und Lösungsweg

Ein aktuelles Problem der modernen Zeit stellt der zunehmende Verkehrslärm aufgrund kontinuierlich steigender Verkehrsstärken dar. Der Fokus primärer Schallschutzmaßnahmen liegt auf der Lärminderung in unmittelbarer Nähe der Schallquelle. Im konkreten Fall des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs ist die Schall-emission im Bereich der Kontaktstelle zwischen Reifen und Straße besonders von der Fahrbahnoberfläche und den Reifeneigenschaften abhängig.

Der Fokus der Untersuchungen lag auf der schalltechnischen Bewertung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs unter Berücksichtigung der Fahrbahneigenschaften. In den letzten Jahren werden verstärkt sogenannte Dünnschichtbeläge eingebaut. Diese verursachen meist niedrigere Einbaukosten, kürzere Einbauzeiten und ermöglichen folglich eine raschere Befahrbarkeit. Dünnschichtbeläge können gegenüber standardmäßig eingesetzten Fahrbahnbelägen (zum Beispiel Splitt-Mastix-Asphalt (SMA)) Pegelminderungen von ca. 3 bis 5 dB(A) bei gleichzeitig gewährleitetem guter Griffbarkeit bewirken.

Innerhalb der Untersuchungen sollte daher der Kenntnisstand über die akustische Wirkungsweise von verschiedenen Dünnschichtbelägen erweitert werden. Dazu sind akustische Messungen des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs nach dem Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt gemäß [DIN EN ISO 11819:1, 2002] an 14 Messstrecken (sieben verschiedene Fahrbahnbeläge à zwei Messstrecken) durchgeführt worden.

Parallel zu den akustischen Messungen erfolgten messtechnische Untersuchungen von verschiedenen physikalischen Fahrbahnparametern, die erwartungsgemäß einen direkten Einfluss auf die Entstehung und die Ausbreitung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs haben. Dazu zählen vor allem die Textur, der effektive spezifische Strömungswiderstand sowie der Schallabsorptionsgrad.

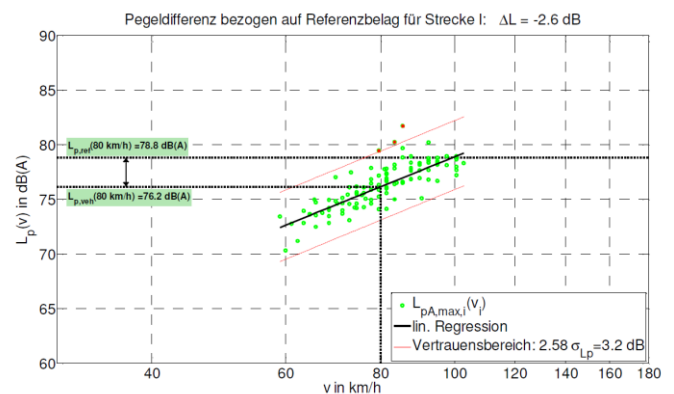
Die gemessenen physikalischen Parameter der Fahrbahn sollten anschließend als Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise) verwendet werden. Mithilfe von SPERoN kann der Immissions-schalldruckpegel seitlich der Fahrbahn prognostiziert werden, der durch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch verursacht werden würde. Durch diese Untersuchungen sollte geprüft werden, ob es durch Anwendung von SPERoN möglich ist, den Einfluss der physikalischen Fahrbahnparameter auf den Immissions-schalldruckpegel abzubilden.

## 2 Messverfahren

### 2.1 Akustische Messungen

Zur Bestimmung der Geräuschemission von Fahrbahnoberflächen kann das in DIN EN ISO 11819-1 genormte Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt (SPB-Verfahren) herangezogen werden. Die messtechnischen Untersuchungen erfolgten normgemäß. Insbesondere wurde darauf geachtet, dass die Anforderungen an den Abstand zwischen Mikrofon und Fahrstreifenmitte sowie an die akustischen Eigenschaften der Fläche zwischen dem zu messenden Fahrstreifen und dem Mikrofon erfüllt sind. In den "Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen" [RLS-90, 1992] wird zur Berücksichtigung des Einflusses der Fahrbahnoberfläche auf die Geräuschentwicklung an Straßen der  $D_{Stro}$ -Wert angegeben. Dieser berechnet sich aus dem Fahrzeuggeräuschpegel  $L_{p,veh}$  der Fahrzeugkategorie Pkw (vgl. Bild 1) über:

$$D_{Stro} = L_{p,Pkw,Prüfbelag} - L_{p,Pkw,Referenzbelag}$$



**Bild 1:** Bestimmung des Fahrzeuggeräuschpegels durch Ermittlung des Funktionswertes der Regressionsgeraden durch die geschwindigkeitsabhängigen Maxima der Vorbeifahrt-Zeitverläufe aller gültigen Einzelvorbeifahrten

Die Anwendung des Verfahrens der Statistischen Vorbeifahrt erfordert Freifeldbedingungen in lateraler Richtung zur Fahrbahn. Diese sind in der Praxis, besonders innerorts, nicht immer vorzufinden. Um die Einsatzmöglichkeit des prinzipiellen Verfahrens zu erweitern, wurde die sogenannte "Backing-Board"-Methode als modifiziertes SPB-Verfahren entwickelt [ISO/PAS 11819-4, 2011]. Bei diesem Verfahren wird das Mikrofon direkt vor einer rechteckigen schallharten Fläche angebracht. Dadurch wird beispielsweise von Häuserwänden hinter dem Mikrofon reflektierter Schall unterdrückt. Aufgrund der Verdopplung des Schalldrucks steigt der Schalldruckpegel unmittelbar vor dem "Backing-Board" um 6 dB(A). Diese Pegelerhöhung kann anschließend rechnerisch korrigiert werden.

### 2.2 Messungen der Fahrbahnparameter

Nach [DIN ISO 13473-2, 2004] besitzen die Makro- und Megatextur einen maßgeblichen Einfluss auf die Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs. Dies entspricht einem Bereich der Texturwellenlänge von 0,5 bis 50 mm beziehungsweise von 50 bis 500 mm. Die Texturwellenlänge beschreibt die Periodizität

ten eines Texturprofils in Anlehnung an den Begriff der Wellenlänge im physikalischen Sinne und lässt sich durch örtliche Fourier-Transformation aus zweidimensionalen Profilen der Fahrbahnoberfläche bestimmen.

Innerhalb der Untersuchungen erfolgte die messtechnische Bestimmung von jeweils elf parallel nebeneinander verlaufenden Texturprofilen über eine Länge von 2 m und einem seitlichen Abstand zueinander von 1 cm an jeweils drei Messpositionen je zu untersuchender Fahrbahnoberfläche durch Einsatz eines 3-D-Laser-Profilometers.

Neben der spektralen Texturwellenlänge lassen sich aus den gemessenen Rauigkeitsprofilen nach DIN ISO 13473-2 weitere Texturgrößen ermitteln. Dazu zählen:

- die mittlere Profiltiefe (MPD),
- der quadratische Mittelwert der Texturtiefe (RMS) und
- die geschätzte mittlere Texturtiefe (ETD).

In [Beckenbauer, 2002] wurde eine weitere Texturgröße, der sogenannte Gestaltfaktor  $g$ , in Zusammenhang mit der Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs gebracht. In [Beckenbauer, 2002] wird angegeben, dass ein größerer Wert des Gestaltfaktors (konkaves Profil) zu einer geringeren Schallemission im Bereich des Reifen-Fahrbahn-Kontakts führt.

Der Strömungswiderstand zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche besitzt einen direkten Einfluss auf das Airpumping und damit auf den aeroakustischen Anteil des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs. Die Bestimmung des Strömungswiderstands in situ wird in Anlehnung an [DIN EN 29053, 1993] durchgeführt. Abweichend zur Norm kommt ein spezieller zylinderförmiger Aufsatz zum Einsatz (vgl. [Hübelt, 2005] und Bild 2).



**Bild 2:** messtechnische Bestimmung des effektiven spezifischen Strömungswiderstands der Fahrbahnoberfläche mit Messsystem AFD – 300 AcoustiFlow®

Weist der Schallabsorptionsgrad der Fahrbahnoberfläche einen Wert kleiner 0,15 auf, ist die Messung der Schallabsorptionsei-

genschaften mithilfe des sogenannten Impedanzrohr-Verfahrens gemäß [DIN ISO 13472-2, 2010] durchzuführen. Dazu kann das Messsystem AFD 1000 – AcoustiTube® der Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH eingesetzt werden (vgl. Bild 3).

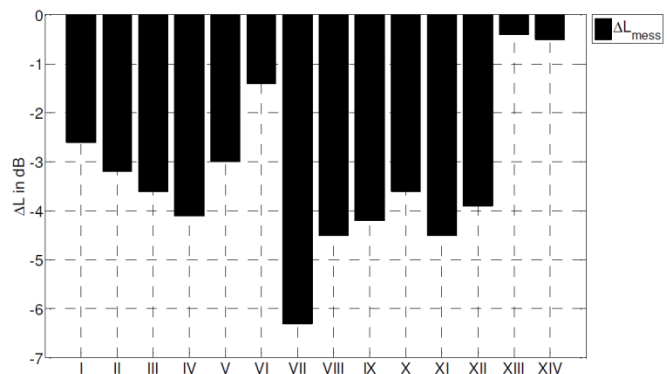


**Bild 3:** messtechnische Bestimmung des Schallabsorptionsgrads auf Basis des Impedanzrohr-Verfahrens mit dem Messsystem AFD 1000 – AcoustiTube®

### 3 Messergebnisse

Geräuschemission:

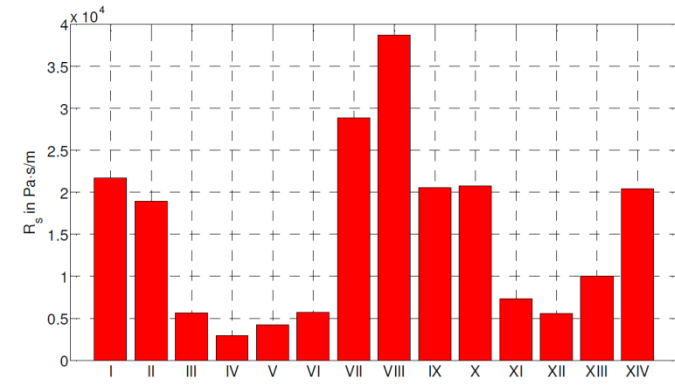
Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag:  $\Delta L$ , s. Bild 4



**Bild 4:** I-IV: Vergleich der Pegeldifferenz  $\Delta L$  der Fahrbahnoberflächen für Pkw gegenüber Referenzbelag gemäß DIN EN ISO 11819-1 bzw. ISO/PAS 11819-4

Strömungswiderstand:

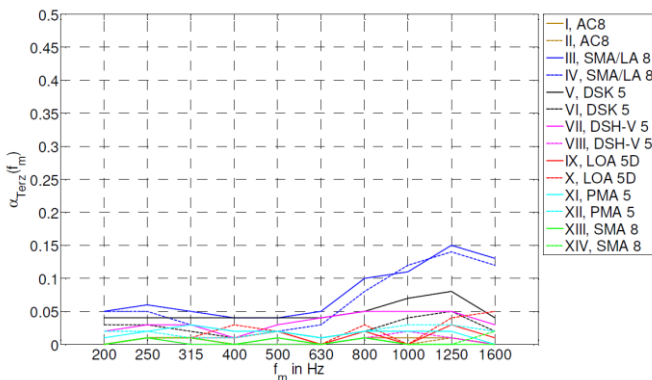
mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand:  $R_{s,eff}$ , s. Bild 5



**Bild 5: I-XIV: Vergleich des effektiven spezifischen Strömungswiderstands  $R_{s,eff}$**

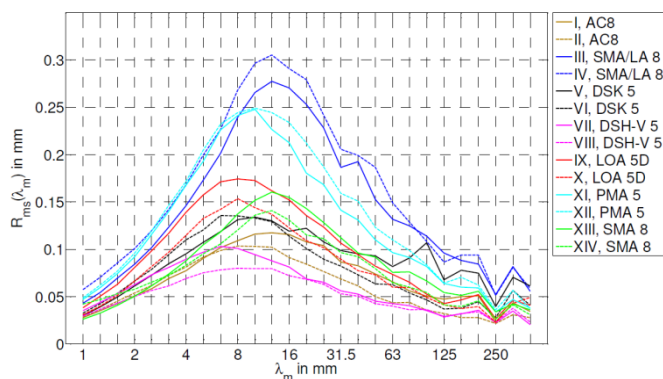
Schallabsorptionsgrad:

mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum):  $\alpha$ , s. Bild 6

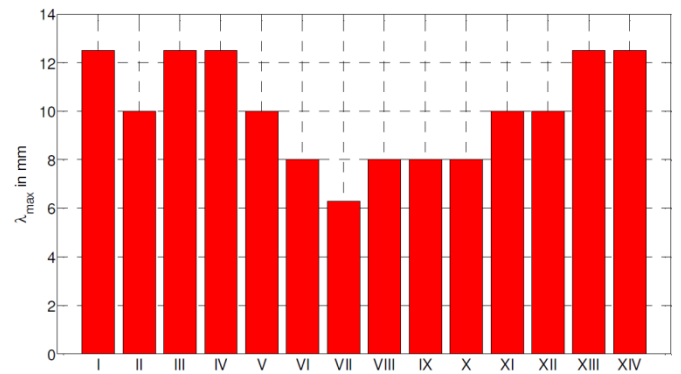


**Bild 6: I-XIV: Vergleich des mittleren Schallabsorptionsgradspektrums (Terzbandspektrum)  $\alpha$**

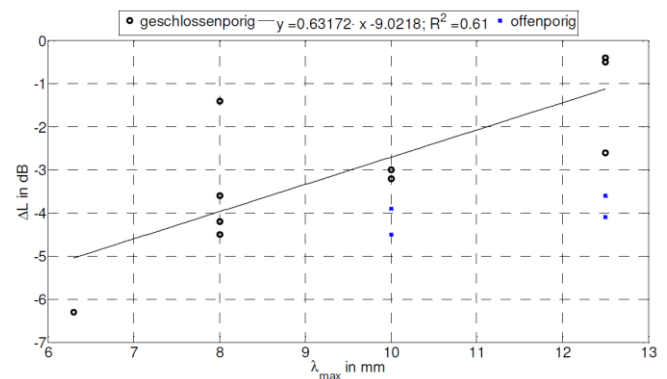
Textur:



**Bild 7: I-XIV: Vergleich des Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)  $R_{ms}(\lambda_m)$**



**Bild 8: I-XIV: Vergleich der Wellenlänge an der Stelle des Maximums des Texturwellenlängenspektrums  $\lambda_{max}$**

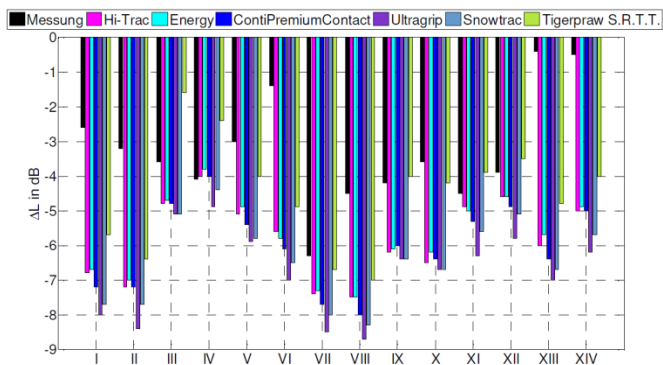


**Bild 9: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz  $\Delta L$  der Fahrbahnoberflächen für Pkw gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von  $\lambda_{max}$ . Bestimmtheitsmaß der Regression:  $R^2 = 0,61$ , ohne offenporige Beläge (blaue Werte)**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass auf der Grundlage dieser Studie kein alleiniger Fahrbahnparameter zur Klassifizierung von lärmarmen Fahrbahnbelägen herangezogen werden kann. Dabei sei insbesondere auf die geringe Datenbasis der hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse hingewiesen. Erwartungsgemäß zeigen die physikalischen Fahrbahnparameter auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bei offen- und geschlossenenporigen Fahrbahnbelägen unterschiedliche Einflüsse. Die Pegeldifferenz bezogen auf den Referenzbelag scheint bei offenporigen Fahrbahnbelägen unkorreliert von den in dieser Studie untersuchten physikalischen Fahrbahnparametern zu sein. Bei den geschlossenenporigen Fahrbahnbelägen zeichnen sich jedoch bei eindimensionaler Regressionsanalyse zumindest tendenzielle Einflüsse ab. Den stärksten Einfluss auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch scheint die Wahl des Größtkorns (und damit die Lage des Maximums im Texturwellenlängenspektrum) zu haben.

**4 Berechnungsergebnisse (SPERoN)**

Bild 10 zeigt die gemessenen und berechneten Pegeldifferenzen  $\Delta L$  der Messstrecken I bis XIV bezogen auf den Referenzbelag. Die Berechnungen wurden für sechs verschiedene Reifen durchgeführt.



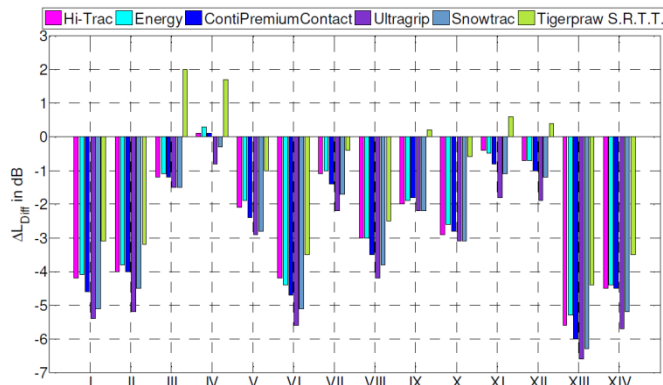
**Bild 10: I-XIV: Vergleich der gemessenen und berechneten Pegeldifferenz  $\Delta L$**

Die Differenz zwischen Messung und Berechnung

$$\Delta L_{Diff} = \Delta L_{Messung} - \Delta L_{SPERoN}$$

ist in Bild 10/Tabelle 1 dargestellt. Die Gegenüberstellung der Messergebnisse mit den Berechnungsergebnissen zeigt, dass in sieben Fällen alle Berechnungsergebnisse innerhalb des in der 2,58-fachen Standardabweichung der maximalen Vorbei-

fahrtpegel der Einzelvorbeifahrten liegen. In vier Fällen liegt mindestens ein Berechnungsergebnis außerhalb dieses Vertrauensbereichs. In weiteren drei Fällen liegen alle Berechnungsergebnisse außerhalb.



**Bild 11: I-XIV: Vergleich der Abweichung zwischen gemessener und berechneter Pegeldifferenz  $\Delta L_{Diff}$**

**Tabelle 1: I-XIV: Vergleich der Abweichung zwischen gemessener und berechneter Pegeldifferenz L;**

**grün:** alle Berechnungsergebnisse liegen innerhalb des angegebenen Vertrauensbereichs

**gelb:** einzelne Berechnungsergebnisse liegen innerhalb des angegebenen Vertrauensbereichs

**rot:** kein Berechnungsergebnis liegt innerhalb des angegebenen Vertrauensbereichs

Strecke	Hi-Trac	Energy	ContiPremiumContact	Ultragrip	Snowtrac	Tigerpaw (S.R.T.T.)
I	-4,2	-4,1	-4,6	-5,4	-5,1	-3,1
II	-4,0	-3,8	-4,0	-5,2	-4,5	-3,2
III	-1,2	-1,1	-1,2	-1,5	-1,5	-2,0
IV	0,1	0,3	0,1	-0,7	-0,3	1,7
V	-2,1	-1,9	-2,4	-2,9	-2,8	-1,0
VI	-4,2	-4,4	-4,7	-5,6	-5,1	-3,5
VII	-1,1	-1,0	-1,4	-2,2	-1,7	-0,4
VIII	-3,0	-3,0	-3,5	-4,2	-3,8	-2,5
IX	-2,0	-1,9	-1,8	-2,2	-2,2	0,2
X	-2,9	-2,6	-2,8	-3,1	-3,1	-0,6
XI	-0,4	-0,5	-0,8	-1,8	-1,1	0,6
XII	-0,7	-0,7	-1,0	-1,9	-1,2	0,4
XIII	-5,6	-5,3	-6,0	-6,6	-6,3	-4,4
XIV	-4,5	-4,4	-4,5	-5,7	-5,2	-3,5

## 5 Literatur

- Beckenbauer, T.; Blokland, G. van; Huschek, S.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 847, 2002
- DIN EN ISO 11819-1: Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche, Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. Mai 2002
- DIN ISO 13472-2: Messung der Schallabsorptionseigenschaften vor Ort – Teil 2: Impedanzrohrverfahren für reflektierende Oberflächen. Dezember 2010
- DIN ISO 13473-2: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen. Juli 2004
- DIN EN 29053: Bestimmung des Strömungswiderstandes. Mai 1993
- Hübelt, J.; Schmid, H.: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Straßenwesen FE 02.0239/2003/LRB der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mai 2005
- ISO/PAS 11819-4: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 4: The Statistical Pass-By method using a backing board. November 2011
- RLS 90: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Bundesministerium für Verkehr, 1992 (Ausgabe 1990, berichtigte Fassung 1992)