

Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 111

bast

Geräuschkinderung von Dünnschichtbelägen

von

Christian Schulze
Sebastian Kluth
Mirko Ruhnau
Jörn Hübelt

Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 111

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE: 02.0311/2011/LRB:
Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Fachbetreuung

Wolfram Bartolomaeus

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307

ISBN 978-3-95606-214-8

Bergisch Gladbach, September 2015

Kurzfassung – Abstract

Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Ein aktuelles Problem der modernen Zeit stellt der zunehmende Verkehrslärm aufgrund kontinuierlich steigender Verkehrsdichten dar. Der Fokus primärer Schallschutzmaßnahmen liegt auf der Lärmreduzierung in unmittelbarer Nähe der Schallquelle. In der vorliegenden Arbeit wurden die physikalischen Effekte zur Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen untersucht. Dazu wurden akustische Messungen gemäß DIN EN ISO 11819-1 sowie Messungen der Fahrbahneigenschaften (Texturprofil, Schallabsorptionsgrad und effektiver spezifischer Strömungswiderstand) an 14 Messstrecken durchgeführt. Für die Fahrbahnbeläge: AC 8, SMA 8, SMA/LA 8, DSK 5, DSH-V 5 und PMA 5, wurden je zwei Messstrecken ausgewählt und untersucht. Diese waren in relativ gutem Zustand und zum Zeitpunkt der Messung nicht älter als vier Jahre.

Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit Literaturangaben. Die größte Pegelminderung von 6,3 dB wurde für einen DSH-V-Belag bestimmt.

Der Vergleich der Fahrbahneigenschaften zeigt für jeden Belagstyp charakteristische Eigenschaften. Dennoch konnte durch einen Vergleich der akustischen Messergebnisse mit den Fahrbahneigenschaften kein alleiniger Parameter gefunden werden, der einen Rückschluss auf die Minderung der Geräuschentwicklung zulässt. Dennoch wurde seitens der Autoren der Versuch unternommen, qualitative Aussagen zur Herstellung geräuschmindernder Fahrbahnbeläge zu treffen.

Mit Hilfe der Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche als Eingangsparameter für das SPERoN-Modell wurde der Schallimmissionspegel seitlich der Straße für sechs verschiedene Reifentypen bestimmt und mit den Messergebnissen verglichen. Bei sieben der 14 Messstrecken zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung für alle sechs Reifentypen. In vier Fällen zeigte mindestens ein Reifen eine gute Übereinstimmung. Für die verbleibenden drei Fälle musste eine unzureichende Übereinstimmung festgestellt werden. Die Ursache für die teilweise starken Abweichungen konnte innerhalb dieses Forschungsprojekts jedoch nicht geklärt werden.

Reduction of tire/road noise of thin pavement layers

An increasing problem of modern times is the noise pollution due to tire/road noise caused by rising traffic density. Primary noise reduction strategies attempt to reduce the noise generation at the contact area of tire and road. Within the present work, the physical effects of the noise reduction of thin pavement layers were examined. Therefore, acoustical measurements according to ISO 11819-1 and measurements of the properties of the pavement (texture profiles, sound absorption coefficient and effective specific airflow resistance) were carried out at 14 measurement sites. For each of the pavements: AC 8, SMA 8, SMA/LA 8, DSK 5, DSH-V 5 and PMA 5, two measurement sites were chosen and investigated. All of them were in relatively new condition, meaning, that at the time of measurements they were not older than four years.

The results of the acoustical measurements, show a very good agreement to values which can be found in literature. The highest noise reduction value of 6.3 dB was found on a DSH-V pavement.

Comparing the properties of the pavement for each type of pavement, a specific characteristic can be found. Nevertheless, due to comparing the properties of the pavement with the results of the acoustical measurements, it was not possible to find a single parameter, to deduct the reduction of tire/road noise. However, the authors tried to give qualitative statements for the creation of low-noise pavements.

Using the properties of the road surface as input parameters for the SPERoN model (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise), the sound immission level next to the road was calculated for six different types of tires and then compared to the results of the acoustical measurements. For seven out of the 14 measurement sites, the agreement between measurement and calculation results was very good for all six tires. In four cases at least one tire showed a good agreement. In three cases the results for all six tires were out of bounds. The reason for the partially strong deviation could not be found within this research project.

Inhalt

1	Einleitung	7	8	Literatur	62
2	Auswahl der Messstrecken	8			
3	Messtechnische Bestimmung der Geräuschemission	9			
3.1	Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt....	9			
3.2	„Backing-Board“-Methode.....	11			
3.3	Zusammenfassung	11			
4	Messtechnische Bestimmung der Fahrbahnparameter	12			
4.1	Textur.....	12			
4.2	Strömungswiderstand	15			
4.3	Schallabsorptionsgrad	17			
4.3.1	Freifeld-Verfahren.....	17			
4.3.2	Impedanzrohr-Verfahren.....	18			
5	Messtechnische Untersuchungen	19			
5.1	Messergebnisse.....	19			
5.1.1	Messstrecke I.....	20			
5.1.2	Messstrecke II.....	22			
5.1.3	Messstrecke III.....	24			
5.1.4	Messstrecke IV	26			
5.1.5	Messstrecke V	28			
5.1.6	Messstrecke VI	30			
5.1.7	Messstrecke VII	32			
5.1.8	Messstrecke VIII	34			
5.1.9	Messstrecke IX	36			
5.1.10	Messstrecke X	38			
5.1.11	Messstrecke XI	40			
5.1.12	Messstrecke XII	42			
5.1.13	Messstrecke XIII	44			
5.1.14	Messstrecke XIV.....	46			
5.1.15	Übersicht.....	48			
5.2	Auswertung der Messergebnisse der Messstrecken I bis XIV	49			
6	Vorhersage Reifen-Fahrbahn-Geräusch	53			
6.1	SPERoN-Modell.....	53			
6.2	Berechnungsergebnisse	54			
6.3	Bewertung der Berechnungsergebnisse	61			
7	Zusammenfassung	62			

Anhang

Protokolle A01-A14: SPB-Verfahren

Protokolle B01-B14: Texturparameter

Protokolle C01-C14: spektraler Schallabsorptionsgrad

Protokolle D01-D14: effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Berechnungsergebnisse SPERoN

Der **Anhang** zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter: <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einleitung

Ein aktuelles Problem der modernen Zeit stellt der zunehmende Verkehrslärm aufgrund kontinuierlich steigender Verkehrsdichten dar. Zur Vermeidung der Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit existieren verschiedene Strategien der Minderung des Verkehrslärms, insbesondere des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs. Der Fokus primärer Schallschutzmaßnahmen liegt dabei auf der Lärminderung in unmittelbarer Nähe der Schallquelle. Im konkreten Fall des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs ist die Schallemission im Bereich der Kontaktstelle zwischen Reifen und Straße besonders von der Fahrbahnoberfläche und den Reifeneigenschaften abhängig.

Zur Minderung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs werden z. B. Fahrbahnoberflächen und Fahrzeugaeräusche im Hinblick auf deren Schall- und Schwingungsverhalten optimiert. Im Gegensatz dazu finden sekundäre Schallschutzmaßnahmen wie Schallschirme, Wälle und Tröge zur Beeinflussung des Schalls auf dem Ausbreitungsweg Anwendung, um am Immissionsort zur Minderung des Schalldruckpegels zu führen. Dabei ist zum Beispiel zu abwägen, ob breitflächig installierte sekundäre Schallschutzmaßnahmen gegenüber primären zu höheren Kosten führen.

Der Fokus der vorliegenden Untersuchungen liegt 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 (z. B. Splitt-Mastix-Asphalt (SMA), Asphaltbeton (AC)) Pegelminderungen von ca. 3 dB bis 5 dB bei gleichzeitig gewährleisteter guter Griffbarkeit bewirken. Den physikalischen Parametern und der akustischen Wirksamkeit von Dünnschichtbelägen im klassischen Sinn (DSK und DSH-V) werden die Neuentwicklungen LOA, PMA und SMA-LA sowie die standardmäßig eingesetzten Fahrbahnbeläge AC und SMA gegenübergestellt.

Innerhalb der vorliegenden 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 á zwei

Messstrecken) durchgeführt worden. Die Auswahl der Messstrecken ist im folgenden Abschnitt des Berichts beschrieben.

Parallel zu den akustischen Messungen (vgl. Kapitel 3) erfolgten messtechnische Untersuchungen von physikalischen Fahrbahnparametern, die erwartungsgemäß einen direkten Einfluss auf die Entstehung und die Ausbreitung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs haben (vgl. Kapitel 4). Dazu zählen vor allem die Textur, der effektive spezifische Strömungswiderstand sowie der Schallabsorptionsgrad.

In Abschnitt 5 werden die Messergebnisse an den einzelnen Messstrecken aufgelistet und gegenübergestellt. Es erfolgt eine physikalische Deutung und die Bewertung des Einflusses der verschiedenen Fahrbahnparameter auf die Geräuschemission.

Die gemessenen physikalischen Parameter der Fahrbahn werden anschließend als Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise) verwendet. Mit Hilfe von SPERoN soll der Immissions-schalldruckpegel seitlich der Fahrbahn prognostiziert werden, der durch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch verursacht werden würde. Durch diese Untersuchungen kann geprüft werden, ob es durch Anwendung von SPERoN möglich ist, den Einfluss der physikalischen Fahrbahnparameter auf den Immissionsschalldruckpegel abzubilden. Die Berechnungen des Immissionsschalldruckpegels auf Basis der gemessenen physikalischen Fahrbahnparameter in Kapitel 6 des vorliegenden Berichts dargestellt.

Die Messprotokolle zu den messtechnischen Untersuchungen befinden sich im Anhang des Berichts.

2 Auswahl der Messstrecken

Für die messtechnischen Untersuchungen wurden die in **Tab. 2.1** aufgeführten 14 Messstrecken ausgewählt. Neben der Angabe der Lage der einzelnen Messstrecken beinhaltet **Tab. 2.1** Informationen

- zur Fahrbahnoberfläche mit realisiertem Größtkorn,
- zur maximal zulässigen Geschwindigkeit (der aufgetretenen mittleren Messgeschwindigkeit) sowie
- zum Baujahr der Messstrecke, das nicht länger als 5 Jahre zurückliegen sollte

Nr.	Belag	Messgeschwindigkeit	Baujahr	Bezeichnung / Lage
I	AC 8	80 km/h	2009	K 9013 zwischen Ruppendorf und Beerwalde, FR Ruppendorf
II	AC 8	100 km/h	2009	B 178 zwischen Oberseifersdorf und Herrnhut, FR Herrnhut
III	SMA/LA	50 km/h	2011	Bismarckstraße Bayreuth, FR Bismarckstraße
IV	SMA/LA	100 km/h	2010	A 73 bei Erlangen, km 132, FR Nord
V	DSK 5	80 km/h	2008	S 93, zwischen S 100 und Liebenau, FR Liebenau
VI	DSK 5	80 km/h	2008	S 95, zwischen Dörghausen und Wittichenau, FR Wittichenau
VII	DSH-V	100 km/h	2011	B 6, zwischen Großharthau und Goldbach, FR Großharthau
VIII	DSH-V	80 km/h	2011	S 106, zwischen Dreistern und A 4, FR A 4
IX	LOA 5 D	50 km/h	2009	Brünner Straße, Leipzig, FR Lützner Straße
X	LOA 5 D	50 km/h	2010	Hechtstraße Dresden, FR HansasträÙe
XI	PMA 5	120 km/h	2011	A 24, bei Wittenburg, km 69, FR Berlin
XII	PMA 5	120 km/h	2011	A 24, bei Neustadt-Glewe, km 105, FR Berlin
XIII	SMA 8*	80 km/h	2009	B 98, zwischen Lampertswalde und Quersa, FR Quersa
XIV	SMA 8**	100 km/h	2009	B 156, westlich von Bluno, FR West

Tab. 2.1: Auswahl der Messstrecken (FR: Fahrtrichtung);
 * mit Absplittung: Lieferkörnung 2/5 (Edelsplitt);
 ** mit Absplittung: Lieferkörnung 1/3

3 Messtechnische Bestimmung der Geräuschemission

3.1 Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt

Zur Bestimmung der Geräuschemission von Fahr- bahnoberflächen wird das in [DIN EN ISO 11819-1, 2002] genormte Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt (SPB-Verfahren) angewendet. Die Messgröße, die zur Beurteilung der Geräuschemission von Fahr- bahnoberflächen herangezogen wird, ist der Schalldruckpegel-Zeitverlauf $L_{p,i}(t)$ für die Vorbeifahrt eines Fahrzeugs i , mit der zugehörigen Geschwindigkeit v_i . Der Schalldruckpegel-Zeitverlauf ist mit der Frequenzbewertung „A“ und der Zeitbewertung „FAST“ zu ermitteln. Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs muss im betrachteten Fahr- bahnabschnitt konstant sein. Zur Messung der Geschwindigkeit eignen sich keine Messeinrichtungen, die auf Überfahrt reagieren, da dies zur Beeinflussung des Schalldruckpegel-Zeitverlaufs führen kann. Aus den Aufzeichnungen des Vorbeifahrtpegel-Zeitverlaufs $L_{p,i}(t)$ wird für jede Vorbeifahrt das Maximum $L_{p,i,max}$ ermittelt (vgl. **Bild 3.1**). Die das Mikrophon passierenden Fahrzeuge werden gemäß der Norm in folgende Kategorien unterteilt:

- 1) PKW
- 2) LKW
 - 2a) zweiachsige LKW
 - 2b) mehrachsige LKW

Eine zu untersuchende Straße wird in eine der drei Geschwindigkeitsklassen (GK) eingeordnet:

- niedrige GK: 45 km/h bis 64 km/h,
- mittlere GK: 65 km/h bis 99 km/h oder
- hohe GK: ab 100 km/h.

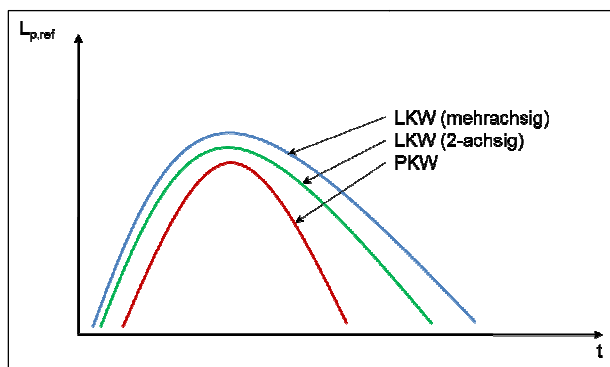


Bild 3.1: Prinzipielle Pegelverläufe von Einzelvorbeifahrten für Fahrzeuge der Kategorie PKW, LKW (zweiachsig) und LKW (mehrachsig)

Die Tupel $(v_i; L_{p,i,max})$ werden für jede Fahrzeugkategorie in ein Diagramm mit logarithmischer Darstellung der Fahrzeuggeschwindigkeit eingetragen. Anschließend erfolgt die Berechnung einer Regressionsgeraden unter Anwendung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Der Funktionswert der Regressionsgeraden an der Stelle v_{ref} ist der Fahrzeuggeräuschpegel $L_{p,veh}$ für die entsprechende Fahrzeugkategorie (vgl. **Bild 3.2**). v_{ref} beschreibt die in der Norm für jede Geschwindigkeitsklasse und jede Fahrzeugkategorie festgelegte Referenzgeschwindigkeit. Zusätzlich zur Norm wird in dieser Arbeit, in Anlehnung an [BARTOLOMAEUS, 2011], ein verschärfendes Kriterium eingeführt: maximale Vorbeifahrtpegel, deren Differenz zur Regressionsgeraden größer als die 2,58-fache Standardabweichung ist, werden als ungültig markiert und aussortiert (siehe Kapitel 5). Der Fahrzeuggeräuschpegel wird dann aus einer erneuten Regressionsanalyse der verbleibenden maximalen Vorbeifahrtpegel berechnet.

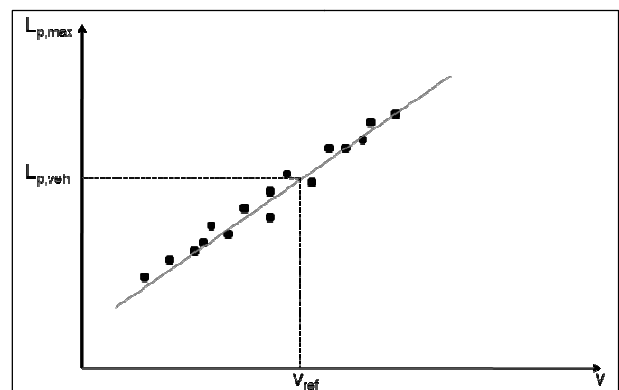


Bild 3.2: Bestimmung des Fahrzeuggeräuschpegels durch Ermittlung des Funktionswertes der Regressionsgeraden durch die geschwindigkeitsabhängigen Maxima der Vorbeifahrtpegel-Zeitverläufe aller gültigen Einzelvorbeifahrten

Zur Bestimmung des Fahrzeuggeräuschpegels werden nur gültige Vorbeifahrten berücksichtigt. 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 (vgl. **Bild 3.3**). In dem betrachteten Zeitintervall darf kein anderes Fahrzeug den untersuchten Messabschnitt passieren.

Für jede Fahrzeugkategorie ist zur statistischen Sicherung der Messergebnisse eine Mindestanzahl gültiger Vorbeifahrten notwendig. Fahrzeugkategorie 1) benötigt mindestens 100 gültige Vorbeifahrten. Fahrzeugkategorie 2) benötigt mindestens 80 gültige Vorbeifahrten, wobei für die Unter-

kategorien a) und b) jeweils mindestens 30 gültige Vorbeifahrten erfasst werden müssen.

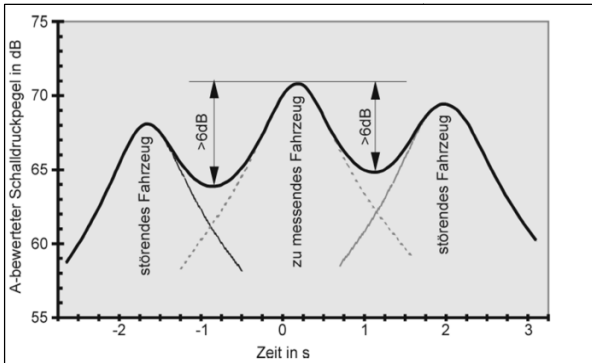


Bild 3.3: Anforderung für eine gültige Vorbeifahrt aus [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Zur Beurteilung der Fahrbahnoberfläche hinsichtlich ihrer Geräuschemission werden die Fahrzeuggeräuschpegel entsprechend der Fahrzeugkategorie und der Referenzgeschwindigkeit gewichtet und energetisch addiert (siehe Gleichung (3.1)). Der daraus entstehende Einzahlwert ist der SPB-Index (*SPBI*). Die Referenzgeschwindigkeiten und Wichtungsfaktoren können **Tab. 3.1** entnommen werden.

$$SPBI = 10 \cdot \lg[W_1 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p,veh,1}} + W_{2a} \cdot v_1/v_{2a} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p,veh,2a}} + W_{2b} \cdot v_1/v_{2b} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{p,veh,2b}}] \text{ dB} \quad (3.1)$$

Durch Vergleich des ermittelten *SPBI* mit dem in [DIN EN ISO 11819-1, 2002] angegebenen Wert für den Referenzbelag (dichte, glatt texturierte Asphalt-Beton-Decke mit maximalem Korndurchmesser von 11 mm bis 16 mm, näherungsweise vergleichbar mit Splitt-Mastix-Asphalt derselben Körnung) oder Vergleich des *SPBI* unterschiedlicher Prüfbeläge ist ein Rückschluss auf die akustischen Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche möglich. Je niedriger der *SPBI* ist, desto geringer ist die Geräuschentwicklung des Fahrbahnbelags.

Fahrzeugkategorie	Geschwindigkeitsklasse der Straße						
	Niedrig		Mittel		Hoch		
Bezeichnung	Nr	Referenzgeschwindigkeit [km/h]	W_x	Referenzgeschwindigkeit [km/h]	W_x	Referenzgeschwindigkeit [km/h]	
Pkw	1	50	0,900	80	0,800	110	0,700
Zweiachsige Lkw	2a	50	0,075	70	0,100	85	0,075
Mehrachsige Lkw	2b	50	0,025	70	0,100	85	0,225

Tab. 3.1: Referenzgeschwindigkeiten und Wichtungsfaktoren aus [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

In den „Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen“ [RLS-90] wird zur Berücksichtigung des Einflusses der Fahrbahnoberfläche auf die Geräuschentwicklung an Straßen der *D_{Stro}*-Wert angegeben. Dieser berechnet sich ausschließlich aus dem

Fahrzeuggeräuschpegel der Fahrzeugkategorie 1) (PKW) über:

$$D_{Stro} = L_{p,PKW,Prüfbelag} - L_{p,PKW,Referenzbelag} \quad (3.2)$$

Der Fahrzeuggeräuschpegel des Referenzbelags zur Anwendung von Gleichung (2.2) ist in [ARS-2, 2009] für eine Referenzgeschwindigkeit von 120 km/h mit 85,2 dB(A) angegeben. Für alternative Referenzgeschwindigkeiten von 100 km/h, 80 km/h bzw. 50 km/h ergibt sich der Fahrzeuggeräuschpegel des Referenzbelags nach [ULLRICH, 1991] zu 82,2 dB(A), 78,8 dB(A) bzw. 72,7 dB(A).

Als Referenzbelag wird in [RLS-90] nicht geriffelter Gussasphalt, Asphalt-Beton und Splitt-Mastix-Asphalt angegeben. Die *D_{Stro}*-Werte für verschiedene Fahrbahnbeläge aus [RLS-90, 1992] können **Tab. 3.2** entnommen werden.

Fahrbahnoberfläche	<i>D_{Stro}</i> -Wert in dB(A)		
	bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h	40 km/h	50 km/h
1	0,0	0,0	0,0
2	1,0	1,5	2,0
3	2,0	2,5	3,0
4	3,0	4,5	6,0

Tab. 3.2: *D_{Stro}*-Werte für verschiedene Fahrbahnoberflächen aus [RLS-90, 1992]:
 1: nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splitt-Mastixasphalte;
 2: Betone oder geriffelte Gussasphalte;
 3: Pflaster mit ebener Oberfläche;
 4: sonstige Pflaster

Für die niedrige und mittlere GK ist ein Fahrbahnabschnitt von mindestens 20 m, für die hohe GK ein Fahrbahnabschnitt von mindestens 50 m, beidseits des Mikrofons, zu betrachten (vgl. **Bild 3.4**).

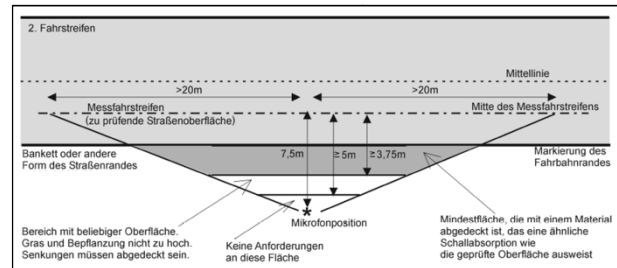


Bild 3.4: Messaufbau zur Bestimmung der Geräuschemission von Fahrbahnoberflächen aus [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Die zu untersuchende Fahrbahn muss in diesem Abschnitt homogen und in gutem Zustand sein. Innerhalb eines Bereiches von 10 m Abstand von der Senkrechten, die Mikrofon und Fahrbahn verbindet, dürfen keine reflektierenden Flächen (z. B.

Lärmschutzwände, Betongleitschutzwände) vorhanden sein. Des Weiteren sind Schutzplanken, falls zulässig, zu demontieren. Das an die betrachtete Fahrspur angrenzende Gebiet in Richtung des Mikrofons (Bankett oder Seitenstreifen) soll auf einer Breite von mindestens 3,75 m ähnliche akustische Eigenschaften wie der zu untersuchende Fahrstreifen besitzen. Nach [DIN EN ISO 11819-1, 2002] eignen sich ebene und gerade Straßen, die im Messabschnitt nur leichte Kurven und Steigungen $\leq 1\%$ aufweisen. Die messtechnischen Untersuchungen dürfen nur auf trockener Fahrbahn durchgeführt werden. Des Weiteren darf die Windgeschwindigkeit maximal 5 m/s betragen. Die Lufttemperatur sollte im Bereich von 5 °C bis 30 °C liegen. Entsprechend der Norm muss das Mikrofon in einer Höhe $h = (1,2 \pm 0,1)$ m über der Fahrbahnoberfläche, sowie im Abstand $x_{FS} = (7,5 \pm 0,1)$ m von der Mitte des zu untersuchenden Fahrstreifens positioniert sein.

3.2 „Backing-Board“-Methode

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 Hauswänden hinter dem Mikrofon reflektierter Schall unterdrückt. Aufgrund der Verdopplung des Schalldruckes steigt der A-bewertete Schalldruckpegel unmittelbar vor dem „Backing-Board“ um 6 dB(A). Diese Pegelerhöhung durch die Reflexion des „Backing-Boards“ kann anschließend rechnerisch korrigiert werden (vgl. Tabelle 3.3).

Fahrzeugkategorie		Geschwindigkeitsklasse		
Name	Nr.	Niedrig	Mittel	Hoch
PKW	1	6,0 dB	6,0 dB	6,0 dB
LKW zweiachsig	2a	6,0 dB	6,0 dB	6,0 dB
LKW mehrachsig	2b	6,0 dB	6,0 dB	6,0 dB

Tab. 3.3: Korrekturpegel für die unterschiedlichen Geschwindigkeitsklassen und Fahrzeugkategorien gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011]

Mit der Methode gemessene Frequenzspektren des Schalldruckpegels sind jedoch nur mit großer Vorsicht zu interpretieren. Die „Backing-Board“-Methode sollte nur bei Verkehrslärm mit breitban-

digem Frequenzspektrum und einem energetischen Maximum um 1000 Hz angewendet werden.

Das „Backing-Board“ ist $(0,90 \pm 0,01)$ m lang und $(0,75 \pm 0,01)$ m breit. Es ist generell im Abstand von $(7,50 \pm 0,10)$ m und parallel zur Mitte zu der zu untersuchenden Fahrbahn aufzustellen. Das Mikrofon wird dabei exzentrisch auf dem Brett $(1,20 \pm 0,01)$ m über der Straßenoberfläche positioniert. Falls es nicht möglich ist einen Abstand von 7,50 m zur Fahrbahnmitte einzuhalten, kann die Messung auch im Abstand von 5 m zur Fahrbahnmitte durchgeführt werden. In diesem Fall muss das Mikrofon $(0,80 \pm 0,01)$ m über der Fahrbahnoberfläche angebracht werden.

Gegenüber dem SPB-Verfahren nach [DIN EN ISO 11819-1] erhöht sich die Messunsicherheit des „Backing-Board“-Verfahrens um näherungsweise 0,5 dB bei einer 95-prozentigen Überdeckungswahrscheinlichkeit. Wird in nur 5 m Abstand zur Fahrspurmitte gemessen, erhöht sich die Messunsicherheit für PKW um 0,7 dB und für LKW um 1,0 dB.

3.3 Zusammenfassung

Innerhalb der vorliegenden Untersuchungen wurden, sofern es die Messumgebungen zuließen, SPB-Verfahren und „Backing-Board“-Methode zeitgleich angewendet. Analog zu Gleichung (3.2) erfolgte die Bestimmung der gegenüber dem Referenzbelag zu erwartenden Pegeldifferenz ΔL durch Subtraktion des Fahrzeuggeräuschpegels $L_{p,PKW,Referenzbelag}$ des Referenzbelags vom ermittelten Fahrzeuggeräuschpegel $L_{p,PKW,Prüfbelag}$ der jeweiligen Messstrecke. **Bild 3.5** zeigt beispielhaft die Messung an einem Streckenabschnitt einer Bundesautobahn.



Bild 3.5: Zeitgleiche Anwendung von SPB-Verfahren und „Backing-Board“-Methode

Für den absoluten Vergleich der Geräuschemission der verschiedenen Fahrbahnoberflächen wurden die Messergebnisse gemäß [Sandberg, 2004] auf eine Referenztemperatur von 20 °C korrigiert.

4 Messtechnische Bestimmung der Fahrbahnparameter

4.1 Textur

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 mm bis 50 mm bzw. von 50 mm bis 500 mm (vgl. **Bild 4.1**). Die Texturwellenlänge beschreibt die Periodizitäten eines Texturprofils in Anlehnung an den Begriff der Wellenlänge im physikalischen Sinne und lässt sich durch örtliche Fourier-Transformation aus 2-dimensionalen Profilen der Fahrbahnoberfläche bestimmen (vgl. **Bild 4.2**).

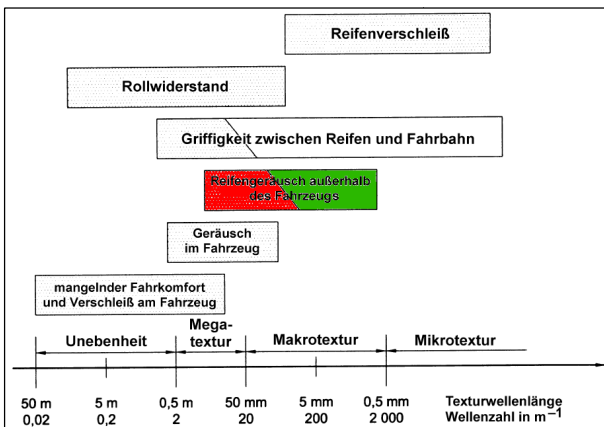


Bild 4.1: Einfluss der Textur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch (aus [DIN ISO 13473-2, 2004])

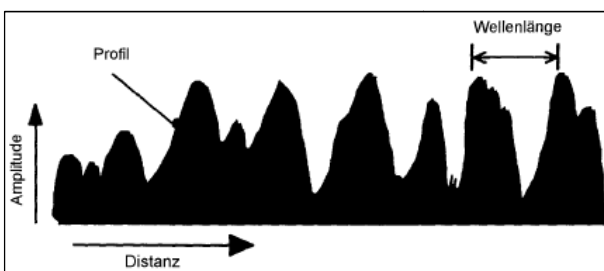


Bild 4.2: Schematische Darstellung der Texturwellenlänge gemäß [DIN EN ISO 13473-1, 2004]

Innerhalb der vorliegenden 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 (vgl. **Bild 4.4**) an jeweils drei Messpositionen je zu untersuchender Fahrbahnoberfläche durch Einsatz eines 3D-Laser-Profilmeters (s. **Bild 4.3**). Das Messsystem arbeitet mit einem Triangulationslaser, der mittels einer Positioniervorrichtung über der Fahrbahnoberfläche entlang bewegt wird.



Bild 4.3: messtechnische Bestimmung des Profils der Fahrbahnoberfläche mit 3D-Laser-Profilmeter

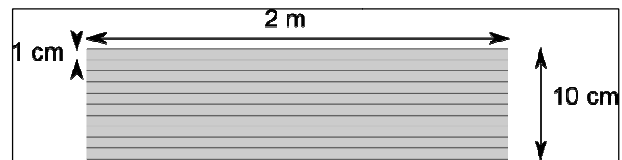


Bild 4.4: Schematische Darstellung der zu erfassenden Profile der Fahrbahnoberfläche

Neben der spektralen Texturwellenlänge lassen sich aus den gemessenen Rauheitsprofilen nach [DIN ISO 13473-2, 2004] weitere Texturgrößen ermitteln (vgl. **Bild 4.5**). Dazu zählen:

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

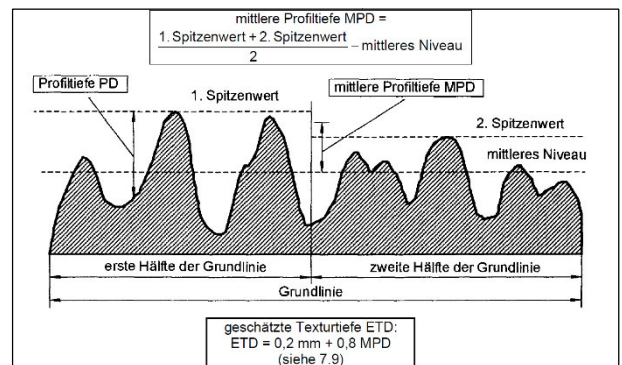


Bild 4.5: Ermittlung der mittleren Profiltiefe (MPD), des quadratischen Mittelwerts der Texturtiefe (RMS) und der geschätzten mittleren Texturtiefe (ETD) anhand von Rauheitsprofilen der Fahrbahnoberfläche (aus [DIN ISO 13473-2, 2004])

In [Beckenbauer, 2002] wurde eine weitere Texturgröße, der sogenannte Gestaltfaktor g , in Zusammenhang mit der Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs gebracht. Dieser entspricht der relativen Häufigkeit der halben maximalen Profiltiefe in der Häufigkeitsverteilung aller in einem Texturprofil vorkommenden Profiltiefen. In [Becken-

bauer, 2002] wird angegeben, dass ein größerer Wert des Gestaltfaktors (konkaves Profil) zu einer geringeren Schallemission im Bereich des Reifen-Fahrbahn-Kontakts führt (vgl. **Bild 4.6**).

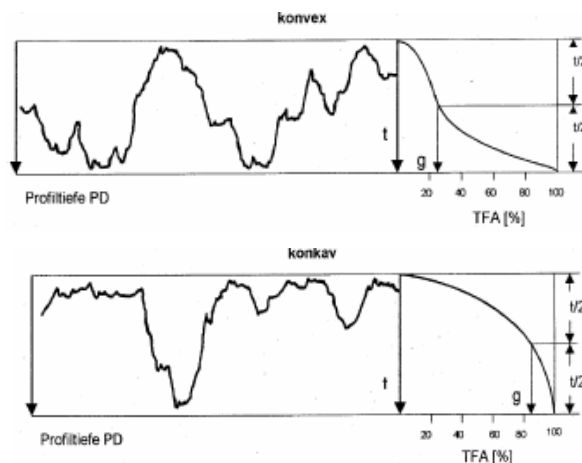


Bild 4.6: Definition des Gestaltfaktors aus [Beckenbauer 2002]; Oben: konvexes Profil der Fahrbahnoberfläche (ungünstige Beeinflussung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs); Unten: konkaves Profil der Fahrbahnoberfläche (günstige Beeinflussung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs)

Gemäß [MÜLLER, 2011] kann der Gestaltfaktor g über die Wellenlänge an der Stelle des Maximums des Texturwellenlängenspektrums λ_{\max} in eine sogenannte Gestaltlänge

$$g_L = g \cdot \lambda_{\max} \quad (4.1)$$

umgerechnet werden. Der Autor hält fest, dass dieser Parameter die Abhängigkeit der Geräuschentstehung nicht nur von der Profilform sondern auch von Profilverläufen der Fahrbahnoberfläche widerspiegelt. Darüber hinaus merkt der Autor an, dass der Einfluss von Reifenschwingungen auf die Geräuschentstehung von untergeordneter Rolle ist, wenn der Wert der Gestaltlänge im Bereich von 400 mm und 700 mm liegt.

Das Messsystem wurde vor seinem Einsatz auf seine einwandfreie Funktionsweise untersucht. Dazu erfolgten Testmessungen an verschiedenen Kalibrierflächen und Asphalt-Prüfkörpern im Labor. In **Bild 4.8** ist beispielhaft das Ergebnis der Texturmessung am Bohrkern eines Fahrbahnbelags aus offenporigem Asphalt (OPA) aus **Bild 4.7** dargestellt.



Bild 4.7: Bohrkern eines Fahrbahnbelags aus offenporigem Asphalt (OPA)

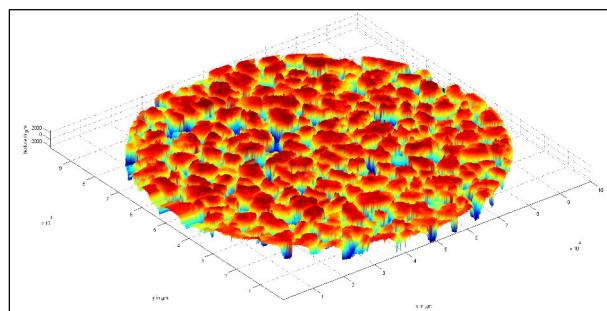


Bild 4.8: Mittels Laserprofilometer messtechnisch bestimmte Textur des Prüfkörpers in Bild 4.7

Tab. 4.1 zeigt die gemäß des Berechnungsmodells SPERoN bzw. DIN ISO 13473-3 definierten Anforderungen an das Laserprofilometer zur Bestimmung der Rauigkeitsprofile der Fahrbahnoberfläche in Gegenüberstellung der Leistungsfähigkeit des eingesetzten Messsystems. Darin ist zu erkennen, dass insbesondere die örtliche Auflösung des eingesetzten Messsystems um ein Vielfaches höher ist als die gestellten Anforderungen.

Parameter	Anforderung	Leistungsfähigkeit
örtliche Auflösung (vertikal)	< 0,05 mm	0,008 mm
örtliche Auflösung (horizontal)	≤ 1 mm	0,1 mm
Messbereich (vertikal)	≥ 20 mm	32 mm
Punktdurchmesser	≤ 1 mm	0,5 mm
Schwankung des Abtastintervalls	≤ 10 %	≤ 10 %

Tab. 4.1: Gegenüberstellung der Anforderungen an das Laserprofilometer zur Bestimmung der Rauigkeitsprofile der Fahrbahnoberfläche gemäß des Berechnungsmodells SPERoN bzw. DIN ISO 13473-3 und der Leistungsfähigkeit des eingesetzten Messsystems

Die Auswirkung der erhöhten örtlichen Auflösung lässt sich besonders deutlich am Rauigkeitsprofil (vgl. **Bild 4.9**) und dem daraus berechneten Texturwellenlängenspektrum (vgl. **Bild 4.9**) eines stufenförmigen Prüfkörpers erkennen. Unterhalb einer Texturwellenlänge von 2,5 mm können ausschließlich mit erhöhter örtlicher Auflösung spektrale Texturamplituden ermittelt werden. Oberhalb einer Texturwellenlänge von 2,5 mm werden die spektralen Texturamplituden mit beiden örtlichen Auflösungen gleich bestimmt.

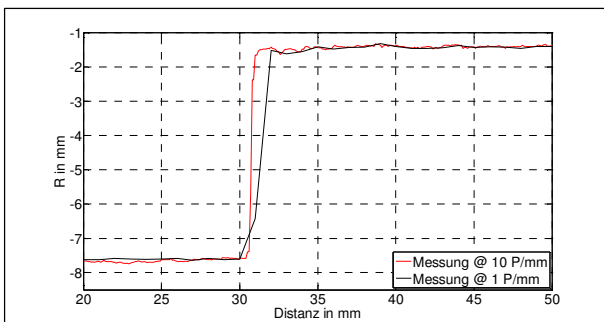


Bild 4.9: Mittels Laserprofilometer messtechnisch bestimmtes Rauigkeitsprofil eines stufenförmigen Prüfkörpers aus Aluminium; schwarz: Scan mit geforderter örtlicher Auflösung; rot: Scan mit maximaler örtlicher Auflösung des Messsystems

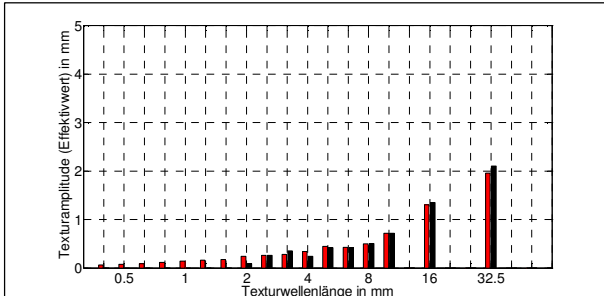


Bild 4.10: Texturwellenlängenspektrum des mittels Laserprofilometer messtechnisch bestimmten Rauigkeitsprofils aus **Bild 4.9** eines stufenförmigen Prüfkörpers aus Aluminium; schwarz: Scan mit geforderter örtlicher Auflösung; rot: Scan mit maximaler örtlicher Auflösung des Messsystems

Weitere Testmessungen an einem Prüfkörper mit sinusförmigem Rauigkeitsprofil (vgl. **Bild 4.11**) zeigten ebenfalls plausible, mit den geometrischen Prüfkörperparametern übereinstimmende Texturergebnisse (vgl. **Bild 4.12** und **Bild 4.13**).

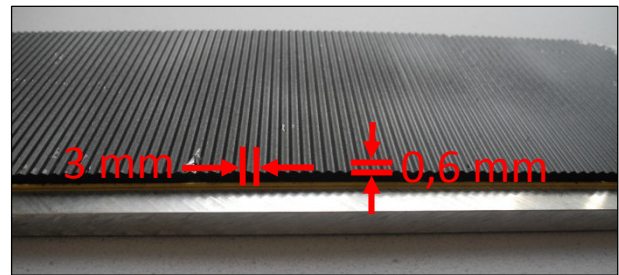


Bild 4.11: Prüfkörper mit sinusförmigem Rauigkeitsprofil: horizontaler Rillenabstand bzw. Wellenlängen von ca. 3 mm, vertikaler Abstand zwischen Rillenberg und Rillental bzw. doppelte Texturamplitude ca. 0,6 mm

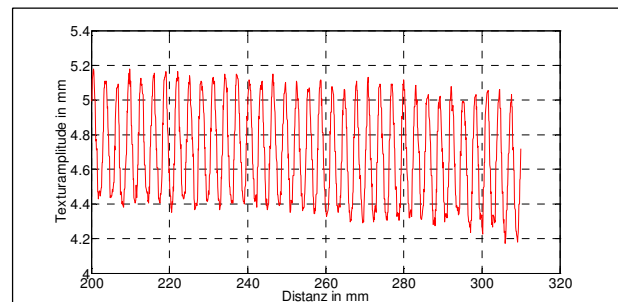


Bild 4.12: Mittels Laserprofilometer messtechnisch bestimmtes Rauigkeitsprofil des Prüfkörper mit sinusförmigem Rauigkeitsprofil in Bild 4.11

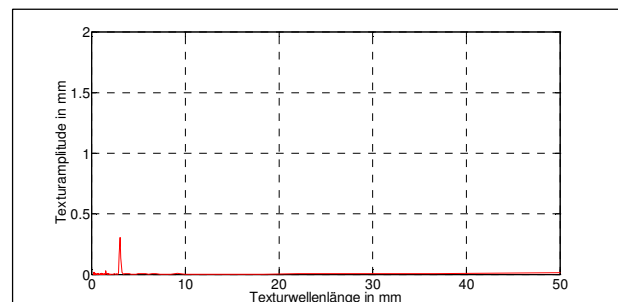


Bild 4.13: Texturwellenlängenspektrum des mittels Laserprofilometer messtechnisch bestimmten Rauigkeitsprofils aus **Bild 4.12** des Prüfkörper mit sinusförmigem Rauigkeitsprofil in Bild 4.11

Innerhalb der vorliegenden Untersuchungen der Fahrbahnoberflächen in situ wurden zur Überprüfung der einwandfreien Funktionsweise des Messgerätes vor Ort stets Kalibriermessungen durchgeführt (vgl. **Bild 4.3**). Des Weiteren ist stets darauf geachtet worden, dass die Fahrbahnoberflächen trocken, sauber und frei von jeglichen Fremdkörpern waren.

4.2 Strömungswiderstand

Der Strömungswiderstand zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche besitzt einen direkten Einfluss auf das beim Überrollen des Reifens auf der Fahrbahn auftretende Airpumping und damit auf den aeroakustischen Anteil des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs. Standardgemäß erfolgt die Bestimmung des Strömungswiderstands offenporiger Materialien im Labor gemäß [DIN EN 29053, 1993] auf Basis des Luftgleichstrom-Verfahrens (Verfahren A) oder des Luftwechselstrom-Verfahrens (Verfahren B).

Bei der Anwendung des Luftgleichstrom-Verfahrens wird die Materialprobe von einem laminaren Luftstrom durchströmt und der entstehende Druckverlust über der Materialprobe gemessen. Der Strömungswiderstand der Materialprobe ist definiert durch

$$R = \frac{\Delta p}{q_v} \quad (4.2)$$

Dabei ist Δp die über der Probe entstehende Druckdifferenz bei Durchströmung der Probe mit einem Volumenfluss q_v . Der Strömungswiderstand R hat die Einheit $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$ und ist abhängig von der Fläche A und der Dicke d der Probe.

Der spezifische Strömungswiderstand

$$R_s = R \cdot A \quad (4.3)$$

ist von der Fläche der Probe unabhängig. Er wird in $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$ angegeben. Mit der konstanten Strömungsgeschwindigkeit

$$u = \frac{q_v}{A} \quad (4.4)$$

ergibt sich der spezifische Strömungswiderstand ebenfalls aus:

$$R_s = \frac{\Delta p}{u}. \quad (4.5)$$

Aus der Kenntnis von R_s lassen sich z. B. der Schallabsorptionsgrad und die Schalldämmung von Vorhängen und Bespannungen aus Stoff abschätzen.

Der längenbezogene Strömungswiderstand

$$r = \frac{\Delta R_s}{d} \quad (4.6)$$

ist zusätzlich auf die Dicke d der als homogen angenommenen Probe bezogen. Er wird in $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ angegeben. Für poröse Materialien (Fasermaterialien, Schäume, ...) einer bestimmten Dicke wird r zur Vorhersage des akustischen Verhaltens verwendet.

Im Allgemeinen erfolgt für jede Messung die Aufnahme von zehn einzelnen Messwerten bei unterschiedlichen Durchflussmengen. Auf Grundlage der gemessenen Werte erfolgt zur Angabe des Messergebnisses gemäß der Norm die Extrapolation durch lineare Regression auf eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 mm/s.

Die Bestimmung des Strömungswiderstands zwischen dem Reifen und der Fahrbahnoberfläche in situ wird in Anlehnung an [DIN EN 29053, 1993] durchgeführt. Abweichend zur Norm, kommt zur zerstörungsfreien Prüfung ein spezieller zylinderförmiger Aufsatz (Durchmesser 100 mm) mit Krempe zum Einsatz (vgl. [HÜBELT, 2005]). Dieser wird über eine Zwischenlage aus Elastomer (Getzner Werkstoffe, Sylomer, grün) auf die Fahrbahnoberfläche aufgesetzt und anschließend mit einem Gewicht von 60 kg statisch belastet. Da auf diese Weise keine scharf abgegrenzte Durchströmungsfläche angegeben werden kann, kann hier nur der sogenannte effektive spezifische Strömungswiderstand

$$R'_s = R \cdot A \quad (4.7)$$

bestimmt werden.

Die innerhalb der vorliegenden Untersuchungen verwendete elektronische / pneumatische Messapparatur AFD 300 - AcoustiFlow® (vgl. **Bild 4.14**) gestattet die softwaregesteuerte gleichzeitige Regelung und Messung von Durchflussmenge und Differenzdruck über der Probe für die Aufnahme der einzelnen Messwerten bei unterschiedlichen Durchflussmengen.



Bild 4.14: Messtechnische Bestimmung des effektiven spezifischen Strömungswiderstands der Fahrbahnoberfläche mit Messsystem AFD – 300 AcoustiFlow®

Zur Verwendung der Messergebnisse als Eingangsparemeter für SPERoN erfolgt in Abweichung zu DIN EN 29053 die Extrapolation durch lineare Regression auf eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,0125 m/s (vgl. [BECKENBAUER, 2004]).

Das Messsystem wurde vor seinem Einsatz auf seine einwandfreie Funktionsweise untersucht. Dazu erfolgten Vergleichsmessungen an zylindrischen Prüfkörpern (**Bild 4.15**: metallische Hohlkugelstruktur – MHKS, perforierte Kunststoffprobe) sowie an Walzsegmentverdichterplatten (**Bild 4.16**: geschlossenporiger Asphalt SMA 5 S, offenporiger Asphalt) im Labor mit den Messsystemen der Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH (AFD) und der Müller-BBM GmbH (MBBM).

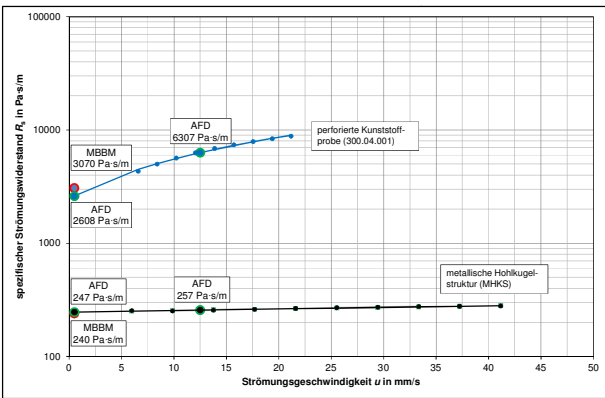


Bild 4.15: Spezifischer Strömungswiderstand zylinderförmiger Prüfkörper (metallische Hohlkugelstruktur - MHKS, perforierte Kunststoffprobe) in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit; Extrapolation auf Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 mm/s (0,0125 m/s); Gegenüberstellung der Messergebnisse der Messsysteme von AFD und MBBM

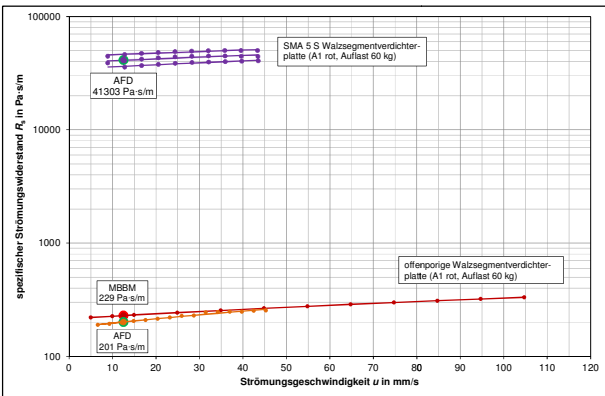


Bild 4.16: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand von Walzsegmentverdichterplatten von Fahrbahnoberflächen (geschlossenporiger Asphalt – SMA 5 S, offenporiger Asphalt) in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit; Extrapolation auf Strömungsgeschwindigkeit von 0,0125 m/s; Gegenüberstellung der Messergebnisse der Messsysteme von AFD und MBBM

Es ist zu erkennen, dass die Messergebnisse des spezifischen sowie des effektiven spezifischen Strömungswiderstands für offenporige Prüfkörper mit Abweichungen von ca. 3 % bis 15 % recht gut übereinstimmen. Für den geschlossenporigen Asphalt lagen zum Zeitpunkt der Berichtserstellung keine Vergleichsmessdaten zur Verfügung. Der Vergleich der Messergebnisse mit Angaben aus [Beckenbauer, 2002] in **Bild 4.17** zeigt jedoch, dass die von AFD gemessenen Werte für geschlossenporigen als auch für offenporigen Asphalt in einer plausiblen Größenordnung liegen.

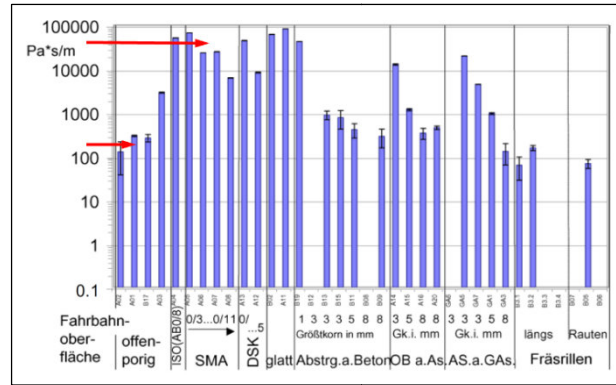


Bild 4.17: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand von verschiedenen Fahrbahnoberflächen aus [Beckenbauer, 2002]

Innerhalb der vorliegenden Untersuchungen der Fahrbahnoberflächen in situ erfolgten die Messungen jeweils an drei bis sechs Positionen im Bereich der Rollspur.

4.3 Schallabsorptionsgrad

4.3.1 Freifeld-Verfahren

Weist der Schallabsorptionsgrad der Fahrbahnoberfläche einen Wert größer 0,15 auf, ist die Messung der Schallabsorptionseigenschaften mit Hilfe des sogenannten Freifeld-Verfahrens gemäß [DIN ISO 13472-1] durchzuführen. Dazu kann das Messsystem AFD 800 der Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH eingesetzt werden (vgl. **Bild 4.18**).



Bild 4.18: Messtechnische Bestimmung des Schallabsorptionsgrads der Fahrbahnoberfläche auf Basis des Freifeld-Verfahrens mit dem Messsystem AFD 800

Die Bestimmung der Schallabsorptionseigenschaften erfordert die Durchführung von zwei Messungen, eine Messung mit Prüfkörper und eine ohne Messgegenstand (Freifeld). **Bild 4.19** und **Bild 4.20** zeigen die prinzipiellen Messergebnisse der beiden Messungen.

Die durch die erste Messung (vgl. **Bild 4.19**) erhaltene Impulsantwort beinhaltet eine direkte Komponente, die an der Prüfkörperoberfläche reflektierte Komponente sowie weitere, nicht erwünschte, reflektierte Komponenten. Letztere lassen sich durch geeignete Anpassung der Fensterlänge des angewendeten Zeitfensters ausschließen. Die ohne Prüfkörper bestimmte zweite Impulsantwort (Freifeld, vgl. **Bild 4.20**) beinhaltet ausschließlich die direkte Komponente. Für die Berechnung des komplexen Schallreflexionsfaktors und des Schallabsorptionsgrads werden die beiden gemessenen Impulsantworten voneinander subtrahiert (vgl. **Bild 4.21**).

Die Ermittlung des spektralen Schallabsorptionsgrads im Frequenzbereich von 250 Hz bis 4000 Hz erfordert eine trockene und homogene Prüffläche des Fahrbahnbelags von ca. 3 m². Dabei ist das

Messgerät so zu positionieren, dass sich die Schallquelle / das Mikrofon in einer Höhe von (1,25 ± 0,005) m / (0,25 ± 0,005) m über der Bezugsebene (gedachte Ebene, welche die Mehrheit der Elemente der Prüfoberfläche berührt) befindet. Der akustische Mittelpunkt von Schallquelle und Mikrofon muss auf einer Linie senkrecht zur Bezugsebene liegen, wobei die Mikrofonachse parallel zur Bezugsebene auszurichten ist. Störende reflektierende Objekte dürfen sich nur in einem Abstand von größer 1,25 m zum Mikrofon befinden.

Eine Absolut-Kalibrierung der Messkette ist nicht notwendig. Allerdings muss, um eine höhere Messgenauigkeit bei tiefen Frequenzen zu erreichen, eine Referenzmessung auf einer vollständig reflektierenden Oberfläche durchgeführt werden. Die so ermittelten Ergebnisse werden verwendet, um den Schallabsorptionsgrad der eigentlichen Prüfoberfläche gemäß

$$\alpha_{\text{Belag}}(f) = 1 - \left| \frac{r_{\text{Messung}}(f)}{r_{\text{ref}}(f)} \right|^2 \quad (4.8)$$

zu korrigieren.

Während der Messung darf die Windgeschwindigkeit einen Wert von 5 m/s nicht überschreiten. Die Lufttemperatur muss zwischen 0 °C und 35 °C und die Temperatur der Fahrbahnoberfläche zwischen 0 °C und 50 °C liegen.

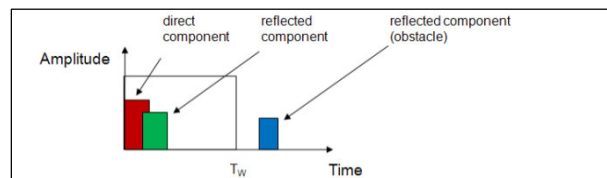


Bild 4.19: Schematische Darstellung des Ergebnisses der ersten Messung mit Prüfkörper

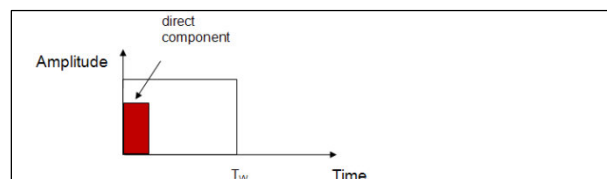


Bild 4.20: Schematische Darstellung des Ergebnisses der zweiten Messung ohne Prüfkörper (Freifeld)

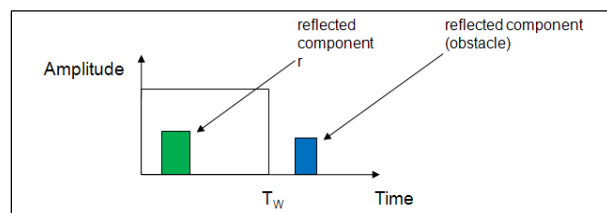


Bild 4.21: Schematische Darstellung des Ergebnisses der Subtraktion der Einzelergebnisse von erster und zweiter Messung

4.3.2 Impedanzrohr-Verfahren

Weist der Schallabsorptionsgrad der Fahrbahnoberfläche einen Wert kleiner 0,15 auf, ist die Messung der Schallabsorptionseigenschaften mit Hilfe des sogenannten Impedanzrohr-Verfahrens gemäß [DIN ISO 13472-2] durchzuführen. Dazu kann das Messsystem AFD 1000 - AcoustiTube® der Gesellschaft für Akustikforschung Dresden mbH eingesetzt werden (vgl. **Bild 4.22**).



Bild 4.22: Messtechnische Bestimmung des Schallabsorptionsgrads der Fahrbahnoberfläche auf Basis des Impedanzrohr-Verfahrens mit dem Messsystem AFD 1000 - AcoustiTube®

Die prinzipielle Messung des Schallabsorptionsgrads erfolgt auf Basis des in [DIN EN ISO 10354-2] beschriebenen Verfahrens mit Übertragungsfunktion. Dabei werden die Prüflinge im Impedanzrohr unmittelbar vor einem schallharten Abschluss positioniert. Ein Lautsprecher erzeugt ein weißes Rauschen, das sich als Ebene Welle im Rohr ausbreitet. Zwei vor dem Probekörper positionierte Mikrofone messen den komplexen Schalldruck. Aus der komplexen Übertragungsfunktion H_{12} beider Mikrofonensignale erfolgt anschließend die Berechnung des komplexen Reflexionsfaktors \underline{r} über

$$\underline{r} = \frac{H_{12} - H_I}{H_R - H_{12}} \cdot e^{2jk_0z_1} \quad (4.9)$$

Dabei sind

- k_0 die Wellenzahl in Luft,
- z_1 der Abstand zwischen Probekörper und dem der Probe abgewandten Mikrofon sowie
- H_I und H_R die Übertragungsfunktion von einfallender und reflektierter Schallwelle, welche durch Kenntnis des Mikrofonabstands definiert sind.

Der Schallabsorptionsgrad α für senkrechten Schalleinfall ergibt sich anschließend aus

$$\alpha = 1 - |\underline{r}|^2 \quad (4.10)$$

Durch den Innendurchmesser d des Impedanzrohrs ist die obere Grenzfrequenz

$$f_u = 0,58 \frac{c_0}{d} \quad (4.11)$$

definiert (Anwendung des Berechnungsmodells der Ebenen Welle). Somit ermöglicht der Einsatz eines Impedanzrohrs mit dem Durchmesser (100 ± 1) mm auf einer trockenen und homogenen Prüffläche des Fahrbahnbelags die Bestimmung des spektralen Schallabsorptionsgrads im Terzfrequenzbereich von 250 Hz bis 1600 Hz.

Abweichend zu [DIN EN ISO 10354-2] erfolgt die Beschallung der Probe in [DIN ISO 13472-2] über einen speziellen Probenhalter mit Krempe. Um eine akustisch dichte Ankopplung des Probenhalters an die Fahrbahnoberfläche zu gewährleisten, befindet sich an der Unterseite der Krempe ein Ring aus Dichtmasse.

Wie im Falle des Freifeld-Verfahrens ist eine Absolut-Kalibrierung der Messkette nicht notwendig. Allerdings muss, um eine höhere Messgenauigkeit bei tiefen Frequenzen zu erreichen, eine Referenzmessung auf einer vollständig reflektierenden Oberfläche durchgeführt werden. Die so ermittelten Ergebnisse werden verwendet, um den Schallabsorptionsgrad der eigentlichen Prüfoberfläche gemäß

$$\alpha_{\text{Belag}}(f) = \alpha_{\text{Messung}}(f) - \alpha_{\text{ref}}(f) \quad (4.12)$$

zu korrigieren.

Während der Messung muss die Lufttemperatur zwischen 5 °C und 35 °C und die Temperatur der Fahrbahnoberfläche zwischen 5 °C und 45 °C liegen.

Innerhalb der vorliegenden in situ Untersuchungen erfolgten die Messungen jeweils an vier Positionen in der Rollspur.

5 Messtechnische Untersuchungen

5.1 Messergebnisse

Die folgenden Abschnitte 5.1.1 bis 5.1.14 beinhalten die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen zur Ermittlung der Geräuschemission und der Fahrbahnparametern der Messstrecken I bis XIV. Die dazugehörigen detaillierten Messprotokolle sind Bestandteil des Anhangs des vorliegenden Berichts.

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. Dazu wurde das Mikrofon bei Messstrecken mit nur einem Richtungsfahrstreifen und ohne Standstreifen neben dem Gegenfahrstreifen des Messfahrstreifens positioniert.

Bezüglich der Messergebnisse des Verfahrens der Statistischen Vorbeifahrt ist zu bemerken, dass ergänzend zur DIN EN ISO 11819-1, in Anlehnung an [BARTOLOMAEUS, 2011] ein verschärfendes Kriterium eingeführt wurde. Vorbeifahrten, deren Differenz des maximalen Vorbeifahrtpegels zur Regressionsgeraden größer als die 2,58-fache Standardabweichung ist, werden als ungültig markiert und aussortiert. Für Normalverteilte Zufallsgrößen bedeutet dies, dass 99 % der Beobachtungswerte innerhalb dieses Intervalls liegen. Der Fahrzeuggeräuschpegel wird dann aus einer erneuten Regressionsanalyse der verbleibenden maximalen Vorbeifahrtpegel berechnet. Durch dieses zusätzliche Kriterium soll sichergestellt werden, dass eventuell falsch klassifizierte Fahrzeuge, Fahrzeuge mit unerkannten Defekten oder sonstige Störungen das Messergebnis nicht verfälschen. In Kapitel 5.2 sind die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen der Messstrecken I bis XIV gegenübergestellt. Es erfolgt eine Bewertung der verschiedenen Einflussgrößen im Hinblick auf eine zukünftige Optimierung der Minderung der Geräuschemission von Fahrbahnbelägen.

5.1.1 Messstrecke I

Prüfobjekt:

- Messort: K 9013 zwischen Ruppendorf und Beerwalde, Fahrtrichtung Ruppendorf, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.1
- Fahrbahnoberfläche: AC 8, s. Bild 5.2
- Baujahr: 2009



Bild 5.1: I: Messort



Bild 5.2: I: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -2,6$ dB, s. Bild 5.3
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 76,2$ dB(A)
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 80$ km/h
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 110
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: 0,1 dB/K
- Literaturangabe: $D_{Str0} = -2$ dB [ARS-1, 1991]

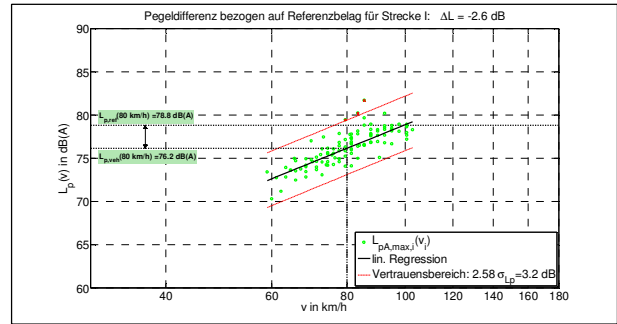


Bild 5.3: I: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 21,7$ kPa·s/m², s. Bild 5.4
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 6

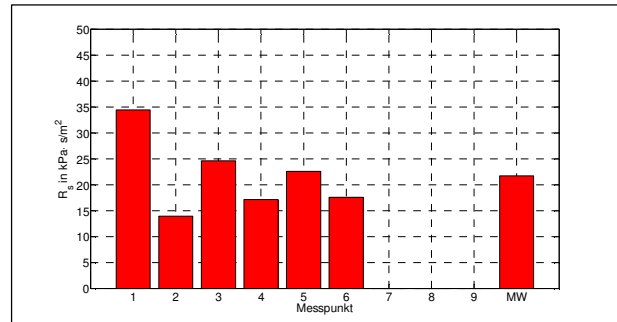


Bild 5.4: I: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.5
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

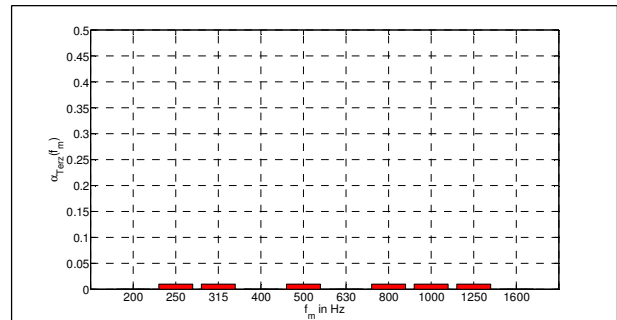
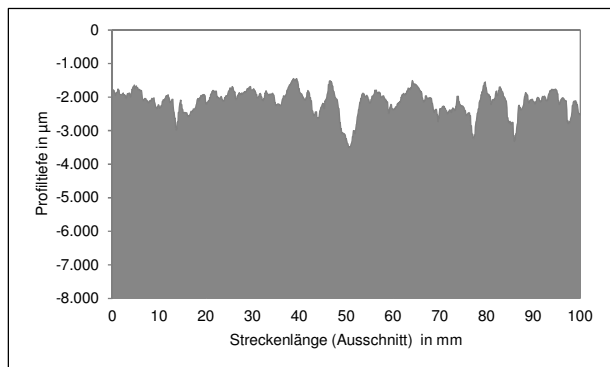
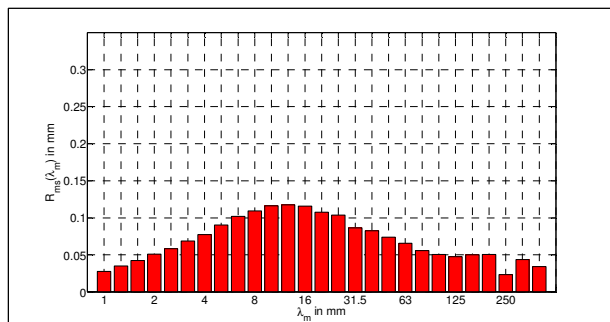
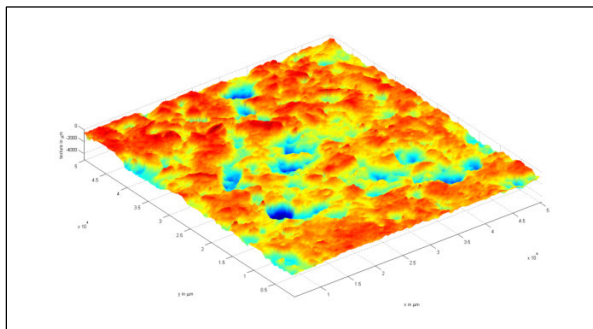


Bild 5.5: I: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.6 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.7
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.8
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,56 \text{ mm}$
- Standardabweichung: $\sigma = 0,10 \text{ mm}$
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,65 \text{ mm}$
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,36 \text{ mm}$
- Gestaltfaktor: $g = 83 \%$

**Bild 5.6:** I: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.7:** I: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.8:** I: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.2 Messstrecke II

Prüfobjekt:

- Messort: B 178 zwischen Herrnhut und Oberseifersdorf, Fahrtrichtung Herrnhut, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.9
- Fahrbahnoberfläche: AC 8, s. Bild 5.10
- Baujahr: 2009



Bild 5.9: II: Messort

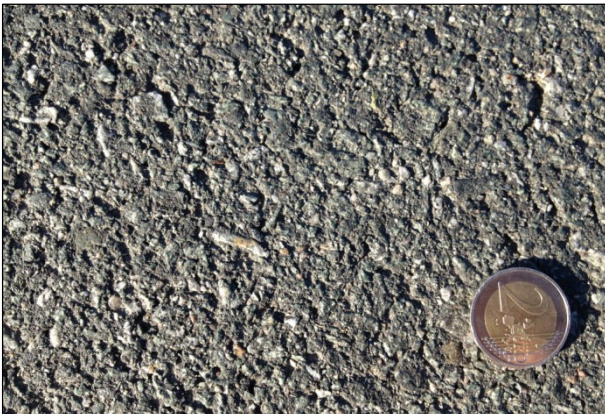


Bild 5.10: II: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -3,2 \text{ dB}$, s. Bild 5.11
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 79,0 \text{ dB(A)}$
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 100 \text{ km/h}$
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 104
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,1 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: $D_{Str0} = -2 \text{ dB}$ [ARS-1, 1991]

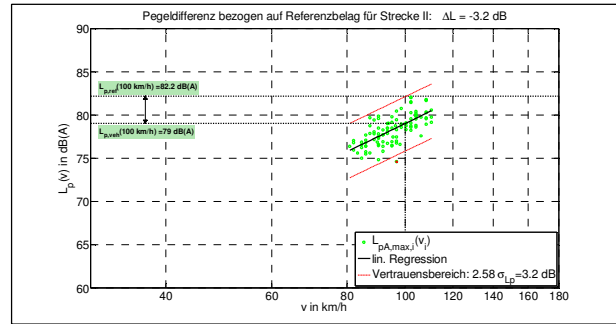


Bild 5.11:II: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 19,0 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, s. Bild 5.12
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 3

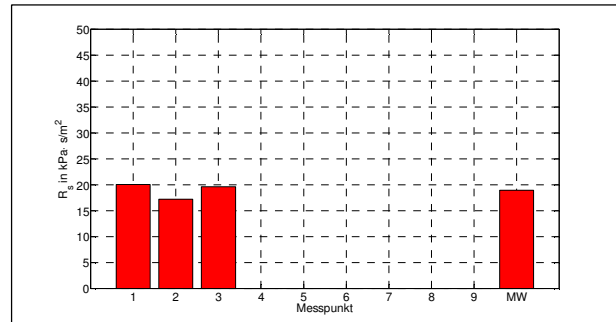


Bild 5.12: II: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.13
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

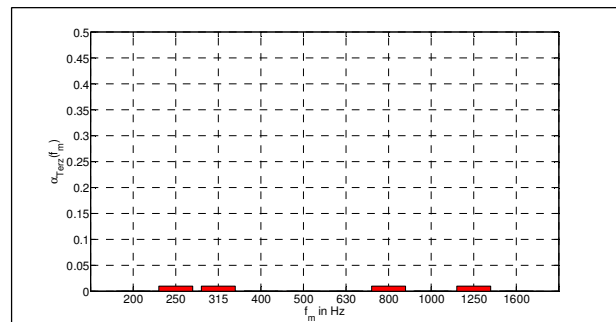
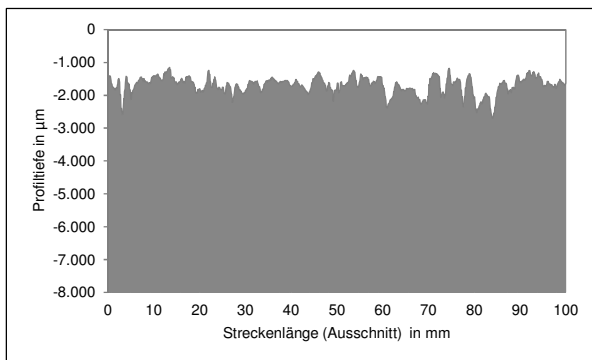
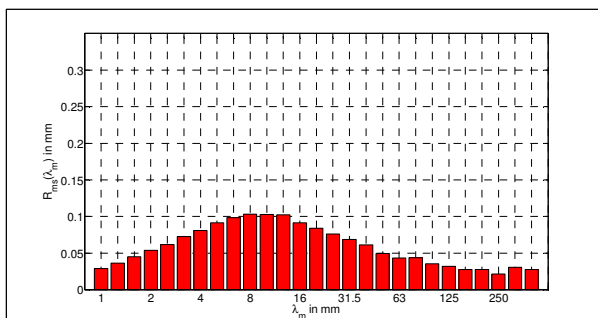
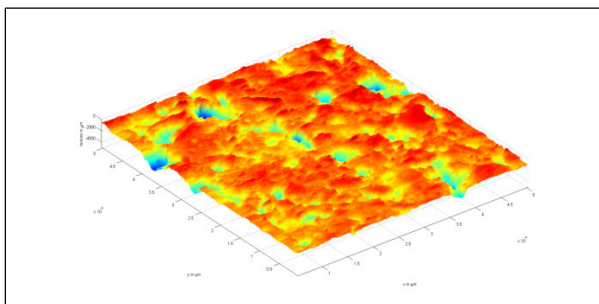


Bild 5.13: II: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.14 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.15
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.16
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,51$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,09$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,61$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,31$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 84$ %

**Bild 5.14:** II: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.15:** II: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.16:** II: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.3 Messstrecke III

Prüfobjekt:

- Messort: Bayreuth, Erlanger Straße, Fahrtrichtung Bismarckstraße, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.17
- Fahrbahnoberfläche: SMA/LA 8, s. Bild 5.18
- Baujahr: 2011



Bild 5.17: III: Messort



Bild 5.18: III: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -3,6 \text{ dB}$, s. Bild 5.19
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 69,1 \text{ dB(A)}$
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 50 \text{ km/h}$
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 115
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,06 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 4 dB bis 5 dB

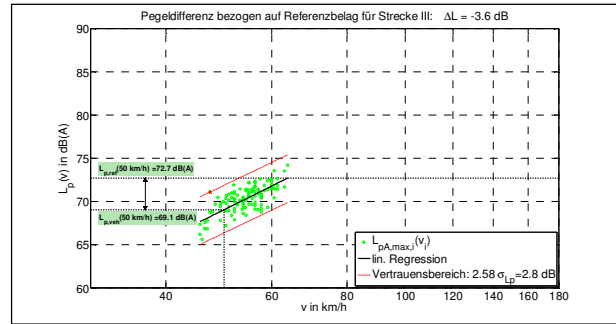


Bild 5.19: III: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 5,6 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.20
 - Rollspur: rechts
 - Anzahl Messpunkte: 4

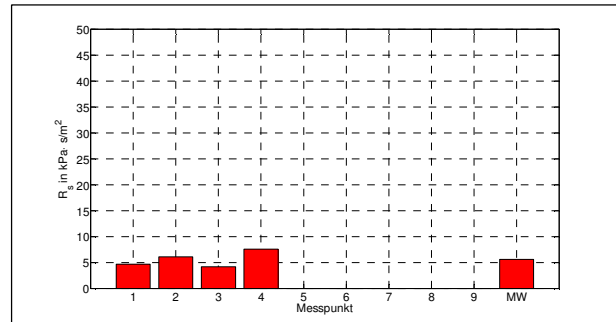


Bild 5.20: III: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.21
 - Rollspur: rechts
 - Anzahl Messpunkte: 4

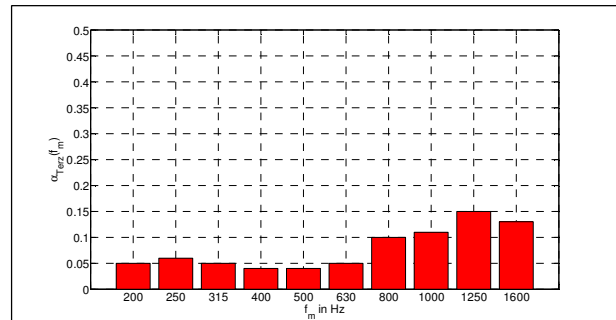
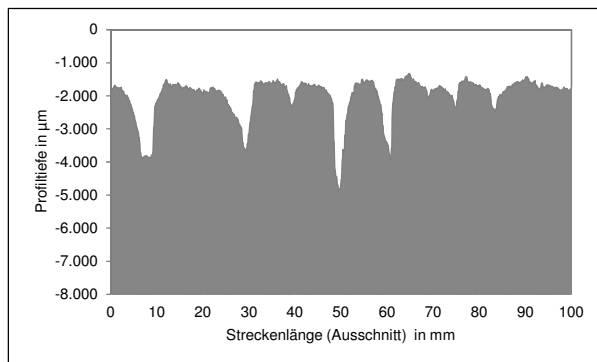
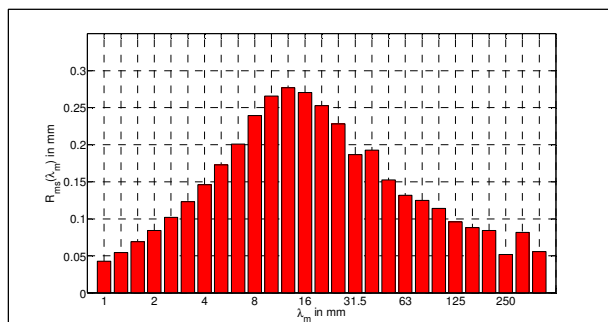
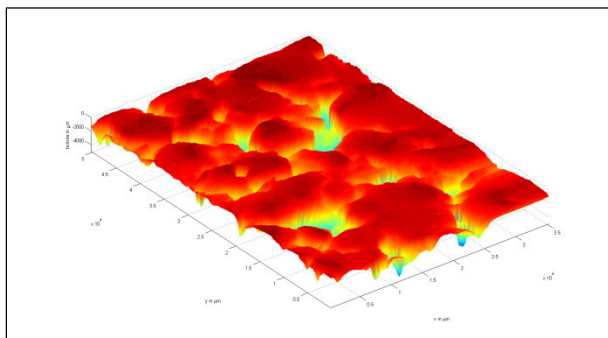


Bild 5.21: III: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: rechts
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.22 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.23
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.24
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,88 \text{ mm}$
- Standardabweichung: $\sigma = 0,19 \text{ mm}$
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,90 \text{ mm}$
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,80 \text{ mm}$
- Gestaltfaktor: $g = 90 \%$

**Bild 5.22:** III: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.23:** III: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.24:** III: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.4 Messstrecke IV

Prüfobjekt:

- Messort: BAB 73 bei Erlangen, km 132, Fahrtrichtung Nord, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.25
- Fahrbahnoberfläche: SMA/LA8, s. Bild 5.26
- Baujahr: 2010



Bild 5.25: IV: Messort



Bild 5.26: IV: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -4,1$ dB, s. Bild 5.27
- Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 78,1$ dB(A)
- Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 100$ km/h
- Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 92
- Temperaturkorrekturkoeffizient: 0,06 dB/K
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 4 dB bis 5 dB

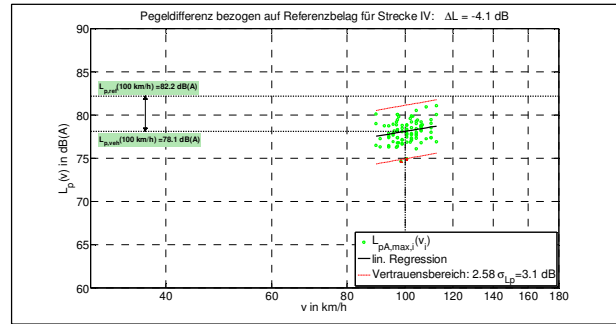


Bild 5.27: IV: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 3,0$ kPa·s/m², s. Bild 5.28
- Rollspur: rechts
- Anzahl Messpunkte: 4

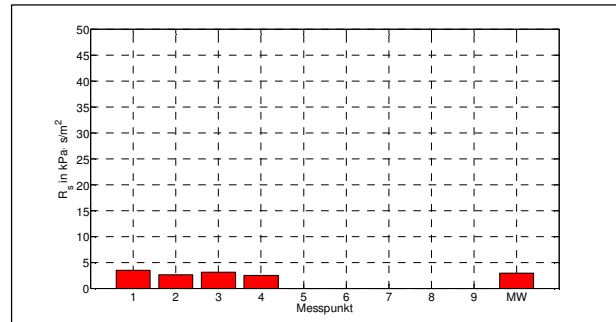


Bild 5.28: IV: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.29
- Rollspur: rechts
- Anzahl Messpunkte: 4

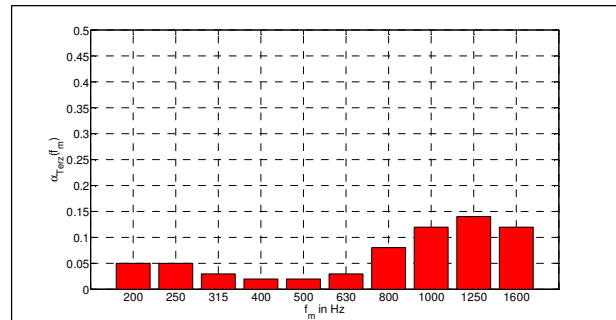
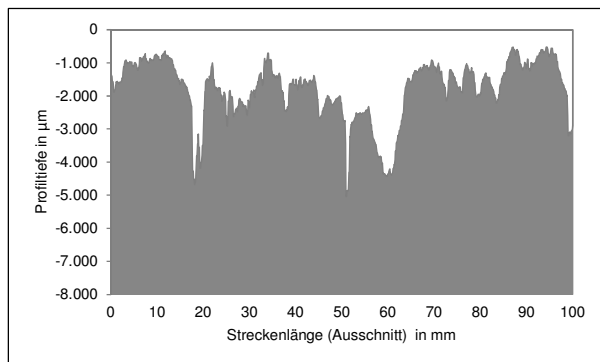
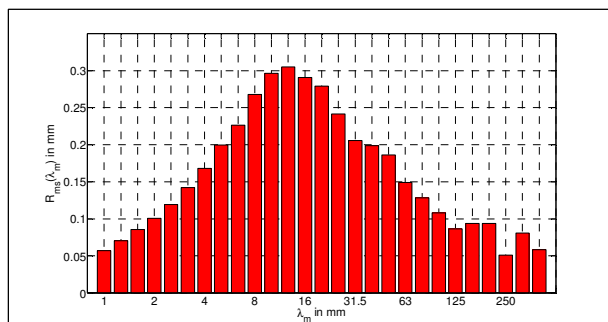
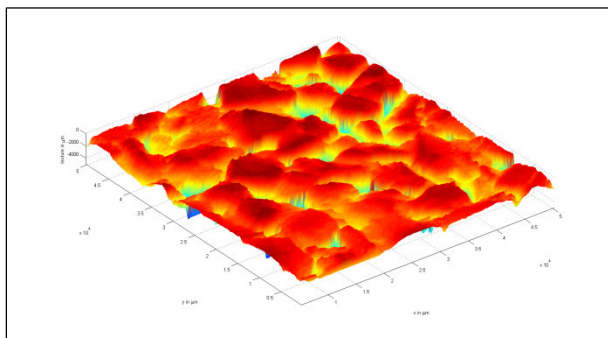


Bild 5.29: IV: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: rechts
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.30 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.31
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.32
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 1,06$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,20$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 1,05$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,87$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 89$ %

**Bild 5.30:** IV: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.31:** IV: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.32:** IV: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.5 Messstrecke V

Prüfobjekt:

- Messort: S 93 zwischen Liebenau und S 100, Fahrtrichtung Liebenau, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.33
- Fahrbahnoberfläche: DSK 5, s. Bild 5.34
- Baujahr: 2008



Bild 5.33: V: Messort



Bild 5.34: V: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -3,0$ dB, s. Bild 5.35
- Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 75,8$ dB(A)
- Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 80$ km/h
- Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 117
- Temperaturkorrekturkoeffizient: 0,06 dB/K
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 2 dB

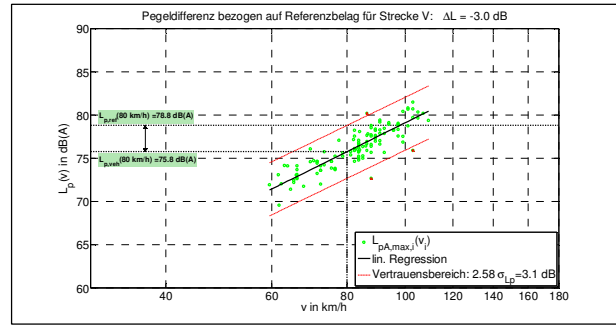


Bild 5.35: V: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 4,2$ kPa·s/m², s. Bild 5.36
- Rollspur: links
- Anzahl Messpunkte: 5

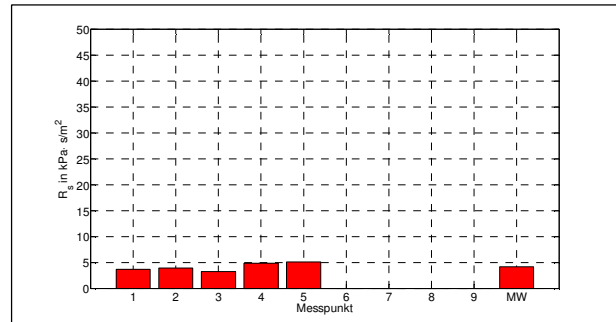


Bild 5.36: V: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.37
- Rollspur: links
- Anzahl Messpunkte: 4

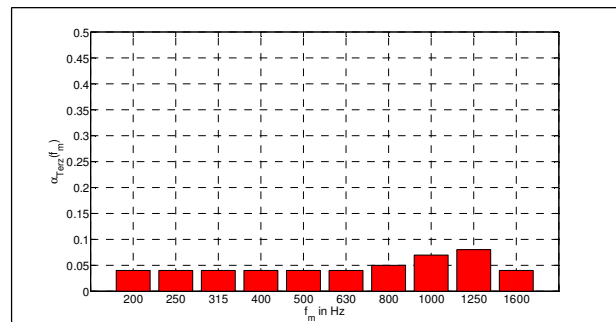
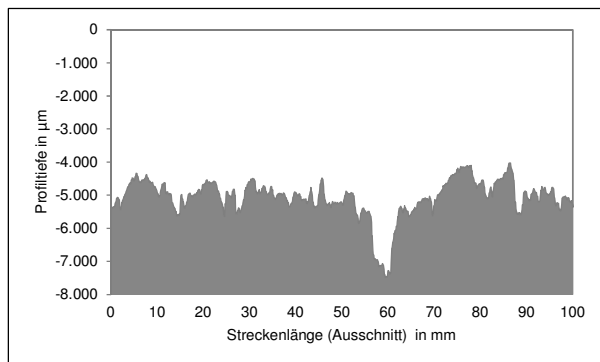
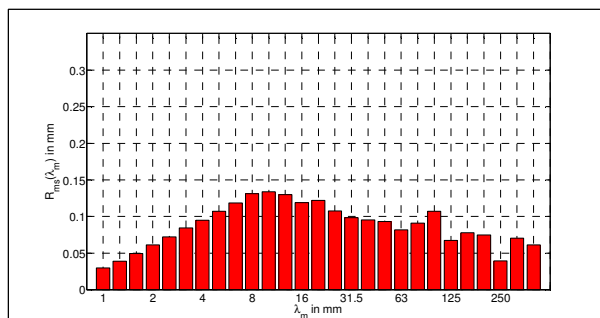
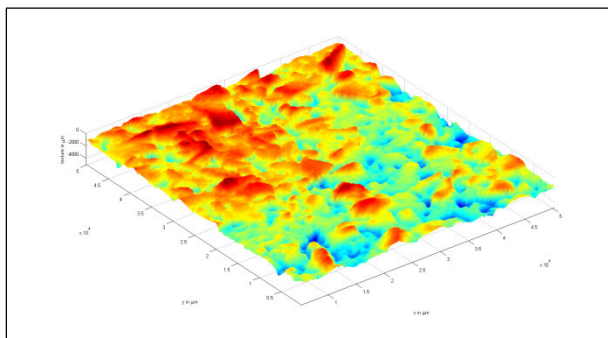


Bild 5.37: V: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.38 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.39
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.40
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,91$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,17$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,93$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,42$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 66$ %

**Bild 5.38:** V: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.39:** V: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.40:** V: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.6 Messstrecke VI

Prüfobjekt:

- Messort: S 95 zwischen Dörghenhausen und Wittichenau, Fahrtrichtung Wittichenau, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.41
- Fahrbahnoberfläche: DSK 5, s. Bild 5.42
- Baujahr: 2008



Bild 5.41: VI: Messort



Bild 5.42: VI: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -1,4 \text{ dB}$, s. Bild 5.43
- Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 77,4 \text{ dB(A)}$
- Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 80 \text{ km/h}$
- Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 131
- Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,06 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 2 dB

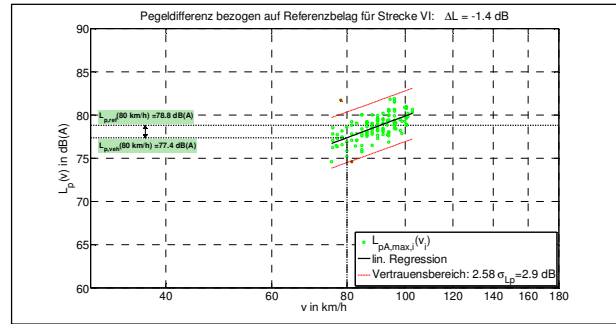


Bild 5.43: VI: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 5,8 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.44
- Rollspur: links
- Anzahl Messpunkte: 4

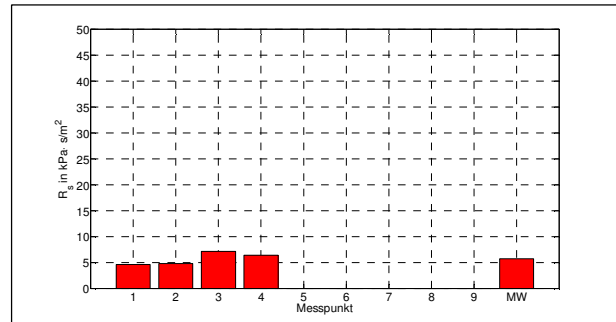


Bild 5.44: VI: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.45
- Rollspur: links
- Anzahl Messpunkte: 4

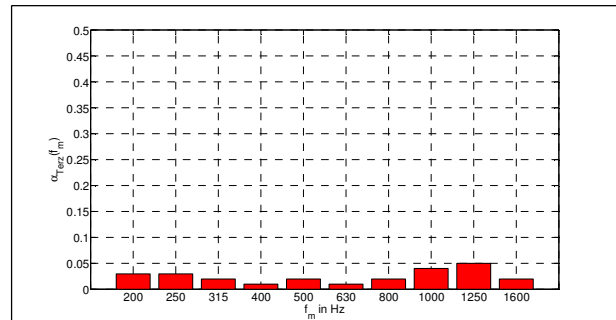
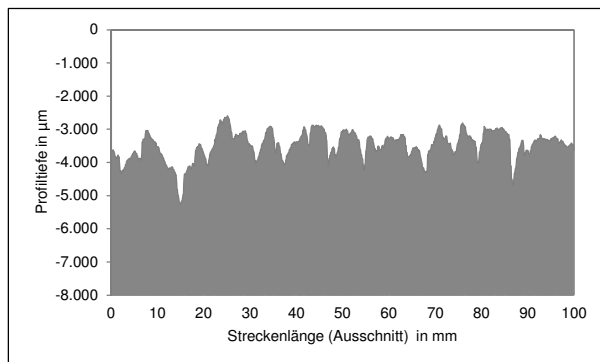
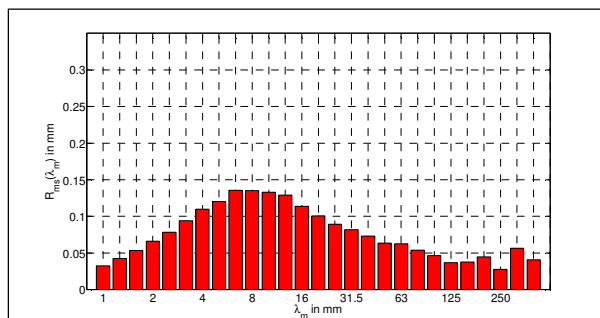
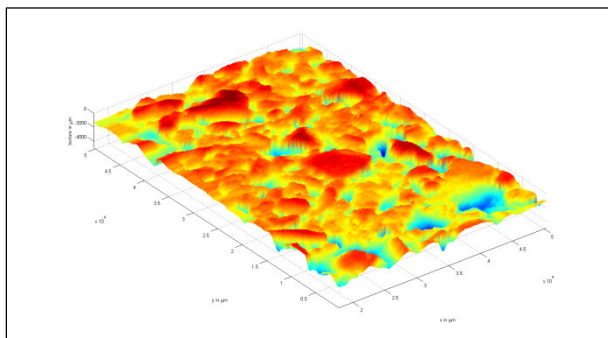


Bild 5.45: VI: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.46 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.47
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.48
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,79$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,13$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,83$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,41$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 75$ %

**Bild 5.46:** VI: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.47:** VI: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.48:** VI: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.7 Messstrecke VII

Prüfobjekt:

- Messort: B 6 zwischen Großharthau und Goldbach, Fahrtrichtung Großharthau, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.49
- Fahrbahnoberfläche: DSH-V 5, s. Bild 5.50
- Baujahr: 2011



Bild 5.49: VII: Messort



Bild 5.50: VII: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -6,3$ dB, s. Bild 5.51
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 75,9$ dB(A)
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 100$ km/h
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 104
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: 0,1 dB/K
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 5 dB bis 7 dB

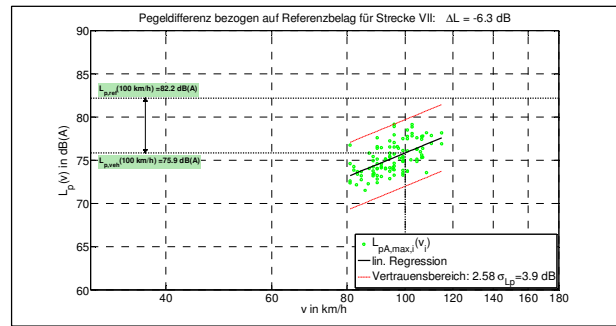


Bild 5.51: VII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 28,8$ kPa·s/m², s. Bild 5.52
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 5

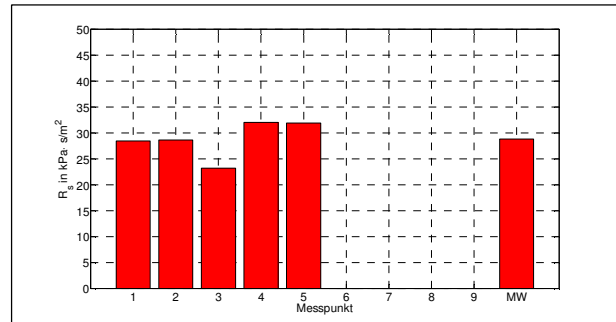


Bild 5.52: VII: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.53
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

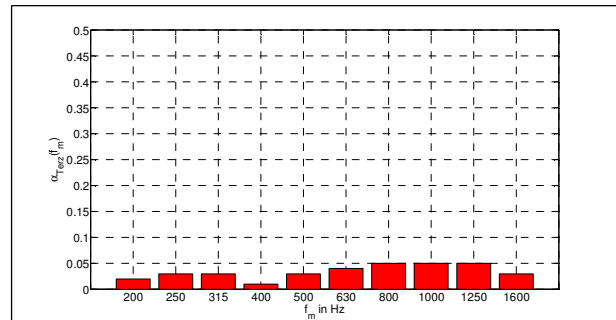
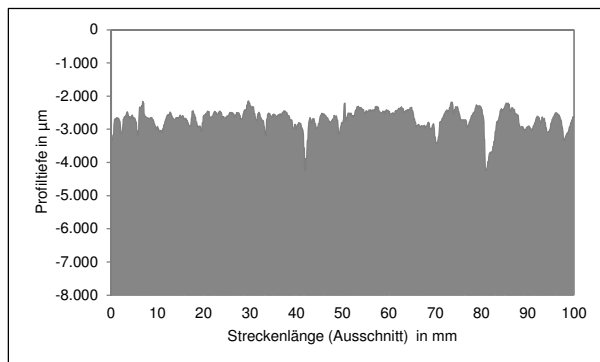
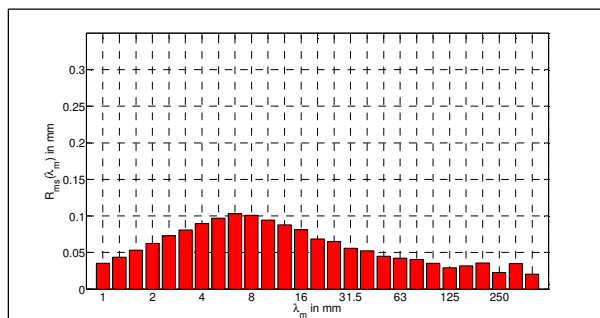
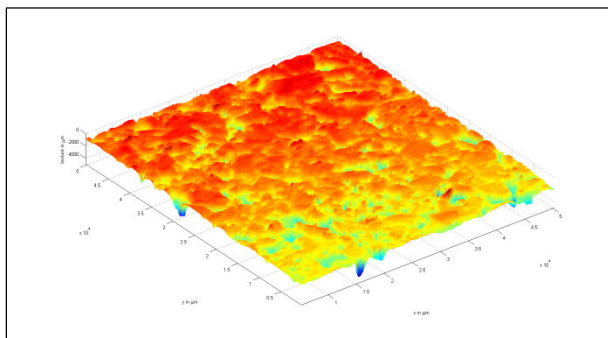


Bild 5.53: VII: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.54 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.55
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.56
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,46$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,08$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,57$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,30$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 89$ %

**Bild 5.54:** VII: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.55:** VII: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.56:** VII: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.8 Messstrecke VIII

Prüfobjekt:

- Messort: S 106 zwischen Dreistern und BAB 4, Fahrtrichtung BAB 4, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.57
- Fahrbahnoberfläche: DSH-V 5, s. Bild 5.58
- Baujahr: 2011



Bild 5.57: VIII: Messort



Bild 5.58: VIII: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -4,5 \text{ dB}$, s. Bild 5.59
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 74,3 \text{ dB(A)}$
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 80 \text{ km/h}$
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 127
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,1 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 5 dB bis 7 dB

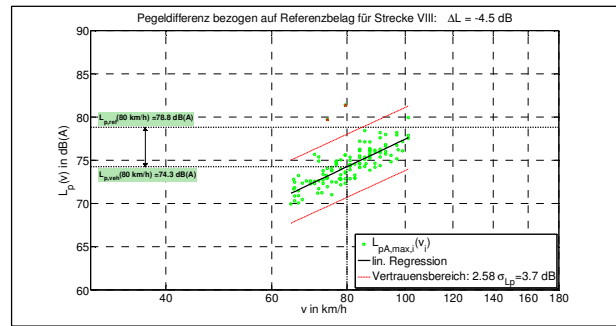


Bild 5.59: VIII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 38,7 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.60
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 6

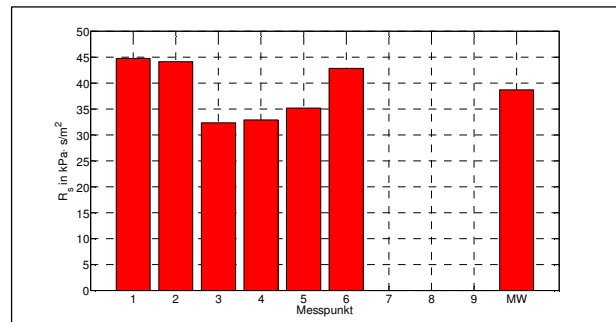


Bild 5.60: VIII: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.61
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

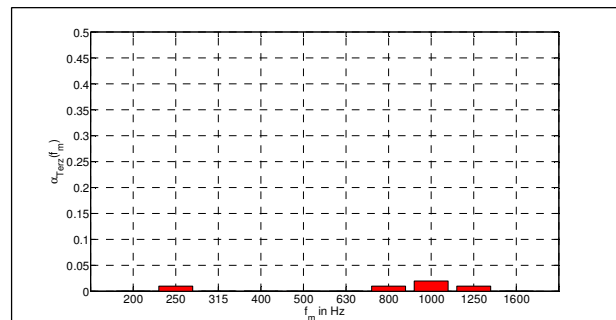
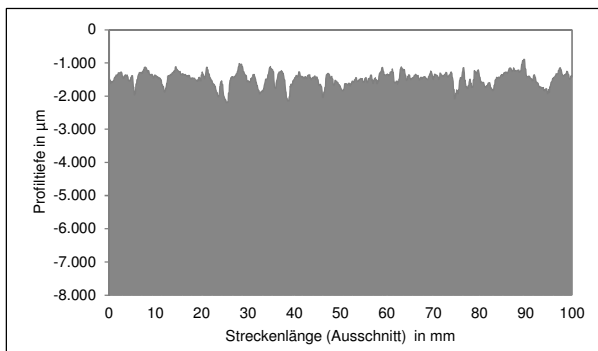
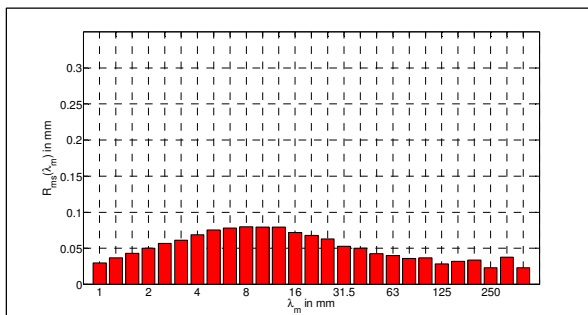
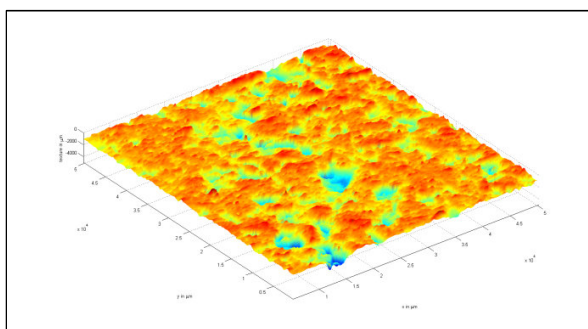


Bild 5.61: VIII: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.62 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.63
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.64
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,44$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,07$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,55$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,25$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 84$ %

**Bild 5.62:** VIII: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.63:** VIII: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.64:** VIII: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.9 Messstrecke IX

Prüfobjekt:

- Messort: Brünnner Straße Leipzig, zwischen Antonienstraße und Lützner Straße, Fahrtrichtung Lützner Straße, 2. Fahrstreifen, s. Bild 5.65
- Fahrbahnoberfläche: LOA 5D, s. Bild 5.66
- Baujahr: 2012



Bild 5.65: IX: Messort



Bild 5.66: IX: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -4,2 \text{ dB}$, s. Bild 5.67
- Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 68,5 \text{ dB(A)}$
- Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 50 \text{ km/h}$
- Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 89
- Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,1 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 5 dB

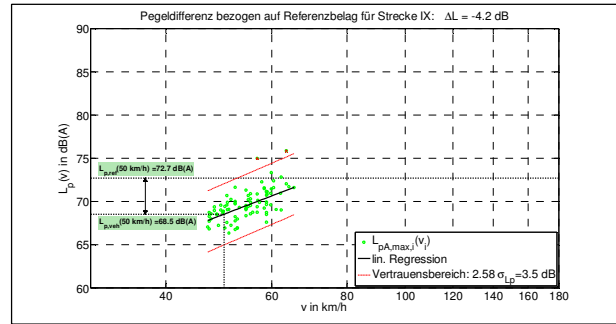


Bild 5.67: IX: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 20,5 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.68
- Rollspur: rechts
- Anzahl Messpunkte: 4

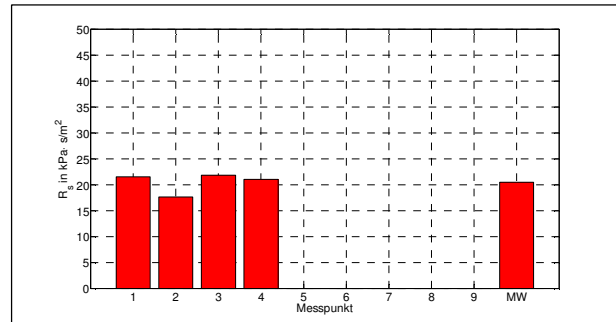


Bild 5.68: IX: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.69
- Rollspur: rechts
- Anzahl Messpunkte: 4

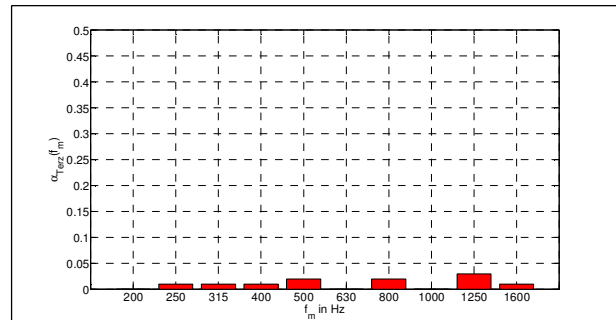
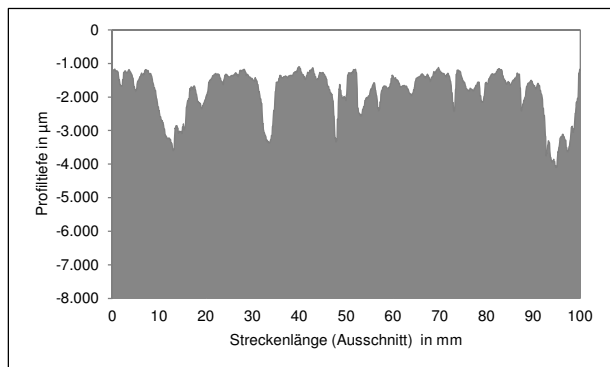
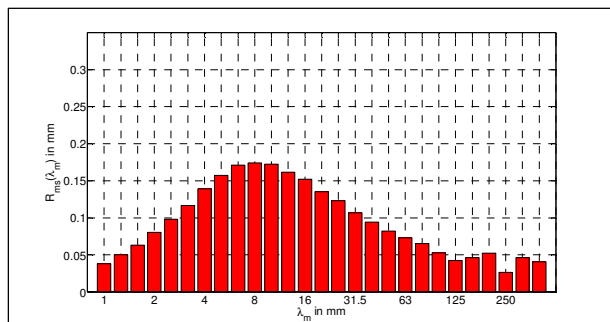
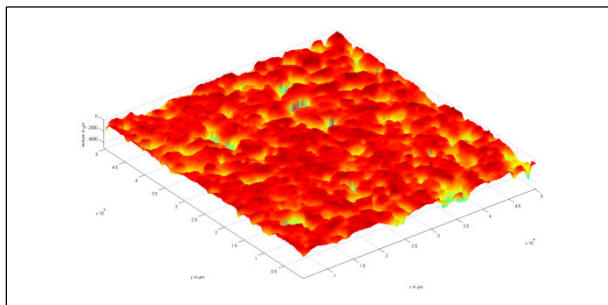


Bild 5.69: IX: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: rechts
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.70 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.71
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.72
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,65 \text{ mm}$
- Standardabweichung: $\sigma = 0,11 \text{ mm}$
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,72 \text{ mm}$
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,51 \text{ mm}$
- Gestaltfaktor: $g = 88 \%$

**Bild 5.70:** IX: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.71:** IX: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.72:** IX: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.10 Messstrecke X

Prüfobjekt:

- Messort: Hechtstraße Dresden, zwischen Hansastraße und Buchenstraße, Fahrtrichtung Hansastraße, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.73
- Fahrbahnoberfläche: LOA 5D, s. Bild 5.74
- Baujahr: 2010



Bild 5.73: X: Messort



Bild 5.74: X: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -3,6$ dB, s. Bild 5.75
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 69,1$ dB(A)
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 50$ km/h
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 106
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: 0,1 dB/K
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 5 dB

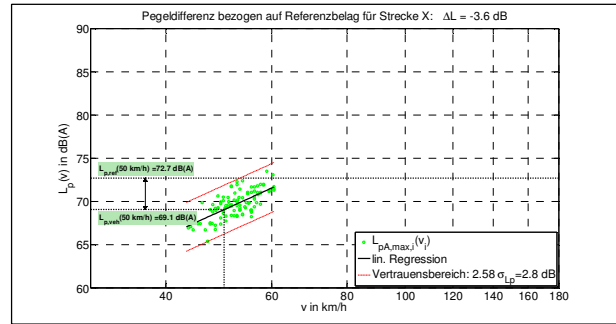


Bild 5.75: X: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 20,8$ kPa·s/m², s. Bild 5.76
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 5

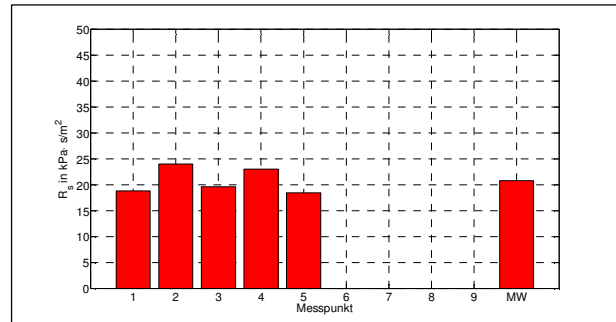


Bild 5.76: X: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.77
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

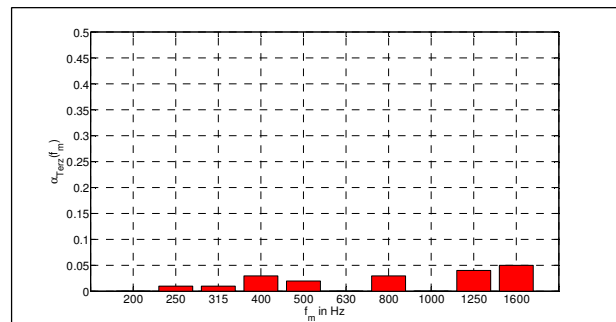
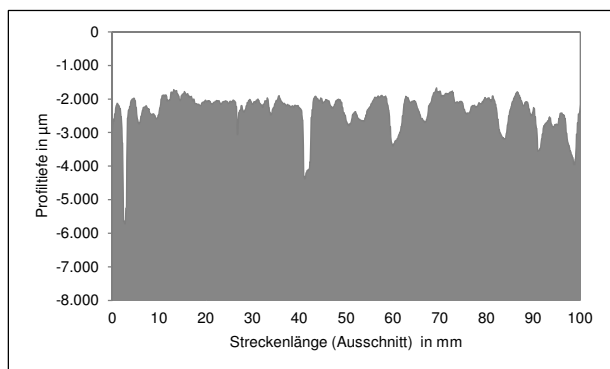
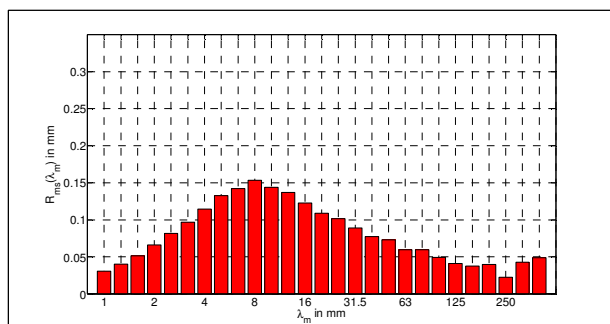
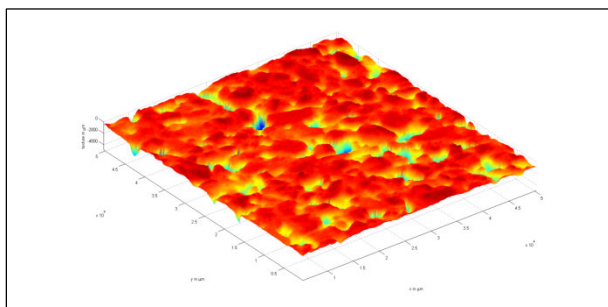


Bild 5.77: X: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.78 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.79
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.80
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,54$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,08$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,63$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,43$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 91$ %

**Bild 5.78:** X: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.79:** X: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.80:** X: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.11 Messstrecke XI

Prüfobjekt:

- Messort: BAB 24 bei Wittenburg, km 69, Fahrtrichtung Berlin, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.81
- Fahrbahnoberfläche: PMA 5, s. Bild 5.82
- Baujahr: 2011



Bild 5.81: XI: Messort



Bild 5.82: XI: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -4,5$ dB, s. Bild 5.83
- Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 80,7$ dB(A)
- Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 120$ km/h
- Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 115
- Temperaturkorrekturkoeffizient: 0,06 dB/K
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 4 dB bis 5 dB

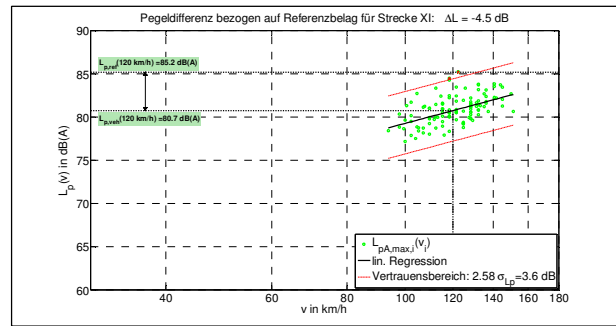


Bild 5.83: XI: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 7,3$ kPa·s/m², s. Bild 5.84
- Rollspur: rechts
- Anzahl Messpunkte: 6

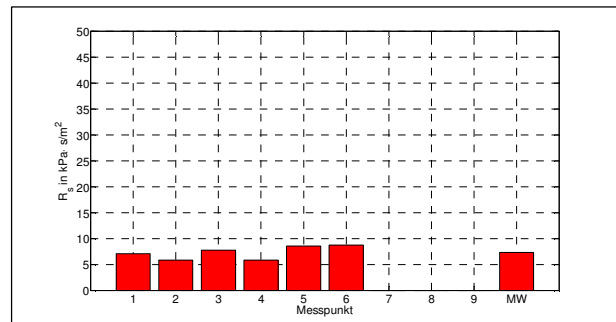


Bild 5.84: XI: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.85
- Rollspur: rechts
- Anzahl Messpunkte: 4

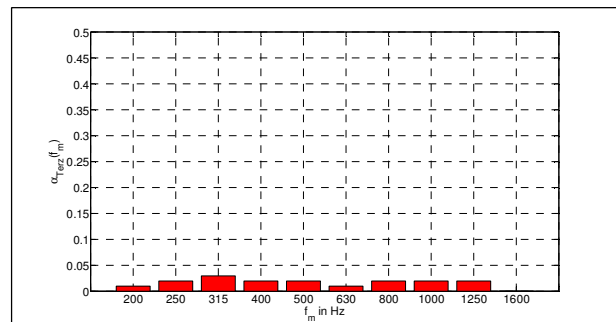
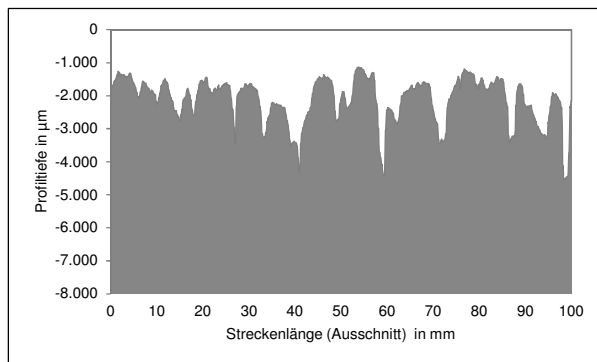
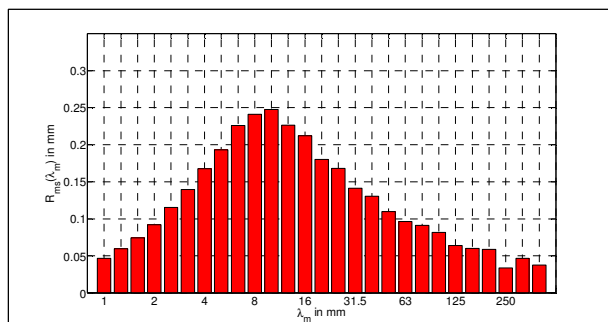
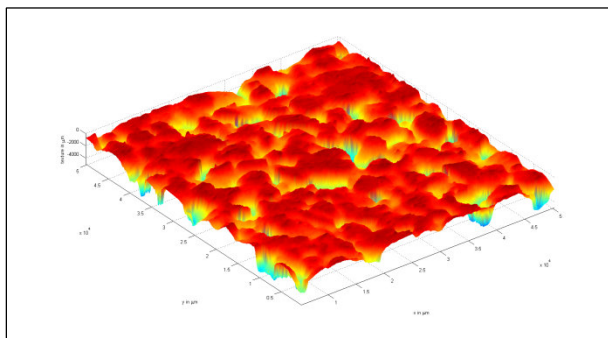


Bild 5.85: XI: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: rechts
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.86 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.87
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.88
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,83$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,13$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,86$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,69$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 90$ %

**Bild 5.86:** XI: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.87:** XI: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.88:** XI: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.12 Messstrecke XII

Prüfobjekt:

- Messort: BAB 24 bei Neustadt-Glewe, km 105, Fahrtrichtung Berlin, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.89
- Fahrbahnoberfläche: PMA 5, s. Bild 5.90
- Baujahr: 2011



Bild 5.89: XII: Messort



Bild 5.90: XII: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -3,9 \text{ dB}$, s. Bild 5.91
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 81,3 \text{ dB(A)}$
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 120 \text{ km/h}$
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 135
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,06 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: Minderungspotential ca. 4 dB bis 5 dB

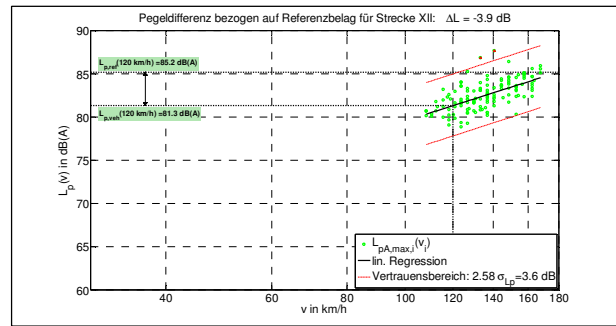


Bild 5.91: XII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 5,6 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.92
 - Rollspur: rechts
 - Anzahl Messpunkte: 5

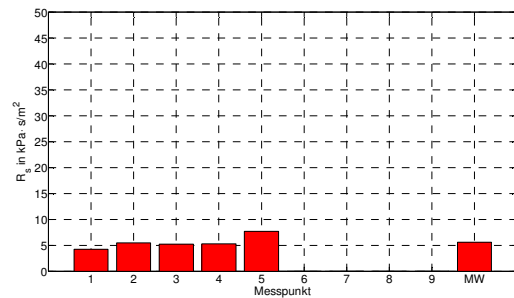


Bild 5.92: XII: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.93
 - Rollspur: rechts
 - Anzahl Messpunkte: 4

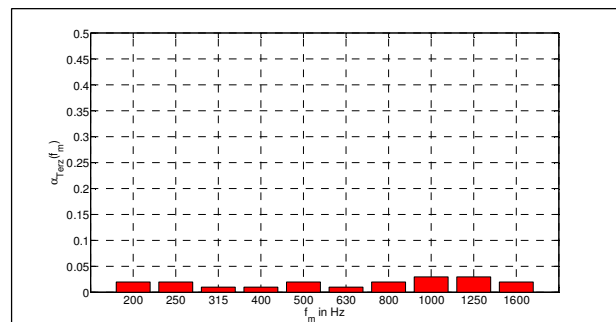
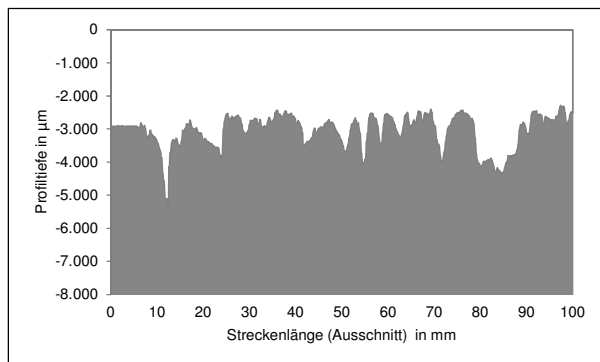
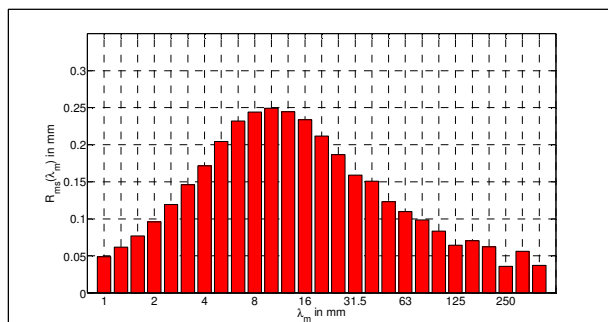
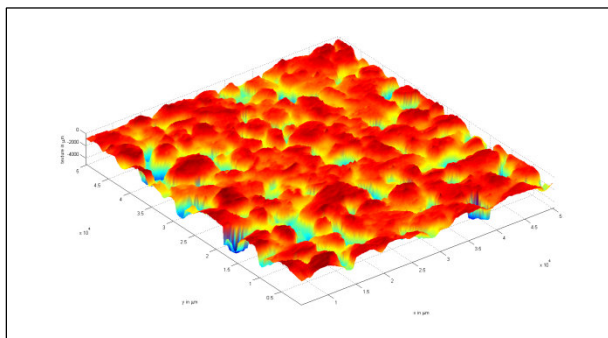


Bild 5.93: XII: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: rechts
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.94 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.95
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.96
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,89$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,15$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,91$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,74$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 89$ %

**Bild 5.94:** XII: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.95:** XII: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.96:** XII: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.13 Messstrecke XIII

Prüfobjekt:

- Messort: B 98 zwischen Lampertswalde und Quersa, Fahrtrichtung Quersa, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.97
- Fahrbahnoberfläche: SMA 8 mit Abspaltung: Lieferkörnung 2/5 (Edelsplitt), s. Bild 5.98
- Baujahr: 2009



Bild 5.97: XIII: Messort



Bild 5.98: XIII: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -0,4 \text{ dB}$, s. Bild 5.99
 - Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 78,4 \text{ dB(A)}$
 - Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 80 \text{ km/h}$
 - Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 106
 - Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,1 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: $D_{Str0} = 0 \text{ dB}$ [RLS 90, 1992]

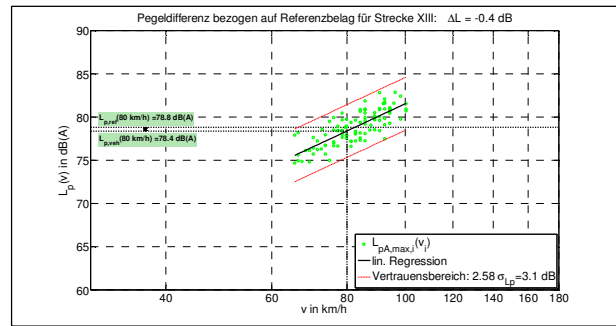


Bild 5.99: XIII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 10,1 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.100
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

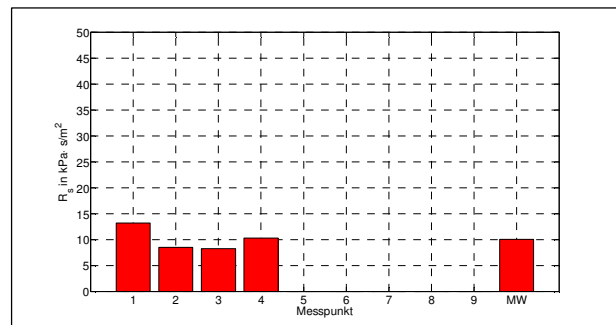


Bild 5.100: XIII: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.101
 - Rollspur: links
 - Anzahl Messpunkte: 4

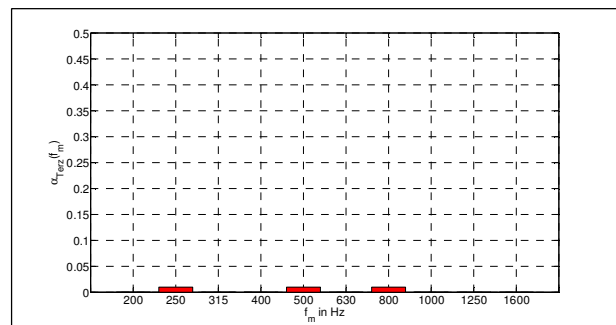
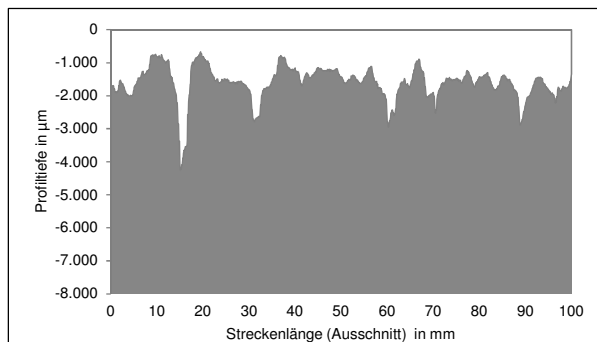
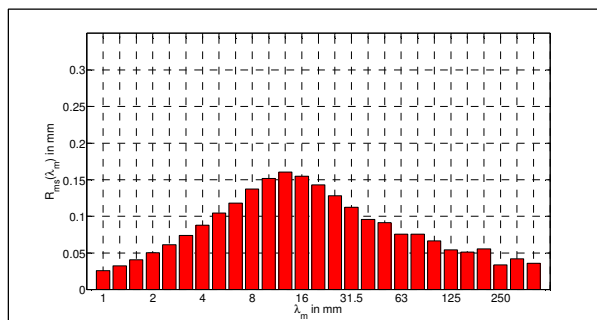
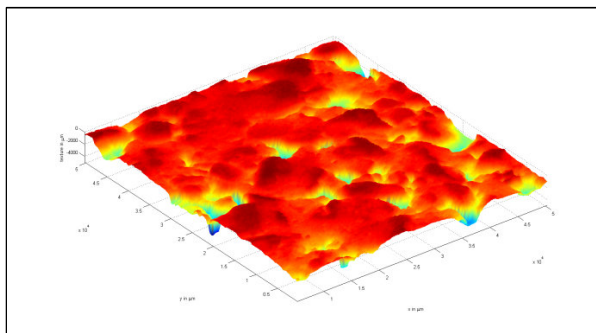


Bild 5.101: XIII: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.102 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.103
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.104
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,72$ mm
- Standardabweichung: $\sigma = 0,14$ mm
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,78$ mm
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,46$ mm
- Gestaltfaktor: $g = 87$ %

**Bild 5.102:** XIII: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.103:** XIII: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.104:** XIII: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.14 Messstrecke XIV

Prüfobjekt:

- Messort: B 156, westlich von Bluno, Fahrtrichtung Bluno, 1. Fahrstreifen, s. Bild 5.105
- Fahrbahnoberfläche: SMA 8 mit Absplittung: Lieferkörnung 1/3, s. Bild 5.106
- Baujahr: 2009



Bild 5.105: XIV: Messort



Bild 5.106: XIV: Fahrbahnoberfläche

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: $\Delta L = -0,5 \text{ dB}$, s. Bild 5.107
- Fahrzeuggeräuschpegel für PKW für Referenzgeschwindigkeit: $L_{p,PKW,Prüfbelag} = 81,7 \text{ dB(A)}$
- Referenzgeschwindigkeit: $v_{ref} = 100 \text{ km/h}$
- Anzahl gültiger Vorbeifahrten: 101
- Temperaturkorrekturkoeffizient: $0,1 \text{ dB/K}$
- Literaturangabe: $D_{stro} = 0 \text{ dB}$ [RLS 90, 1992]

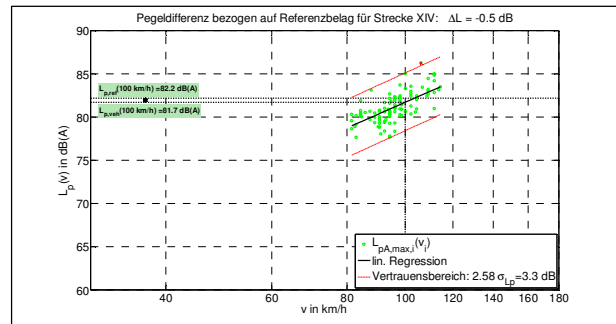


Bild 5.107: XIV: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff} = 20,4 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$, s. Bild 5.108
- Rollspur: links
- Anzahl Messpunkte: 3

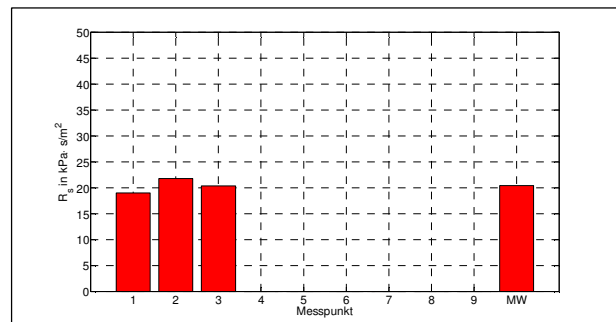


Bild 5.108: XIV: Effektiver spezifischer Strömungswiderstand

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. Bild 5.109
- Rollspur: links
- Anzahl Messpunkte: 4

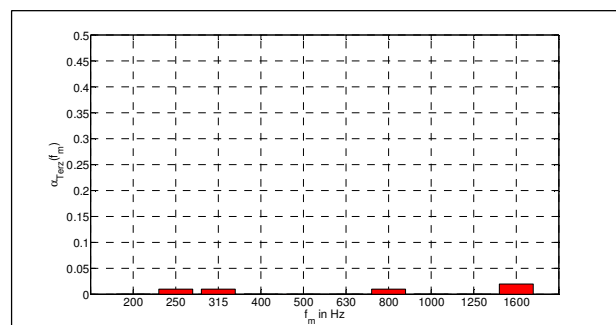
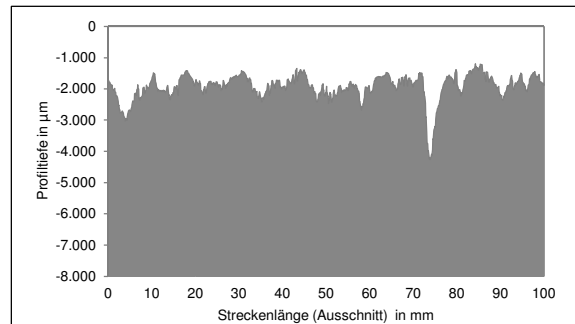
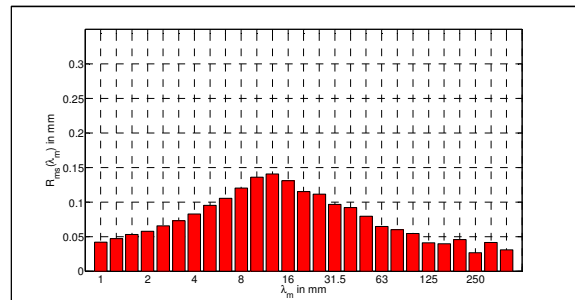
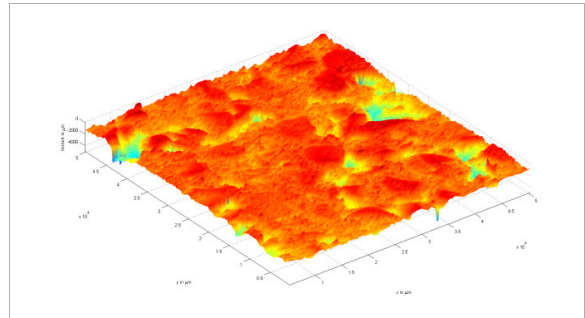


Bild 5.109: XIV: Mittleres Schallabsorptionsgradspektrum (Terzbandspektrum)

Textur:

- Rollspur: links
- Anzahl Profillinien von 2 m Länge: 33
- Anzahl ungültiger Messwerte: 0 %
- exemplarische Profilkurve: s. Bild 5.110 (Ausschnitt)
- Texturwellenlängenspektrum: s. Bild 5.111
- exemplarischer Texturausschnitt: s. Bild 5.112
- mittlere Profiltiefe: $MPD = 0,63 \text{ mm}$
- Standardabweichung: $\sigma = 0,11 \text{ mm}$
- geschätzte Texturtiefe: $ETD = 0,70 \text{ mm}$
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: $RMS = 0,39 \text{ mm}$
- Gestaltfaktor: $g = 84 \%$

**Bild 5.110:**XIV: Exemplarische Profilkurve (Ausschnitt)**Bild 5.111:** XIV: Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum)**Bild 5.112:** XIV: Exemplarischer Texturausschnitt

5.1.15 Übersicht

Tab. 5.1 zeigt eine Übersicht der in Abschnitt 5.1.1 bis 5.1.14 dargestellten Messergebnisse für die Messstrecken I – XIV.

	Belag	ETD	RMS	MPD	g	λ_{\max}	RMS(λ_{\max})	gL	Rs	N_{Fzge}	ΔL_{Ref}
		mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	kPa·s/m		dB
I	AC 8	0,65	0,36	0,56	83	12,5	0,12	1033	21,7	121	-2,6
II	AC 8	0,61	0,31	0,51	84	10	0,10	838	19,0	113	-3,2
III	SMA/LA 8	0,90	0,80	0,88	90	12,5	0,28	1122	5,6	126	-3,6
IV	SMA/LA 8	1,05	0,87	1,06	89	12,5	0,31	1110	3,0	98	-4,1
V	DSK 5	0,93	0,42	0,91	66	10	0,13	655	4,2	130	-3,0
VI	DSK 5	0,83	0,41	0,79	75	8	0,14	603	5,8	144	-1,4
VII	DSH-V 5	0,57	0,30	0,46	89	6,3	0,10	559	28,8	114	-6,3
VIII	DSH-V 5	0,55	0,25	0,44	84	8	0,08	668	38,7	140	-4,5
IX	LOA 5D	0,72	0,51	0,65	88	8	0,17	705	20,5	98	-4,2
X	LOA 5D	0,63	0,43	0,54	91	8	0,15	726	20,8	116	-3,6
XI	PMA 5	0,86	0,69	0,83	90	10	0,25	903	7,3	126	-4,5
XII	PMA 5	0,91	0,74	0,89	89	10	0,25	890	5,6	147	-3,9
XIII	SMA 8	0,78	0,46	0,72	87	12,5	0,16	1086	10,1	117	-0,4
XIV	SMA 8	0,70	0,39	0,63	84	12,5	0,14	1055	20,4	112	-0,5

Tab. 5.1: I-XIV: Gegenüberstellung der Messergebnisse

5.2 Auswertung der Messergebnisse der Messstrecken I bis XIV

Geräuschemission:

- Pegeldifferenz der Fahrbahnoberfläche gegenüber Referenzbelag: ΔL , s. **Bild 3.1**

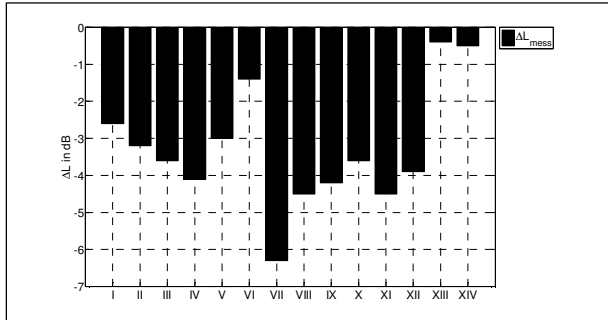


Bild 5.113: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/PAS 11819-4, 2011]

Strömungswiderstand:

- mittlerer effektiver spezifischer Strömungswiderstand: $R_{s,eff}$, s. **Bild 5.114**

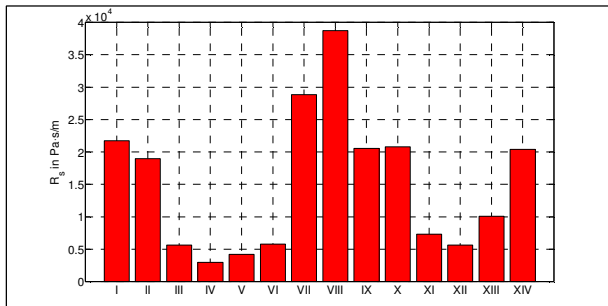


Bild 5.114: I-XIV: Vergleich des effektiven spezifischen Strömungswiderstands $R_{s,eff}$ (Mittelwert über mindestens drei Positionen)

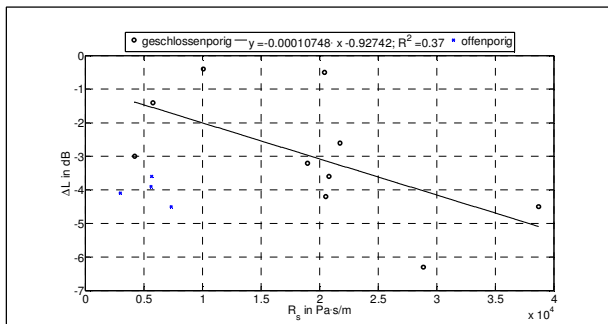


Bild 5.115: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von $R_{s,eff}$; Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,37$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

Schallabsorptionsgrad:

- mittlerer spektraler Schallabsorptionsgrad (Terzbandspektrum): α , s. **Bild 5.116**

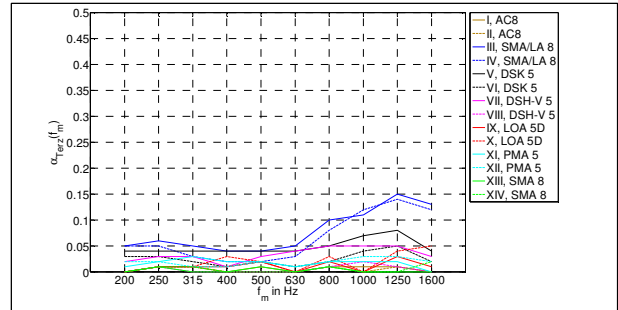


Bild 5.116: I-XIV: Vergleich des mittleren Schallabsorptionsgradspektrums (Terzbandspektrum) α (Mittelwert über vier Positionen)

Textur:

- Texturwellenlängenspektrum (Terzbandspektrum): $R_{ms}(\lambda_m)$, s. **Bild 5.117**
- Maximum des Texturwellenlängenspektrums: $R_{ms}(\lambda_{max})$, s. **Bild 5.118**
- Wellenlänge an der Stelle des Maximums des Texturwellenlängenspektrums: λ_{max} , s. **Bild 5.120**
- mittlere Profiltiefe: MPD , s. **Bild 5.122**
- geschätzte Texturtiefe: ETD , s. **Bild 5.124**
- quadratischer Mittelwert der Texturtiefe: RMS , s. **Bild 5.126**
- Gestaltfaktor: g , s. **Bild 5.128**
- Gestaltlänge: g_L , s. **Bild 5.130**

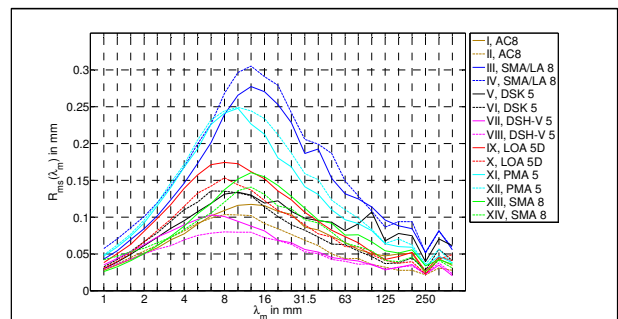


Bild 5.117: I-XIV: Vergleich des Texturwellenlängenspektrums (Terzbandspektrum) $R_{ms}(\lambda_m)$

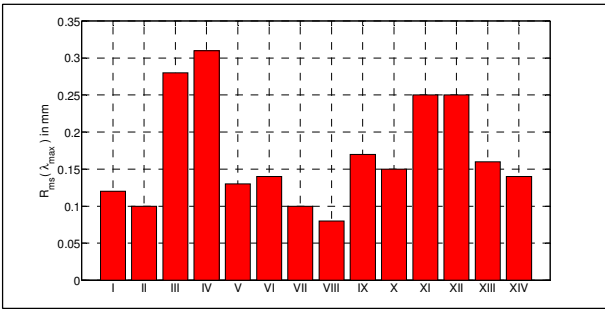


Bild 5.118: I-XIV: Vergleich des Maximums des Texturwellenlängenspektrums $R_{ms}(\lambda_{max})$

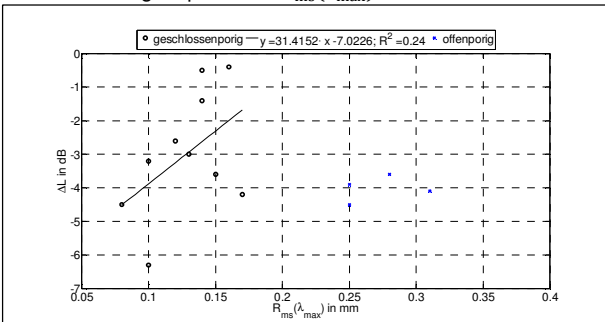


Bild 5.119: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von $R_{ms}(\lambda_{max})$; Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,24$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

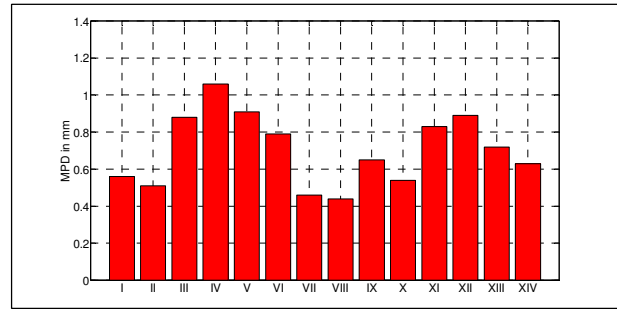


Bild 5.122: I-XIV: Vergleich der mittleren Profiltiefe MPD

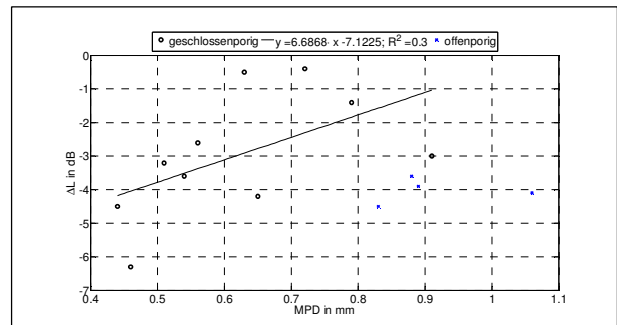


Bild 5.123: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von MPD ; Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,3$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

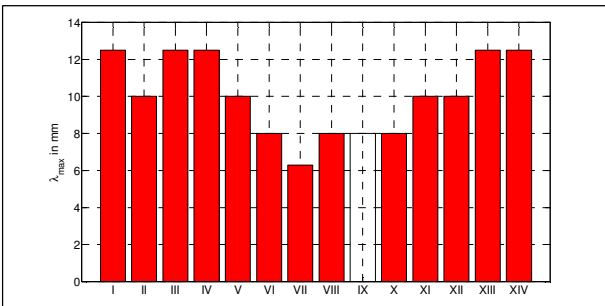


Bild 5.120: I-XIV: Vergleich der Wellenlänge an der Stelle des Maximums des Texturwellenlängenspektrums λ_{max}

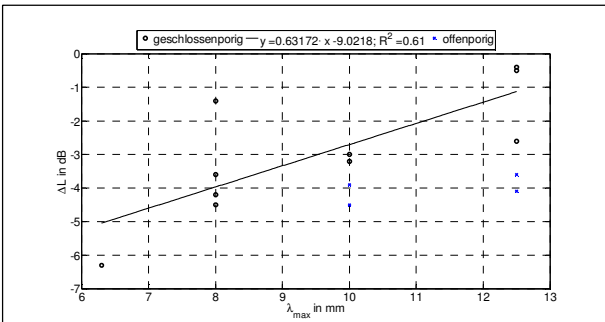


Bild 5.121: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von λ_{max} ; Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,61$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

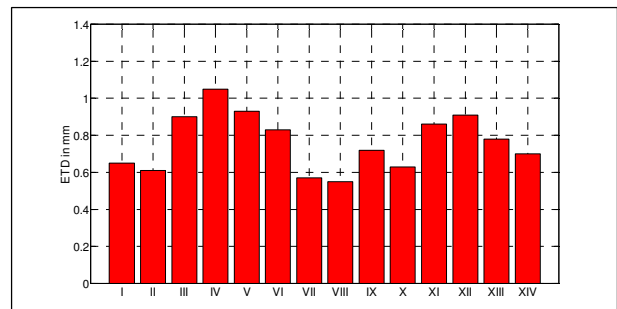


Bild 5.124: I-XIV: Vergleich der geschätzten Texturtiefe ETD

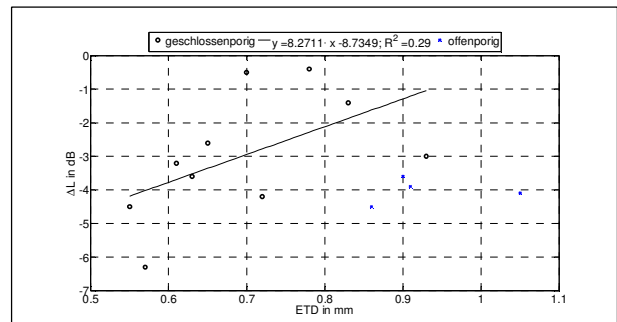


Bild 5.125: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von ETD ; Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,29$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

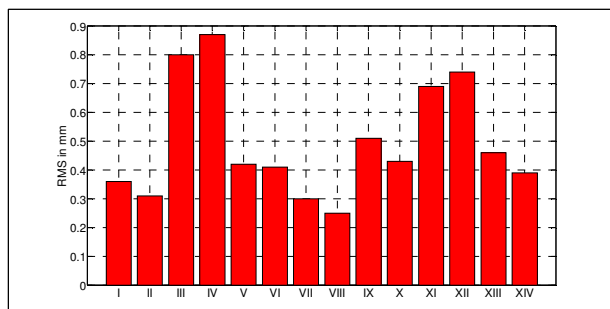


Bild 5.126: I-XIV: Vergleich des quadratischen Mittelwerts der Texturtiefe RMS

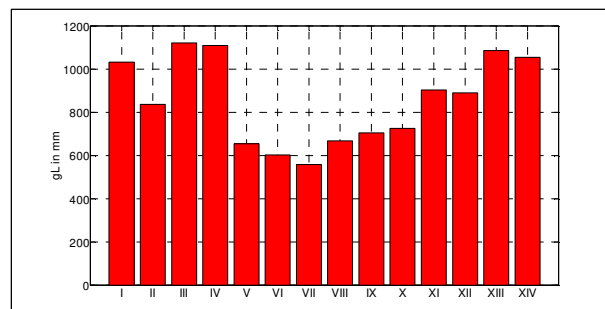


Bild 5.130: I-XIV: Vergleich der Gestaltlänge g_L

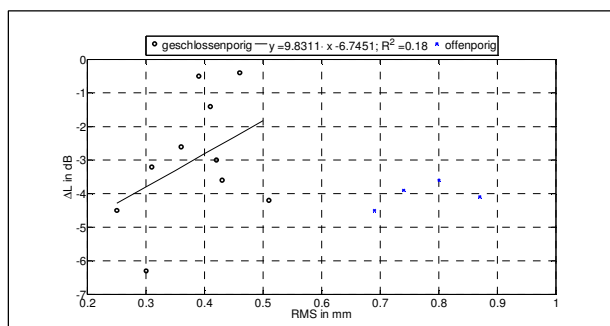


Bild 5.127: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von RMS Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,18$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

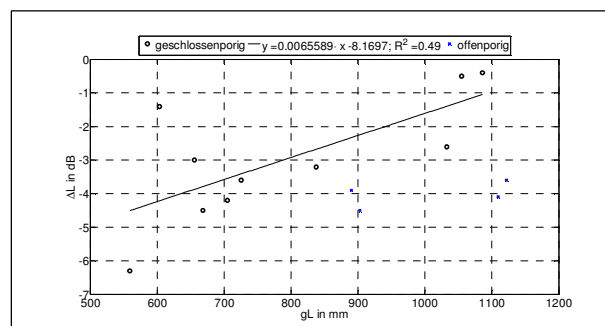


Bild 5.131: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von g_L Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,49$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

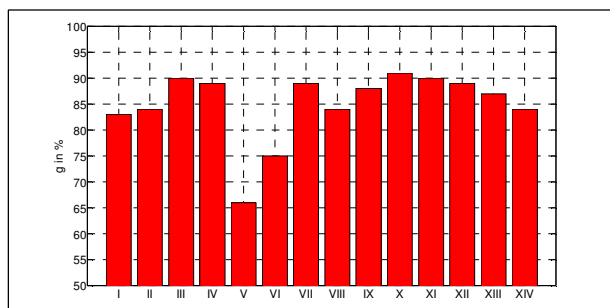


Bild 5.128: I-XIV: Vergleich des Gestaltfaktors g

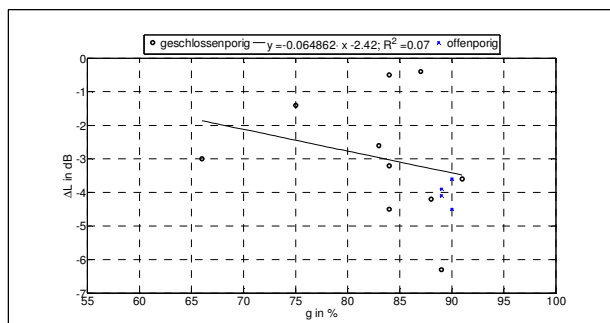


Bild 5.129: I-XIV: Vergleich der Pegeldifferenz ΔL der Fahrbahnoberflächen für PKW gegenüber Referenzbelag gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] bzw. [ISO/ PAS 11819-4, 2011] in Abhängigkeit von g Bestimmtheitsmaß der Regression: $R^2 = 0,07$, ohne offenporige Beläge (blaue Werte)

Bezugnehmend auf die in Bild 5.113 bis 5.130 dargestellten Ergebnisse lassen sich folgende Aussagen treffen.

1. Durch die akustischen Messungen konnten die in der Literatur angegebenen Werte für die Pegeldifferenz bezogen auf den Referenzbelag ΔL (Bild 5.113) des jeweils untersuchten Fahrbahnbelags bestätigt werden. Die Fahrbahnoberfläche DSH-V 5 auf der Messstrecke VII verursacht dabei gegenüber dem Referenzbelag die stärkste Minderung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs.
2. Der effektive spezifische Strömungswiderstand der Textur $R_{S,eff}$ (Bild 5.114) der untersuchten Fahrbahnbeläge liegt im Bereich von ca. 2,5 kPa·s/m bis 38 kPa·s/m. Eine Regressionsanalyse (Bild 5.114) der Abhängigkeit der Pegelminderung vom effektiven spezifischen Strömungswiderstand für geschlossporige Fahrbahnbeläge zeigt eine schwache Korrelation. Die erkennbare Tendenz, dass größere Strömungswiderstände zu größeren Pegelminderungen scheint zunächst unplausibel. Die Ursache ist vermutlich darin zu suchen, dass Texturen mit einem hohen $R_{S,eff}$ eine größere Ebenheit aufweisen und folglich zu einer geringeren Schwingungsanregung des

Reifens tendieren. Der Wirkmechanismus offenporiger Fahrbahnbeläge beruht auf einer Reduzierung des Airpumpings. Daher blieben diese Beläge in der Regressionsanalyse unberücksichtigt.

3. Der spektrale Schallabsorptionsgrad (Bild 5.116) der geschlossenenporigen Fahrbahnbeläge ist kleiner als 0,08. Es ist daher davon auszugehen, dass er keinen wesentlichen Einfluss auf die Minderung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs besitzt. Von den offenporigen Fahrbahnoberflächen nimmt der spektrale Schallabsorptionsgrad ausschließlich für den SMA/LA 8 oberhalb von 630 Hz höhere Werte an, die jedoch, bedingt durch die geringe Dicke der Deckschicht, maximal 0,15 betragen.
4. Das Maximum des Texturwellenlängenspektrums (Bild 5.118) der untersuchten Fahrbahnbeläge liegt im Bereich von ca. 0,08 mm $\leq R_{ms}(\lambda_{max}) \leq 0,31$ mm. Laut [MÜLLER, 2011] wird der Einfluss des Airpumpings reduziert, wenn die Werte des Maximums des Texturwellenlängenspektrums im Intervall von 0,06 mm $\leq R_{ms}(\lambda_{max}) \leq 0,2$ mm liegen. Innerhalb der vorliegenden Untersuchungen trifft dies auf alle geschlossenenporigen Fahrbahnbeläge zu. Dennoch erstrecken sich die Pegeldifferenzen bezogen auf den Referenzbelag über den gesamten Wertebereich dieser Untersuchung. Die Regressionsanalyse (Bild 5.119) der geschlossenenporigen Fahrbahnbeläge offenbart eine schwache Korrelation zwischen $R_{ms}(\lambda_{max})$ und ΔL .
5. Die Wellenlänge an der Stelle des Maximums des Texturwellenlängenspektrums λ_{max} (Bild 5.120) hängt vom verwendeten Größtkorndurchmesser (GKD) ab. Für einen GKD von 8 mm treten Wellenlängen von 10 mm bis 12,5 mm auf, für einen GKD von 5 mm ergeben sich Wellenlängen von 6,3 mm bis 8 mm. Die Regressionsanalyse (Bild 5.121) für geschlossenenporigen Fahrbahnbeläge ergibt eine leichte Korrelation zwischen λ_{max} und ΔL . Daraus lässt sich jedoch nicht eindeutig schließen, dass ein kleinerer GKD zu einer Reduzierung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs führt.
6. Die ermittelten Parameter *MPD* und *ETD* (vgl. Bild 5.122 bzw. 5.124) korrelieren erwartungsgemäß sehr stark miteinander. Die Rangfolge der untersuchten Fahrbahnbeläge ist bezüglich dieser Parameter stets gleich. Die Regressionsanalyse (Bild 5.123 bzw. 5.125) dieser Parameter in Abhängigkeit von ΔL zeigt für

geschlossenenporige Fahrbahnbeläge jeweils eine schwache Korrelation.

7. Der Wertebereich des quadratischen Mittelwerts *RMS* der Textur (Bild 5.126) erstreckt sich von ca. 0,25 mm bis 0,88 mm. Dabei grenzen sich die geschlossenenporigen Fahrbahnbeläge deutlich von den offenporigen Fahrbahnbelägen ab. Die Regressionsanalyse (Bild 5.127) für geschlossenenporige Fahrbahnbeläge zeigt eine sehr schwache Korrelation zwischen *RMS* und ΔL .
8. Der Gestaltfaktor *g* der Fahrbahnbeläge (Bild 5.128) liegt im Bereich von etwa 66 % bis 91 %, wobei in 12 Fällen Werte größer 80 % bestimmt wurden. Die Regressionsanalyse (Bild 5.129) zeigt praktisch keine Korrelation zwischen *g* und ΔL .
9. Die Gestaltlänge g_L (Bild 5.130) deckt einen Wertebereich von 560 mm bis 1120 mm ab. Laut [MÜLLER, 2011] ist der Einfluss von Reifenschwingungen auf die Geräuscentwicklung gering, wenn g_L im Bereich von 400 mm bis 700 mm liegt. Diese Aussage kann anhand der vorliegenden Daten nicht bestätigt werden. Die Regressionsanalyse (Bild 5.131) zeigt, dass eine relativ leichte Korrelation zwischen g_L und ΔL besteht. Da g_L aus dem Produkt von *g* und der leicht mit ΔL korrelierten Größe λ_{max} gebildet wird, entspricht dies den Erwartungen.

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.

6 Vorhersage Reifen-Fahrbahn-Geräusch

Die gemessenen physikalischen Parameter der Fahrbahn wurden anschließend als Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise) verwendet. Mit Hilfe von SPERoN soll der Immissions-schalldruckpegel seitlich der Fahrbahn prognostiziert werden, der durch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch verursacht werden würde.

Durch diese Untersuchungen kann geprüft werden, ob es durch Anwendung von SPERoN möglich ist, den Einfluss der physikalischen Fahrbahnparameter auf den Immissions-schalldruckpegel abzubilden.

6.1 SPERoN-Modell

Das Berechnungsmodell SPERoN ist ein statistisch-physikalisches Berechnungsmodell (hybrides Modell) zur Vorhersage des Rollgeräuschs / des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs auf der Basis von Reifen- und Fahrbahneigenschaften (vgl. Bild 6.1). Dieses ursprünglich für die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durch M + P – raadgevende ingenieurs b.v. und die Müller-BBM GmbH entwickelte Modell wurde innerhalb verschiedener europäischer Forschungsprojekte kontinuierlich erweitert und ist mittlerweile als Software-Applikation (AOT) verfügbar.

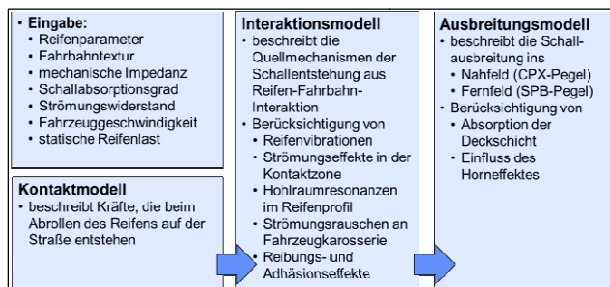


Bild 6.1: Schematische Darstellung des Berechnungsmodells SPERoN

Für die im nächsten Unterkapitel dargestellten Berechnungsergebnisse der einzelnen Messstrecken sind folgende Eingangsparameter im Berechnungsmodell berücksichtigt:

- Reifenparameter sechs verschiedener Reifen: Vredestein Hi-Trac, Michelin Energy, Continental ContiPremiumContact, Goodyear Ultragrip, Vredestein Snowtrac und Uniroyal Tigerpaw (S.R.T.T.);
- Texturprofile wie in Kapitel 4.1 beschrieben;

- der effektive spezifische Strömungswiderstand gemäß Kapitel 4.2;
- die Fahrzeuggeschwindigkeit und
- die statische Reifenvorlast von 325 kg.

Der spektrale Schallabsorptionsgrad und die mechanische Eingangsimpedanz der Fahrbahnoberfläche blieben - unter der Annahme eines zu vernachlässigenden Einflusses auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch der untersuchten Fahrbahnoberflächen - unberücksichtigt.

Die Ergebnisse der SPERoN-Berechnungen liegen in Abhängigkeit von Messstrecke, Reifen und Geschwindigkeit in Form von Terzspektren getrennt nach Quellmechanismen (Reifenvibrationen, Airpumping, Rillenresonanzen und Residualgeräusch) sowie als Gesamtspektrum vor. Alle Berechnungsergebnisse sind im Anhang des Berichts zusammengestellt.

Die Darstellung der Berechnungsergebnisse erfolgt parallel zu den Messergebnissen. Die spektrale Darstellung der gemessenen Fahrzeuggeräuschpegel wurde durch die geschwindigkeitsabhängige Regressionsanalyse für jedes Terzband berechnet.

Bei den Messstrecken XI und XII ist zu beachten, dass die Auswertung der spektralen Messergebnisse für eine Referenzgeschwindigkeit von 120 km/h, die Auswertung der spektralen Berechnungsergebnisse jedoch für eine Referenzgeschwindigkeit von 115 km/h erfolgte.

Die Messungen der Messstrecken III und IX wurden nach [IS/PAS 11819-4. 2011] durchgeführt. Daher sind die angegebenen spektralen Ergebnisse dieser Fahrzeuggeräuschpegel nur mit Vorsicht zu interpretieren.

6.2 Berechnungsergebnisse

Messstrecke I:

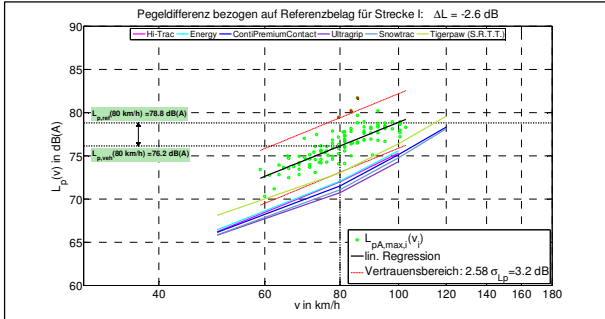


Bild 6.2: I: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke II:

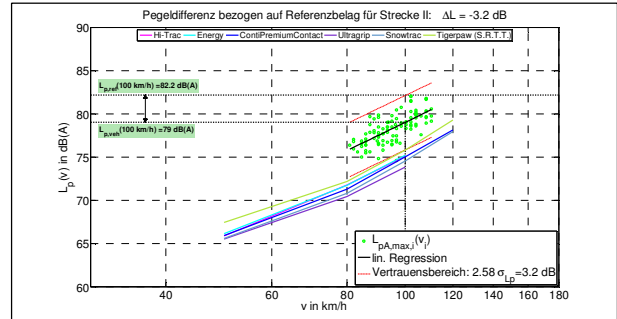


Bild 6.4: II: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

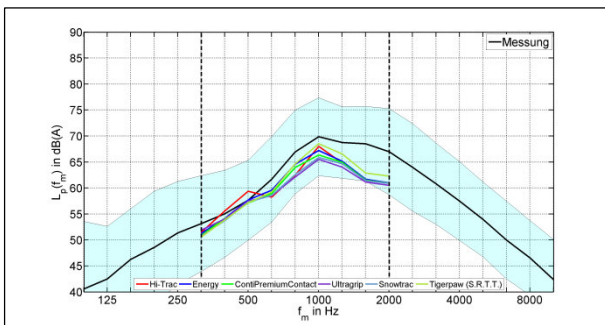


Bild 6.3: I: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

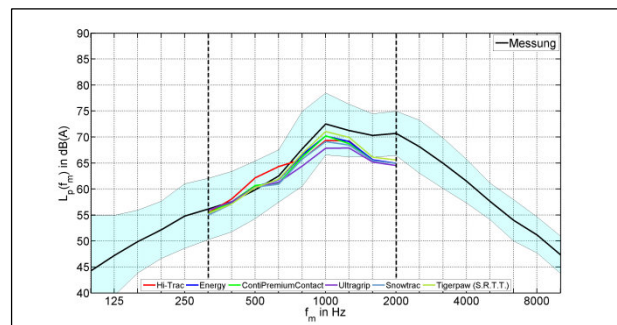


Bild 6.5: II: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

Messstrecke III:

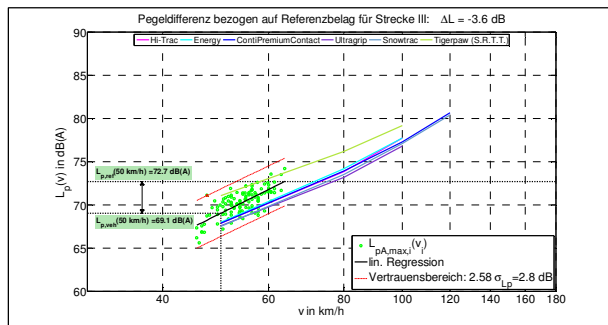


Bild 6.6: III: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke IV:

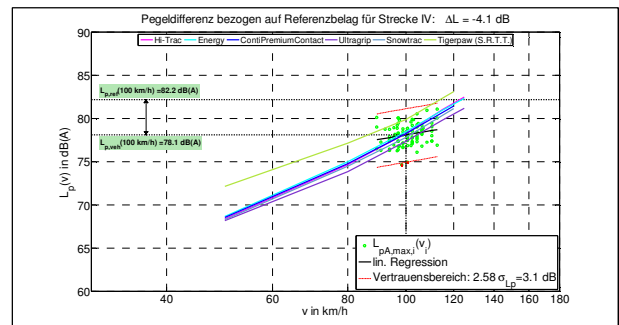


Bild 6.8: IV: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

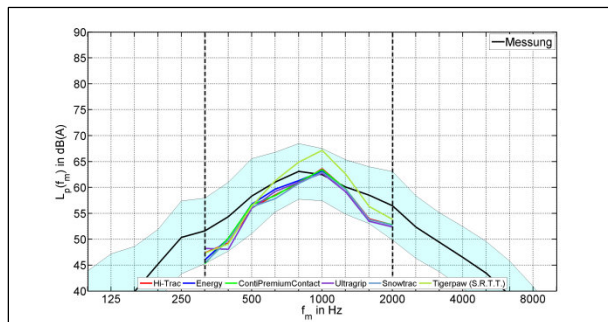


Bild 6.7: III: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

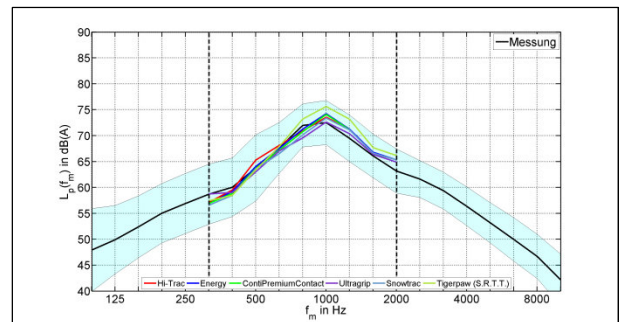


Bild 6.9: IV: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

Messstrecke V:

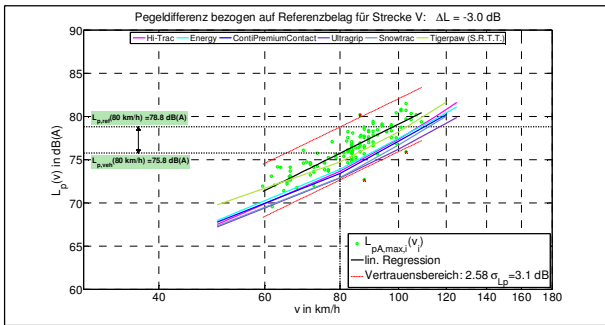


Bild 6.10:V: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke VI:

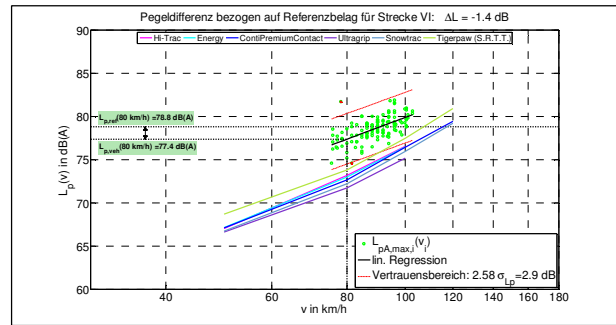


Bild 6.12:VI: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

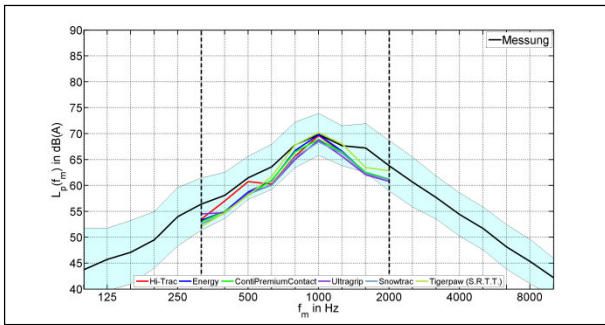


Bild 6.11:V: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich ±2,58-fache Standardabweichung)

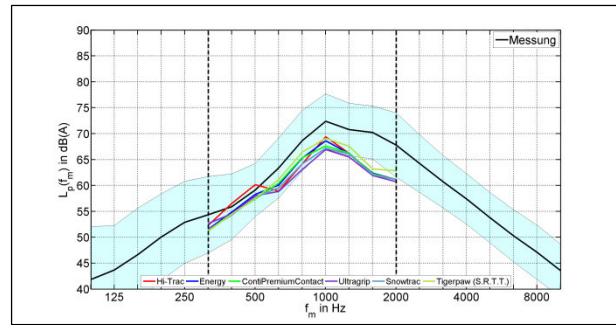


Bild 6.13:VI: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich ±2,58-fache Standardabweichung)

Messstrecke VII:

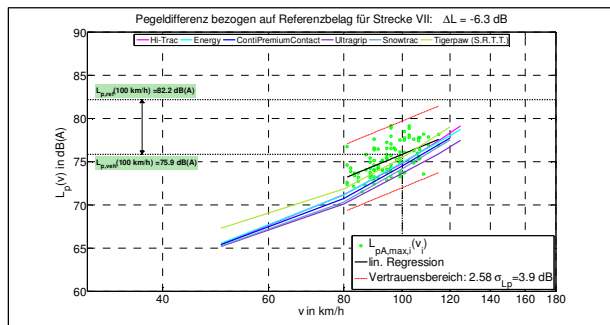


Bild 6.14:VII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke VIII:

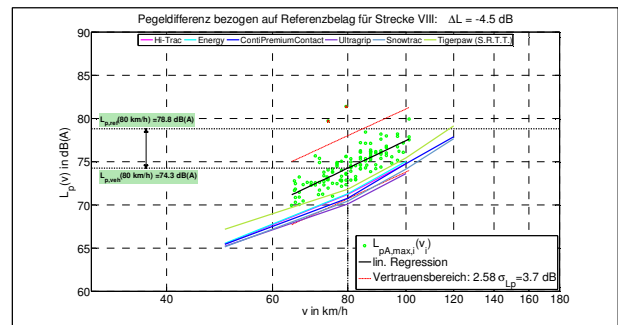


Bild 6.16:VIII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

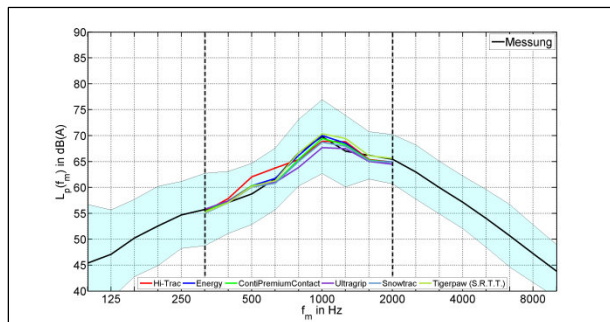


Bild 6.15:VII: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

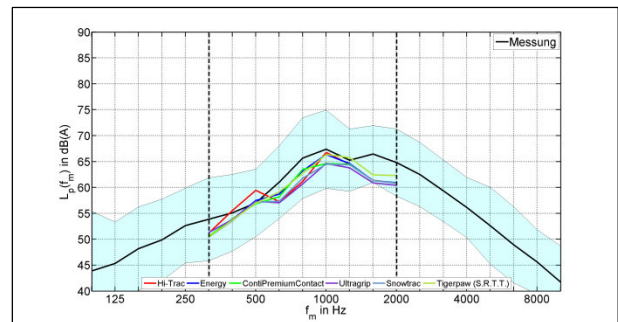


Bild 6.17:VIII: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

Messstrecke IX:

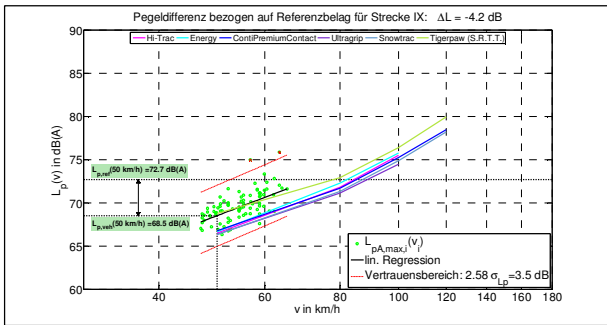


Bild 6.18:IX: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke X:

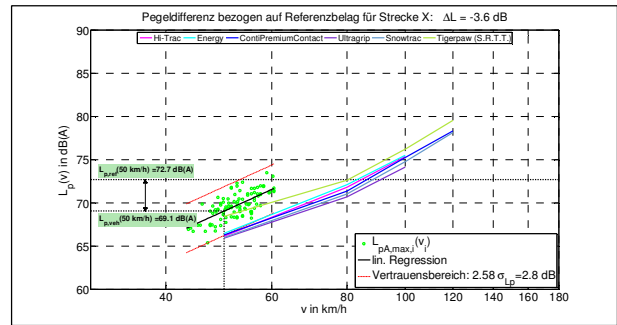


Bild 6.20:X: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

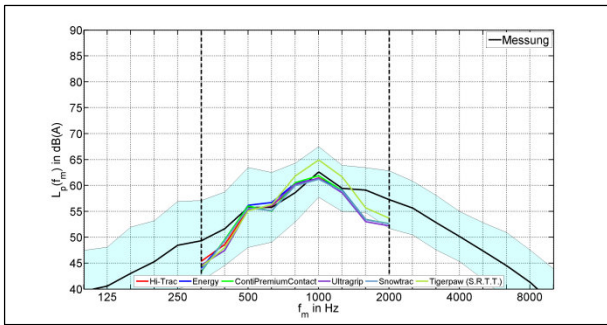


Bild 6.19:IX: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

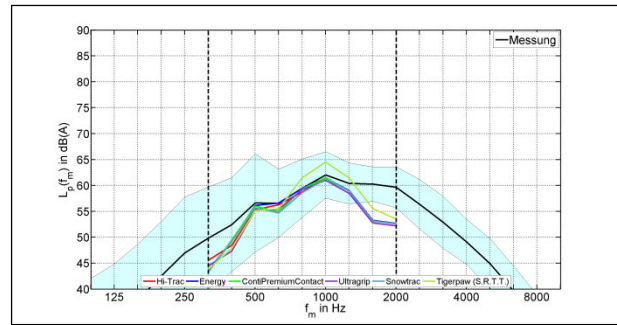


Bild 6.21:X: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [ISO/PAS 11819-4, 2011] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

Messstrecke XI:

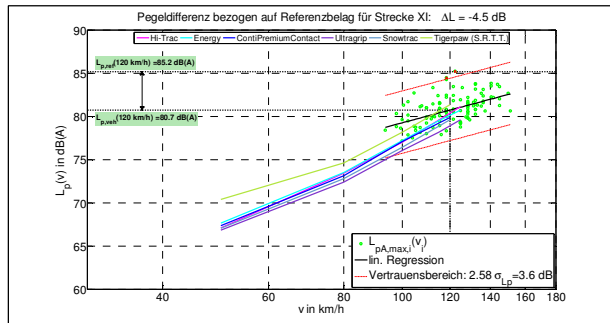


Bild 6.22:XI: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke XII:

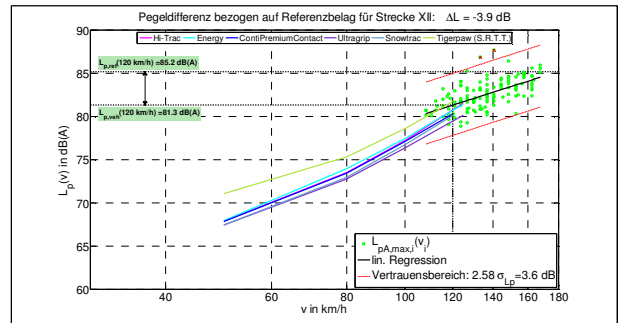


Bild 6.24:XII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

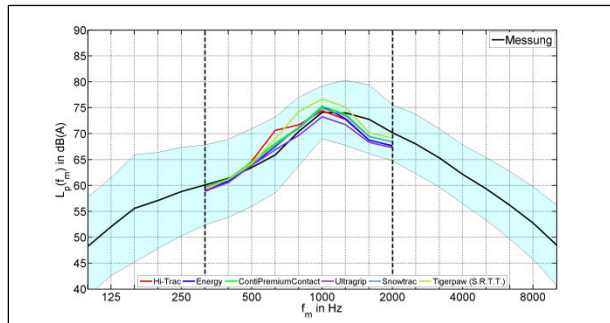


Bild 6.23:XI: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen (für $v = 120$ km/h) gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen (für $v = 115$ km/h) für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

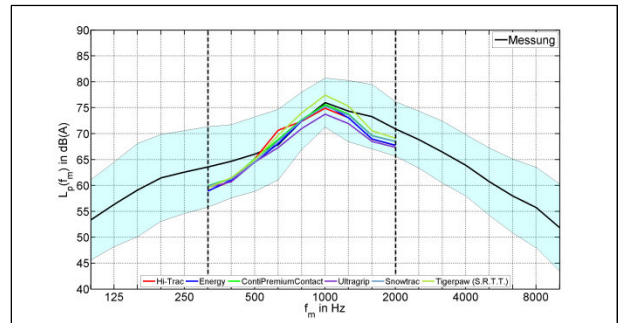


Bild 6.25:XII: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen (für $v = 120$ km/h) gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen (für $v = 115$ km/h) für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich $\pm 2,58$ -fache Standardabweichung)

Messstrecke XIII:

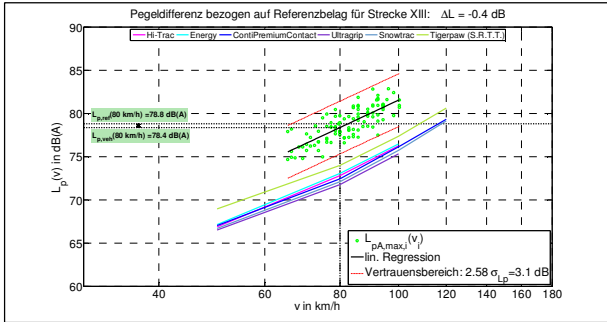


Bild 6.26:XIII: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

Messstrecke XIV:

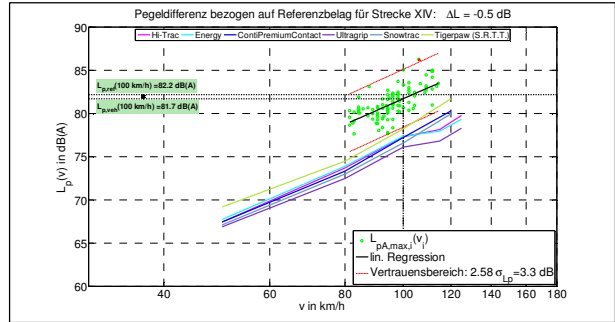


Bild 6.28:XIV: Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN

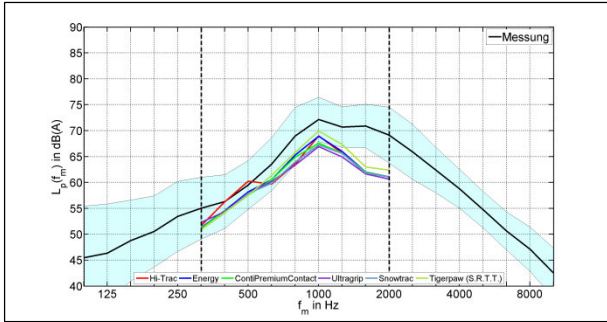


Bild 6.27:XIII: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit SPERoN (cyan: Vertrauensbereich ±2,58-fache Standardabweichung)

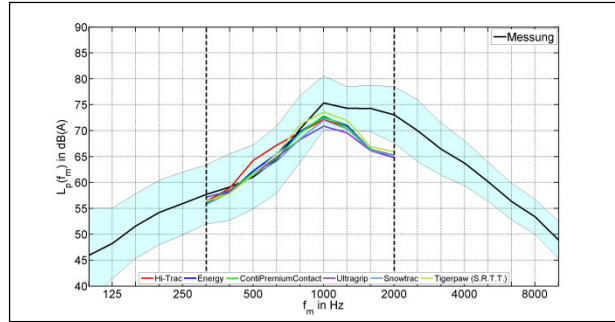


Bild 6.29:XIV: spektraler Fahrzeuggeräuschpegel für PKW; Vergleich von Messergebnissen gemäß [DIN EN ISO 11819-1, 2002] und Berechnungsergebnissen für verschiedene Reifentypen mit de SPERoN (cyan: Vertrauensbereich ±2,58-fache Standardabweichung)

6.3 Bewertung der Berechnungsergebnisse

Bild 6.30 zeigt die gemessenen und berechneten Pegeldifferenzen ΔL der Messstrecken I bis XIV bezogen auf den Referenzbelag.

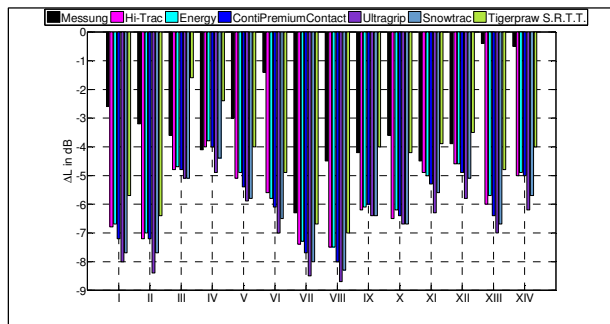


Bild 6.30:I-XIV: Vergleich der gemessenen und berechneten Pegeldifferenz ΔL

Die Differenz zwischen Messung und Berechnung:

$$\Delta L_{Diff} = \Delta L_{Messung} - \Delta L_{SPERoN} \quad (6.1)$$

ist in **Bild 6.31** bzw. numerisch in **Tab. 6.1** dargestellt. Die Gegenüberstellung der Messergebnisse mit den Berechnungsergebnissen zeigt, dass in sieben Fällen alle Berechnungsergebnisse innerhalb des in Kapitel 5.1 zugrunde gelegten Vertrauensbereichs für Einzelvorbeifahrten liegen. In vier Fällen liegt mindestens ein Berechnungsergebnis außerhalb dieses Vertrauensbereichs. In weiteren drei Fällen liegen alle Berechnungsergebnisse außerhalb des Vertrauensbereichs. Die Ursache für die teilweise starken Abweichungen konnte innerhalb dieses Forschungsprojekts jedoch nicht geklärt werden.

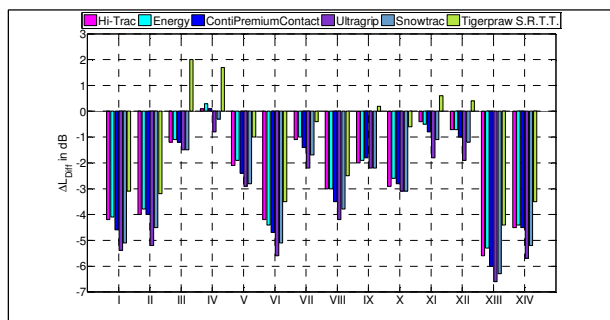


Bild 6.31:I-XIV: Vergleich der Abweichung zwischen gemessener und berechneter Pegeldifferenz ΔL_{Diff}

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

Tab. 6.1: I-XIV: Vergleich der Abweichung zwischen gemessener und berechneter Pegeldifferenz ΔL ; **grün:** alle Berechnungsergebnisse liegen innerhalb des in Kapitel 5.1 angegebenen Vertrauensbereichs
gelb: einzelne Berechnungsergebnisse liegen innerhalb des in Kapitel 5.1 angegebenen Vertrauensbereichs
rot: kein Berechnungsergebnis liegt innerhalb des in 5.1 angegebenen Vertrauensbereichs

7 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die schalltechnische Bewertung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs von verschiedenen Dünnschichtbelägen unter Berücksichtigung der Fahrbahneigenschaften zur Erweiterung des Kenntnisstands über die akustische Wirkungsweise.

Dazu waren akustische Messungen des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs nach dem Verfahren der statistischen Vorbeifahrt gemäß [DIN EN ISO 11819-1] an 14 Messstrecken (sieben verschiedene Fahrbahnbeläge á zwei Messstrecken) durchzuführen. Parallel zu den akustischen Messungen erfolgten Messungen von 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.

Im ersten Projektabschnitt wurden zunächst die Messsysteme zur Untersuchung der Fahrbahneigenschaften anhand von Referenzmessobjekten im Labor überprüft. Die Ergebnisse zeigten, dass die Messsysteme für die Bestimmung der physikalischen Fahrbahnparameter geeignet sind.

Durch die akustischen Messungen konnten die in der Literatur angegebenen Werte für Pegelminderung bzw. das Minderungspotenzial des jeweils untersuchten Fahrbahnbelags bestätigt werden. Es zeigt sich ein deutliches Minderungspotenzial hinsichtlich der Dünnschichtbauweise. Exemplarisch sei hierfür der Fahrbahnbelag DSH-V auf Messstrecke VII genannt, der eine Pegelminderung von 6,3 dB gegenüber dem Referenzbelag aufweist.

Die Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen auf den 14 Messstrecken zeigen deutlich, dass die Fahrbahnparameter für Fahrbahnbeläge gleichen Typs charakteristisch sind. So lassen sich den sieben untersuchten Fahrbahntypen jeweils spezifische Eigenschaften zuweisen. Dennoch ist es in Bezug auf die akustischen Messergebnisse nicht gelungen einen einzelnen Fahrbahnparameter zu finden, aus dem sich direkt die Pegelminderung ableiten lässt.

Die physikalischen Parameter der Fahrbahnen wurden als Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell SPERoN verwendet. Mit Hilfe des Berechnungsmodells ist der Immissionsschalldruckpegel seitlich der Fahrbahn prognostiziert worden. Das Ergebnis der Berechnung ist dabei das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, das bei der Überfahrt von Fahrzeugen mit verschiedenen Reifen

auf einer Straße mit den jeweils gemessenen physikalischen Fahrbahnparametern entsteht. Die Berechnungen wurden für sechs verschiedene Reifen durchgeführt.

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messergebnissen zeigt zum Teil (sieben von 14 Messstrecken) eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen für die sechs berücksichtigten Reifentypen. In weiteren vier Fällen zeigte mindestens ein Reifen eine gute Übereinstimmung. Für die verbleibenden drei Fälle musste eine unzureichende Übereinstimmung festgestellt werden. Die Ursache für die teilweise starken Abweichungen konnte innerhalb dieses Forschungsprojekts jedoch nicht geklärt werden.

8 Literatur

- ARS-1: Allgemeines Rundschreiben Straßenverkehr 14/1991. Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, April 1991
- ARS-2: Allgemeines Rundschreiben Straßenverkehr 03/2009. Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, März 2009
- BARTOLOMAEUS, W.: ISO 11819: Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida, Heft 7, ISSN 1437-7624, 2011
- BECKENBAUER, T.; BLOKLAND, G. van; HUSCHEK, S.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 847, 2002
- BECKENBAUER, T.; ALTREUTHER, B. (Projektgruppe „Leiser Straßenverkehr“): Leiser Straßenverkehr - Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S37, Dezember 2004
- DIN EN ISO 10534-2: Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren - Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion. 2001
- DIN EN ISO 11819-1: Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche, Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. Mai 2002
- DIN EN ISO 13473-1: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe. Juli 2004

- DIN ISO 13473-2: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 2: Begriffe und grundlegende Anforderungen für die Analyse von Fahrbahntexturprofilen. Juli 2004
- DIN ISO 13473-3: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 3: Anforderungen an und Einteilung von Profilometern. Juli 2004
- DIN ISO/TS 13473-4: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 4: Spektralanalyse von Oberflächenprofilen. Februar 2009
- DIN EN ISO 13473-5: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 5: Bestimmung der Megatextur. April 2010
- DIN ISO 13472-1: Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen vor Ort - Teil 1: Freifeldverfahren. April 2004
- DIN ISO 13472-2: Messung der Schallabsorptionseigenschaften vor Ort – Teil 2: Impedanzrohrverfahren für reflektierende Oberflächen. Dezember 2010
- DIN EN 29053: Bestimmung des Strömungswiderstandes. Mai 1993
- HÜBELT, J.; SCHMID, H.: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener 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
- MÜLLER, I.; WASSER, B.; GERMANN, O.; KLEY, A.: Untersuchung der Messunsicherheit und der Klassifizierungsfähigkeit von Straßenbelägen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau, Heft S 69, Mai 2011
- RLS 90: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Bundesministerium für Verkehr, 1992 (Ausgabe 1990, berichtete Fassung 1992)
- SANDBERG, U.: Estimation of temperature coefficients for various road surfaces. Januar 2004
- ULLRICH, S.: Annahmen zu den Fahrzeugemissionen in den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90). Straße + Autobahn 4/91, 1991

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrverhalten
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands
Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik
Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw
Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires
Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen
Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eine Testverfahrens
Schreck, Seiniger € 14,50

F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung
Schmidt, Georges € 14,50

F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalysatoren
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen
Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl in Vorbereitung

F 108: Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung
von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems
Schröder, Steickert, Walther, Ranftl in Vorbereitung

F 110: Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen
Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag in Vorbereitung

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen
Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübelt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.