

Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigen- schaften offenporiger Straßenbeläge

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 173

The logo for 'bast' is written in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect, giving it a three-dimensional appearance. The 'b' is particularly prominent on the left side.

Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigen- schaften offenporiger Straßenbeläge

von

Beate Altreuther
Thomas Beckenbauer
Manuel Männel

Müller-BBM GmbH
Planegg

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 173

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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 02.276/2006/LRB:
Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge

Projektbetreuung
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
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-86509-857-3

Bergisch Gladbach, September 2008

Kurzfassung – Abstract

Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) plant die Erarbeitung eines Bewertungshintergrunds für die Charakterisierung offenerporiger Straßenbeläge, der die Prognose der Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge ermöglichen soll. Für diese Prognose war eine Datenbasis akustischer Kenngrößen zu schaffen.

Die akustisch relevanten Kenngrößen der offenerporigen Straßenbeläge – Schallabsorptionsgrad und Strömungswiderstand – wurden im vorliegenden Projekt an insgesamt 17 Messquerschnitten offenerporiger Beläge ermittelt. Um einen vollständigen Datensatz der akustisch relevanten Kenngrößen zu erhalten, wurden zusätzlich In-situ-Messungen der Fahrbahntextur sowie Messungen des Rollgeräuschs nach der CPX-Methode (survey, Reifen A und D) und Messungen des Vorbeifahrtpegels nach der Methode der „statistischen Vorbeifahrt“ (SPB-Messungen) durchgeführt.

Die Untersuchung wurde für verschiedene Bauarten und Baujahre offenerporiger Asphalte durchgeführt. Zusätzlich zu den dabei gewonnenen akustischen Kenngrößen Absorptionsgrad, Strömungswiderstand, Fahrbahntextur und CPX-Pegel liegen für die untersuchten Strecken weitere bautechnische Daten vor. Aus den Ergebnissen der hier durchgeführten Untersuchung können nach Festlegung der entsprechenden Kriterien Hinweise auf die bauartspezifische Lebensdauer offenerporiger Asphalte verschiedener Bauarten gewonnen werden.

Der Umfang der hier durchgeführten Untersuchung erstreckte sich im Wesentlichen auf die Ermittlung und Bewertung der Kenngrößen für die einzelnen Messmethoden. Die detaillierte Erarbeitung des Bewertungshintergrundes zur Charakterisierung offenerporiger Asphalte erfolgt durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Sie war nicht Gegenstand der hier vorgelegten Untersuchung.

Der Originalbericht enthält als Anhänge Lagepläne, Tabellen der bautechnischen Eigenschaften und Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen

sowie die Ergebnisse der Messungen des Absorptionsgrades, des statischen Strömungswiderstandes, der Fahrbahntextur und der CPX-Messungen. Diese Anhänge sind dem vorliegenden Heft als CD beigelegt.

Framework for the evaluation of methods to characterise the acoustic properties of porous road surfaces

The German Federal Highway Research Institute (Bundesanstalt für Straßenwesen, BASt) is planning to develop an assessment procedure to characterize the acoustical properties of porous road surfaces. Final objective is to specify the life-cycle of these pavements with respect to their acoustical performance based on civil engineering properties.

In 2007 comprehensive measurements of the acoustically relevant parameters absorption, air flow resistance and surface texture have been performed on a set of 17 sections of motorways with porous asphalt pavements of different types of construction and different ages. Additional measurements of the near-field rolling noise (CPX) as well as measurements of the statistical pass-by noise (SPB) have been performed.

From precedent projects for the sections under investigation there is an extensive database covering details on asphalt mixtures as well as results of drill core investigations with respect to void content, binder content etc. Thus from the compiled data set a multitude of correlations between several parameters characterizing the acoustical performance on the one hand and constructions on the other hand can be calculated.

The results of the present investigation thus allow to draw new conclusions with respect to acoustical performance and durability of porous asphalt pavements. Since the development of the above mentioned assessment procedure will be performed by the BASt this was not subject of the current project.

The original report contains location plans, tables of construction characteristics and the results of

drill core investigations, as well as the results of the degree of absorption measurements, the static flow resistance, the texture of the carriageway and the CPX measurements, all in the form of appendices. These appendices have been added to this issue in the form of a CD.

Inhalt

1	Situation und Aufgabenstellung	7	4.4.3	Messreifen	22
			4.4.4	Auswertemethode	23
2	Untersuchte Streckenabschnitte . . .	7	4.4.5	Messabschnitte, Messdatum	23
2.1	Bestandsaufnahme „Offenporige Asphalte in Bayern“	7	4.4.6	Messergebnisse	23
2.2	Auswahlkriterien	7	4.4.7	Bewertung der Messergebnisse	23
2.3	Ausgewählte Strecken	7	4.5	Messung des statistischen Vor- beifahrtpegels (SPB-Messung) nach DIN ISO 11 819-1 (SPB-Messung)	25
2.4	Untersuchte Messpunkte pro Messquerschnitt	9	4.5.1	Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens	25
3	Vorhandene Daten zu den unter- suchten Streckenabschnitten	10	5	Literatur	28
3.1	Verkehrsmengenangaben	10			
3.2	Daten aus der Bestandsaufnahme „OPA in Bayern“	10			
4	Messungen	10			
4.1	Absorptionsgradmessung (α in-situ)	10			
4.1.1	Beschreibung der Messmethode	10			
4.1.2	Durchgeführte Messungen	11			
4.1.3	Messergebnisse	11			
4.1.4	Hinweis zur Messung des Absorptionsgrads bei schrägem Schalleinfall	12			
4.1.5	Bewertung der Messergebnisse	12			
4.2	Messung des statischen Strömungs- widerstands	15			
4.2.1	Beschreibung der Messmethode	15			
4.2.2	Durchgeführte Messungen	16			
4.2.3	Messergebnisse	16			
4.2.4	Bewertung der Messergebnisse	18			
4.2.5	Weitere Auswertungen	18			
4.3	Messung der Fahrbahntextur	19			
4.3.1	Beschreibung der Messmethode	19			
4.3.2	Durchgeführte Messungen	20			
4.3.3	Messergebnisse	20			
4.3.4	Bewertung der Messergebnisse	20			
4.4	Rollgeräuschmessung nach der CPX-Methode	22			
4.4.1	Prüfverfahren	22			
4.4.2	Messanhänger	22			

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) plant die Erarbeitung eines Bewertungshintergrunds für die Charakterisierung offenporiger Straßenbeläge, der die Prognose der Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge ermöglichen soll.

Basis hierfür sind u. a. die im Rahmen des Forschungsprojekts FE 02.0239/2003/LRB „Charakterisierung offenporiger Straßenbeläge“ [1] erarbeiteten Kriterien. Die dort beschriebenen in-situ Messverfahren für die relevanten Kenngrößen der offenporigen Straßenbeläge – Schallabsorptionsgrad und Strömungswiderstand – sollten im vorliegenden Projekt in größerem Umfang an insgesamt ca. 15 Messquerschnitten offenporiger Beläge ermittelt werden. Um einen vollständigen Datensatz der akustisch relevanten Kenngrößen zu erhalten waren zusätzlich in-situ-Messungen der Fahrbahntextur sowie Messungen des Rollgeräuschs nach der CPX-Methode (survey, Reifen A und D) durchzuführen.

An den untersuchten Messquerschnitten wurden von anderer Seite zusätzlich Messungen des Vorbeifahrtpegels nach der Methode der „statistischen Vorbeifahrt“ (SPB-Messungen) durchgeführt, um eine ausreichende Datenbasis für die Prognose der Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften offenporiger Straßenbeläge zu schaffen.

Die Entwicklung des Prognosemodells aus den hier gewonnenen Kenngrößen war nicht Gegenstand der hier durchgeführten Untersuchungen.

2 Untersuchte Streckenabschnitte

2.1 Bestandsaufnahme „Offenporige Asphalte in Bayern“

Auf Fernstraßen in Bayern wurden seit 1991 auf einer Länge von insgesamt ca. 90 km Richtungsfahrbahn offenporige Asphaltdeckschichten (OPA) mit sehr unterschiedlichen Mischgutkonzeptionen, Einbauverfahren und Ergebnissen im praktischen Betrieb eingebaut. Für diese Strecken wurden in den Jahren 2005-2007 eine Bestandsaufnahme der akustischen Eigenschaften und Detailuntersuchun-

gen der akustischen und bautechnischen Eigenschaften an 37 ausgewählten Messstellen durchgeführt (vgl. Müller-BBM-Projekt Nr. M61 791 [4]).

Mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde vereinbart, dass die Messungen an einer Auswahl der im o. g. Projekt untersuchten Messquerschnitte durchgeführt werden sollen. Weiterhin sollten für die auszuwählenden Messstellen möglichst aktuelle Ergebnisse aus SPB-Messungen vorliegen.

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass zu den Fahrbahnbelägen an den hier untersuchten Messstellen detaillierte Angaben zu den dort vorhandenen Belägen und Messergebnissen vorliegen.

2.2 Auswahlkriterien

Aus der Datenbasis der o. g. Bestandsaufnahme wurden für die hier durchzuführende Untersuchung Messquerschnitte ausgewählt, für die folgende Daten vorliegen:

- plausible Ergebnisse der CPX-Messungen bzw. der akustischen Untersuchungen, des Strömungswiderstands und der Fahrbahntextur,
- bautechnische Daten aus Bohrkern-Untersuchungen,
- aktuelle Messdaten von SPB-Messungen (Messdatum 2005 oder jünger).

Als weitere Kriterien waren zu berücksichtigen:

- Bauart (einlagig, zweischichtig),
- Größtkorn,
- Baujahr,
- Bindemittelsorte und Bindemittelgehalt,
- Alter/zeitliche Entwicklung,
- Beläge am Ende der akustischen Lebensdauer,
- Zugänglichkeit,
- Übereinstimmung der Mischgutkonzeption mit aktuellen Anforderungen.

2.3 Ausgewählte Strecken

In Abstimmung mit der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden am 15.03.2007 die zu untersuchenden Messstellen ausgewählt.

MQ Nr.	Strecke	Abschnitt	Fahrtrichtung	km	Belag	Baujahr	Messdatum In-situ	Bayern-Projekt: Bohrkern Nr.
Strecken mit einlagigem OPA								
MQ 1	A 9	Hormersdorf	München	358,6+0,2	OPA 0/8	1998	01.08.2007	BK7
MQ 2	A 9	Schnaittach	München	366,7+0,1	OPA 0/8	1995	01.08.2007	BK13
MQ 3	A 9	Hormersdorf	Berlin	361,7-0,2	OPA 0/8	2005	01.08.2007	BK11
MQ 4	A 9	Hormersdorf	Berlin	359,6-0,2	OPA 0/8	1997	01.08.2007	BK12
MQ 5	A 96	Schöffelding	Lindau	137,8-0,1	OPA 0/8	2005	16.07.2007	BK20
MQ 6	A 96	Schöffelding	Lindau	136,2-0,1	OPA 0/8	2005	16.07.2007	BK21
MQ 7	A 96	Schöffelding	Lindau	135,54	OPA 0/8	2005	16.07.2007	-
MQ 8	A 99	Ludwigsfeld	Osten	9,0+0,2	OPA 0/8	1999	17.07.2007	BK33
MQ 9	A 99	Eschenried	Westen	103,5-0,5	OPA 0/11	1998	18.07.2007	BK39
MQ 10	B 173	Lichtenfels	Ost	30,4+0,1	OPA 0/8	2000	02.08.2007	BK43
MQ 8a/Res.1	A 99	Ludwigsfeld	Westen	8,84	OPA 0/11	1993	17.07.2007	BK33
MQ 9a/Res.2	A 73	Erlangen	Bamberg	33,2+0,2	OPA 0/11	2005	02.08.2007	BK44
Strecken mit zweischichtigem OPA								
MQ 11	A 9	Garching	Süden	517,350	2OPA 5/8&11/16	2005	17.07.2007	- *)
MQ 12	A 9	Garching	Norden	517,500	2OPA 5/8&11/16	2005	17.07.2007	- *)
MQ 13	B 17	Augsburg	Süden	17,615	2OPA 5/8&11/16	2003 (entspr. 2004)	12.06.2006	- *), **)
MQ 14	B 17	Augsburg	Norden	18,015	2OPA 5/8&11/16	2003 (entspr. 2004)	12.06.2006	- *), **)
MQ 15	IN 17	Westl. Ringstr.	Nord	0+894	2OPA 5/8&11/16	2005	22.05.2007	- *)
<p>*) Im Rahmen des Projekts „Offenporige Beläge in Bayern“ wurden an den 2OPA-Strecken keine Bohrkerns gezogen. Soweit vorhanden wird hier auf Bohrkernuntersuchungen aus der Eignungsprüfung/Abnahmemessung zurückgegriffen.</p> <p>***) Die Messquerschnitte 13 und 14 (B 17 in Augsburg) waren im Jahr 2007 durch Schmutzeintrag von einer unmittelbar angrenzenden Straßenbaustelle so massiv beeinflusst, dass die jetzt gewonnenen Messergebnisse keine Aussagen über das „normale“ Alterungsverhalten des Farbahnbelags erlauben. Daher wurde in Absprache mit der BASt auf die Ergebnisse der Monitoring-Messungen aus dem Jahr 2006 zurückgegriffen. Um den Vergleich mit den aktuellen Messdaten aus 2007 zu ermöglichen, wurde in der Auswertung von einem Alter des Belages von 3 Jahren, entsprechend einem fiktiven Baujahr 2004, ausgegangen.</p>								

Tab. 1: Ausgewählte Messquerschnitte für die Untersuchung „Bewertungshintergrund“

Die ausgewählten Messquerschnitte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Die Lage der Messstellen ist dem Bild 1 zu entnehmen.



Bild 1: Lage der OPA-Messstellen in Bayern

2.4 Untersuchte Messpunkte pro Messquerschnitt

Pro Messquerschnitt wurden insgesamt 4 Messpunkte untersucht. Dabei wurden zwei Messpunkte in die Mitte der Rollspur des ersten Fahrstreifens gesetzt (Messpunkt entsprechend den Vorgaben aus dem Forschungsprojekt FE 02.0239/2003/LRB), zwei Messpunkte wurden in die Mitte des Fahrstreifens gesetzt (im Folgenden Ölspur genannt).

Die schematische Anordnung der Messpunkte pro Messquerschnitt ist in Bild 2 grafisch dargestellt.

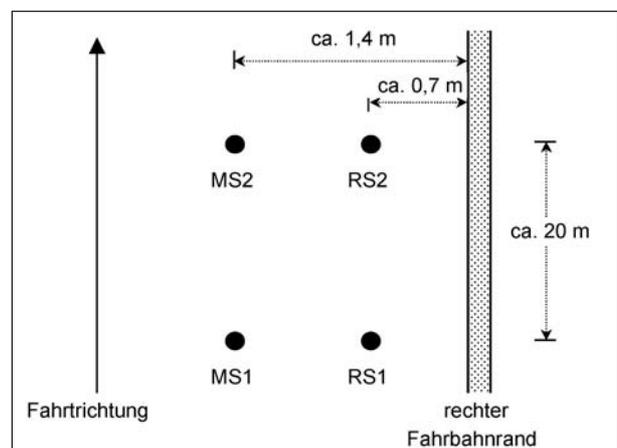


Bild 2: Schematische Anordnung der Messpunkte an jedem Messquerschnitt

3 Vorhandene Daten zu den untersuchten Streckenabschnitten

Zu den Messstellen aus dem Projekt „Bestandsaufnahme offener Asphaltstraßen in Bayern“ liegen folgende Daten vor:

3.1 Verkehrsmengenangaben (siehe Tabelle 2)

3.2 Daten aus der Bestandsaufnahme „OPA in Bayern“

Für die untersuchten Streckenabschnitte liegen folgende Daten vor:

a) Bautechnische Messdaten aus [4]:

- Mischgutzusammensetzung,
- Sieblinie,
- Schichtdicke(n),
- Bindemittelart,
- Bohrkerne aus [4],
daraus:
Hohlraumgehalt mit CT und nach ALP A-Stb
Bindemittelgehalt ,
Rohdichte,
Sieblinie ,
Verschmutzung (tlw.).

b) Akustische Messdaten:

- CPX (MBBM, Reifen A und D),
- Textur (BASt, fahrendes System),
- Bohrkerne aus [4],
daraus:

Absorptionsgrad α nach ISO 10534-2 (Labor),
Strömungswiderstand nach DIN EN 29053 (Labor).

c) SPB-Daten:

- SPB-Messungen ab 2005 (durchgeführt von BASt, TÜV Nord, LfU Bayern, Müller-BBM).

Eine Auflistung der vorhandenen Daten zu den einzelnen untersuchten Streckenabschnitten befindet sich im Anhang A:

- Lagepläne und Kontaktdaten
Anhang A, Seiten 2-8,
- Bautechnische Daten
Anhang A, Seiten 9-17,
- Ergebnisse der Bohrkern-Untersuchungen
Anhang A, Seiten 18-25.

4 Messungen

4.1 Absorptionsgradmessung (α in-situ)

4.1.1 Beschreibung der Messmethode

Zum Einsatz kommt hier ein Messgerät zur zerstörungsfreien in-situ-Messung des frequenzabhängigen Absorptionsgrades im Frequenzbereich von 100 Hz bis 4.000 Hz.

Das Messsystem wurde im Rahmen der Forschungsprojekte „Leiser Verkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“ [2] und „ITARI – Integrated Tyre And Road Interaction“ [3] von Müller-BBM entwickelt.

Lfd. Nr.	Zählstellen-Nr. in [8]	Straße	Strecken-km	Abschnitt		Zähldaten		
				von	bis	DTV [Kfz/24h]	pgv %	psv %
1, 3, 4	64349002	A9	351,137	AS Hormersdorf (47)	AS Schnaittach (48)	53000	k.A.	k.A.
2	64339001	A9	361,884	AS Schnaittach (48)	AS Lauf/Hersbruck (49)	58000	k.A.	k.A.
5-7	79329031	A96	136,4	AS Windach (28)	AS Greifenberg (29)	46763	11,1	6,8
8, 8a	78349011	A99	8,754	AK Kreuz München-West (A 8)	AD Dreieck München-Allach (A 99)	30754	11,8	6,4
9	78349020	A99	100,5	AD Dreieck München-Eschenried (A 8)	AD Dreieck München-Allach (A 99)	57653	17,8	14,9
9a	64319052	A73	32,1	AS Erlangen-Bruck (B 4)	AK Kreuz Fürth/Erlangen (A 3)	69756	14	8,6
10	58329102	B173	30,933	AS Lichtenfels Mitte	AS Lichtenfels Ost	19371	12,1	14,6
11, 12	77359061	A9	517,5	AS Eching (69)	AS Garching-Nord (70)	119000	k.A.	k.A.
13, 14	76319151	B17	11,149	AS Koenigsbrunn Mitte	OD Augsburg	60680	8	6
15	(aus [6])	IN17		Westl. Ringstr.		33400	k.A.	k.A.

DTV: Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h
 pgv: Anteil Güterverkehr in %
 psv: Anteil Schwerverkehr in %
 k. A.: keine Angabe (DTV-Mengen sind Schätzwerte aus Planfeststellung o. Ä.)

Tab. 2: Verkehrsmengenangaben nach Verkehrsmengenatlas Bayern 2005 [9]

Bei diesem Messverfahren wird ein deterministisches Schallsignal (Sinus-Sweep) auf die Prüffläche abgestrahlt. Eine Messsonde für Schalldruck und Schallschnelle befindet sich direkt über der Oberfläche. Durch die verwendete Signalverarbeitung können die Impulsantwort des ausgestrahlten Nutzsingnals errechnet werden. Aus den Impulsantworten kann die akustische Impedanz der Prüffläche und somit deren Absorptionsgrad bestimmt werden. Der ermittelte Absorptionsgrad kann als Absorptionsgrad für Kugelwellen interpretiert werden. Im Vergleich zur Bestimmung des Absorptionsgrades mit der Impedanzrohrmethode kann mit dieser Messmethode ein breiteres Spektrum des Absorptionsgrades bestimmt werden. Außerdem ist es möglich, verhältnismäßig kleine Absorptionsgrade in-situ mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

4.1.2 Durchgeführte Messungen

Die Messung erfolgte mit dem oben beschriebenen System. Pro Messquerschnitt wurden ca. 4 Messpunkte jeweils für senkrechten und für schrägen Schalleinfall (0° , 30° , 45° , 60°) untersucht. Dabei wurden zwei Messpunkte entsprechend den Vorgaben aus dem Forschungsprojekt FE 02.0239/2003/LRB in der Mitte des ersten Fahrstreifens gewählt (Bezeichnung MS1 und MS2), zwei weitere Messpunkte wurden in der Mitte der rechten Rollspur (Ölspur) gesetzt (Bezeichnung RS1 und RS2).

Das Messdatum für die einzelnen Messquerschnitte kann aus Tabelle 1 entnommen werden.

4.1.3 Messergebnisse

Die Prüfzeugnisse im Anhang B zeigen die Frequenzgänge des Schallabsorptionsgrades mit allen Einzelergebnissen für senkrechten Schalleinfall.

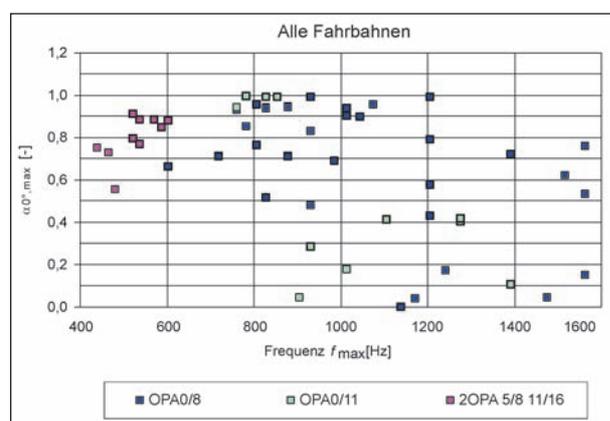


Bild 3a: Wert $\alpha_{0^\circ, \max}$ und Frequenz f_{\max} des Absorptionsfrequenzgangs im 1. Maximum für offenporige Asphalte verschiedener Bauarten

In den Bildern 3a bis 3d sind die Messergebnisse für das 1. Maximum des Absorptionsfrequenzgangs für die Schalleinfallswinkel 0° , 30° , 45° und 60° für die einzelnen Bauarten offenporiger Asphalte (OPA 0/8, OPA 0/11 und 2OPA 5/8 11/16) dargestellt.

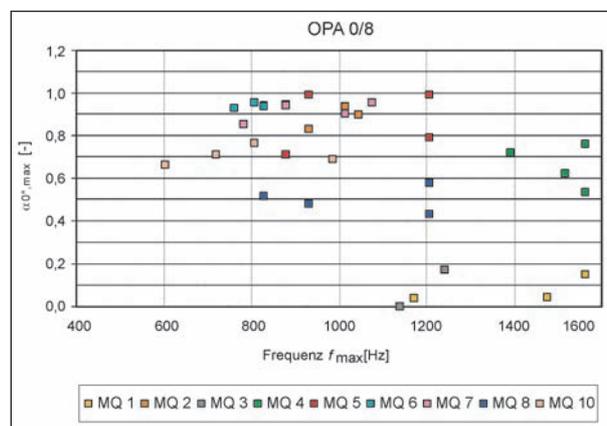


Bild 3b: Wert $\alpha_{0^\circ, \max}$ und Frequenz f_{\max} des Absorptionsfrequenzgangs im 1. Maximum für offenporige Asphalte OPA 0/8

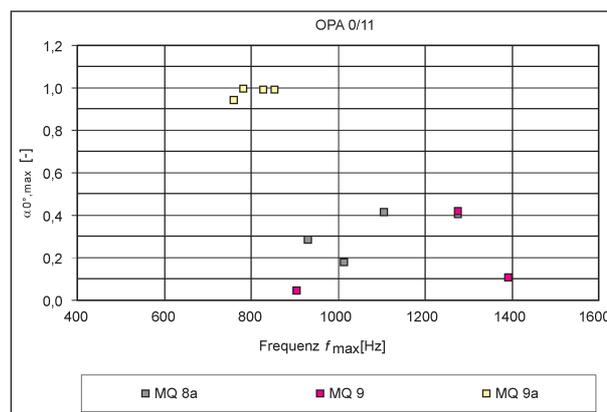


Bild 3c: Wert $\alpha_{0^\circ, \max}$ und Frequenz f_{\max} des Absorptionsfrequenzgangs im 1. Maximum für offenporige Asphalte OPA 0/11

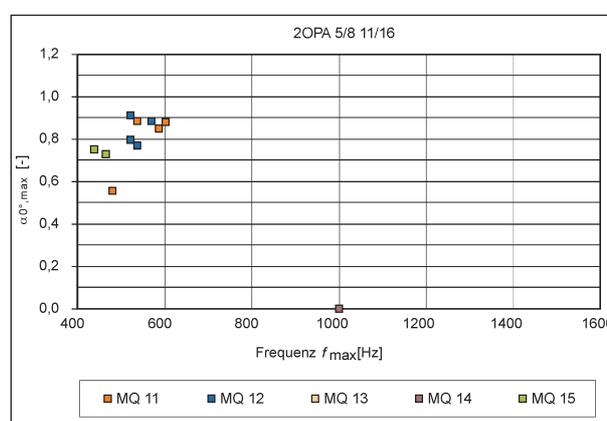


Bild 3d: Wert $\alpha_{0^\circ, \max}$ und Frequenz f_{\max} des Absorptionsfrequenzgangs im 1. Maximum für zweischichtige offenporige Asphalte OPA 5/8 11/16

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	α_{0°							
							MS1		MS2		RS1		RS2	
							f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	1172	0,04	1562	0,15	1475	0,04	1608	0,32
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	1015	0,94	879	0,95	1044	0,90	931	0,83
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	-	k. Abs.	-	k. Abs.	1138	0,00	1241	0,18
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	1562	0,76	1562	0,53	1392	0,72	1518	0,62
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	879	0,71	931	0,99	1206	0,79	1206	0,99
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	829	0,94	761	0,93	829	0,94	806	0,95
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	1075	0,96	879	0,94	783	0,85	1015	0,90
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	829	0,52	931	0,48	1206	0,58	1206	0,43
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA0/8	2000	604	0,66	718	0,71	806	0,76	986	0,69
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	1015	0,18	931	0,29	1277	0,41	1106	0,42
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	-	-	904	0,04	1277	0,42	1392	0,11
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	783	1,00	829	0,99	761	0,94	854	0,99
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA 5/8 11/16)	2005	539	0,89	587	0,85	480	0,55	604	0,88
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	523	0,91	523	0,80	539	0,77	570	0,88
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	k. Abs.		k. Abs.	
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	k. Abs.		k. Abs.	
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-	-	-	440	0,75	466	0,73

k. Abs. keine Absorption nachweisbar
- keine Messung vorliegend
*) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)

Tab. 3a: Messergebnisse Absorptionsgradmessungen: Frequenzlage f_{\max} in Hz und Höhe α_{\max} des 1. Maximums des Absorptionsgrads α für senkrechten Schalleinfall α_{0°

In den Tabellen 3a bis 3d sind für alle untersuchten Messquerschnitte jeweils Frequenzlage und Höhe des 1. Maximums des Absorptionsgrads α für senkrechten und schrägen Schalleinfall aufgelistet.

4.1.4 Hinweis zur Messung des Absorptionsgrads bei schrägem Schalleinfall

Bei der Messung des Absorptionsgrades bei schrägem Schalleinfall stellte sich wiederholt das Problem, dass – insbesondere bei älteren Belägen mit niedriger Absorption – aufgrund der gewählten Messmethode kein gültiges Messergebnis erzielt werden konnte. Dies hängt damit zusammen, dass z. B. Leitplanken oder andere reflektierende Flächen zu Störsignalen führen, die das schwache Messsignal beeinflussen. Insbesondere ist hierbei auch zu berücksichtigen, dass die benötigte unbeeinflusste Messfläche bei schrägem Schalleinfall wesentlich größer ist als bei senkrechtem Schalleinfall.

4.1.5 Bewertung der Messergebnisse

Bei neu gebauten offenporigen Asphalten werden in Abhängigkeit von Schichtdicke, Strömungswider-

stand und Hohlraumgehalt im ersten Maximum Werte des Absorptionsgrads α zwischen 0,8 und 1,0 erwartet. Die Frequenz des ersten Maximums wird im Wesentlichen von der Schichtdicke bestimmt, sie liegt typischerweise im Bereich zwischen ca. 500 und ca. 1.000 Hz, bei zweischichtigen offenporigen Asphalten teilweise auch darunter.

Die Messwerte des Absorptionsgrades bei senkrechtem Schalleinfall aus der hier durchgeführten Messkampagne 2007 sind in Bild 4 dem jeweiligen Baujahr des Belages gegenübergestellt.

Hierbei ist zu bemerken, dass der sehr niedrige Absorptionsgrad an den zweischichtigen Belägen in Augsburg (MQ 13 und MQ 14) vermutlich durch übermäßige Verschmutzung infolge einer nahe gelegenen Baustelle hervorgerufen wurde. Zudem liegen diese Messquerschnitte jeweils am Beginn der Strecke mit offenporigem Straßenbelag, der naturgemäß stärker verschmutzt als die weiter von der Einlaufstrecke entfernten Teile der Fahrbahn. Dieser Prozess wurde über mehrere Jahre beobachtet, die o. g. Messergebnisse stammen aus 2006, der Trend setzt sich in 2007 infolge einer Straßenbaustelle im nördlichen Bereich des Versuchsabschnittes fort. Die Ergebnisse an MQ 13

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	α_{30°							
							MS1		MS2		RS1		RS2	
							f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	-	-	-	-	-	-	-	-
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	1475	0,95	904	0,99	1044	0,89	986	0,66
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	-	-	-	-	1857	0,21	1518	0,10
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	1475	0,66	2083	0,54	1241	0,53	1392	0,46
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	958	0,92	986	0,96	1241	0,93	1206	0,96
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	829	0,92	806	0,91	829	0,95	829	0,91
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	1353	0,77	931	1,00	783	0,76	986	0,86
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	931	0,39	904	0,41	1106	0,50	1172	0,40
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA0/8	2000	659	0,71	761	0,65	761	0,72	879	0,80
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	1138	0,33	-	-	1475	0,12	1277	0,25
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	-	k. Abs.	ca. 1000	0,04	-	k. Abs.	-	-
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	829	1,00	879	0,98	806	0,92	854	0,99
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	554	0,97	587	0,92	480	0,79	587	0,88
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	539	0,86	523	0,81	539	0,91	587	0,77
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	-	-
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	-	-
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-	-	-	-	-	-	-

k. Abs. keine Absorption nachweisbar
- keine Messung vorliegend bzw. Messung nicht auswertbar (vgl. Kapitel 4.1.4)
*) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)

Tab. 3b: Messergebnisse Absorptionsgradmessungen: Frequenzlage f_{\max} in Hz und Höhe α_{\max} des 1. Maximums des Absorptionsgrads α für Schalleinfallswinkel 30° α_{30°

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	α_{45°							
							MS1		MS2		RS1		RS2	
							f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]	f_{\max} [Hz]	α_{\max} [-]
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	-	-	-	-	-	-	-	-
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	1433	0,87	904	0,99	1206	0,63	986	0,55
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	-	-	-	-	1518	0,24	1655	0,34
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	1475	0,58	1753	0,18	1353	0,61	1857	0,47
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	986	0,86	986	0,98	1241	0,99	1315	0,99
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	806	0,96	829	0,97	829	0,99	829	0,97
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	1106	0,97	854	1,00	829	0,90	931	0,71
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	1015	0,49	1015	0,59	1753	0,67	1241	0,55
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA0/8	2000	718	0,73	761	0,72	761	0,93	879	0,87
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	986	0,28	-	-	-	0,00	1206	0,15
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	-	-	-	k. Abs.	-	k. Abs.	-	-
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	879	0,99	904	0,96	854	0,97	904	0,99
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	570	0,99	622	1,00	523	0,83	622	0,82
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	554	0,91	539	0,62	539	0,92	587	0,82
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	-	-
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	-	-
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-	-	-	-	-	-	-

k. Abs. keine Absorption nachweisbar
- keine Messung vorliegend bzw. Messung nicht auswertbar (vgl. Kapitel 4.1.4)
*) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)

Tab. 3c: Messergebnisse Absorptionsgradmessungen: Frequenzlage f_{\max} in Hz und Höhe α_{\max} des 1. Maximums des Absorptionsgrads α für Schalleinfallswinkel 45° α_{45°

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	α_{60°							
							MS1		MS2		RS1		RS2	
							f_{max} [Hz]	α_{max} [-]	f_{max} [Hz]	α_{max} [-]	f_{max} [Hz]	α_{max} [-]	f_{max} [Hz]	α_{max} [-]
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	-	-	-	-	-	-	-	-
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	1475	0,84	931	k.Abs.	1433	0,82	986	0,77
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	-	-	-	-	1655	0,39	1608	0,52
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	1655	0,63	1703	0,12	1353	0,73	1277	0,50
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	1015	0,99	1044	0,99	1433	0,97	1353	0,96
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	854	0,99	806	0,99	854	1,00	854	0,99
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	1106	0,99	879	0,99	854	0,86	986	0,75
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	1138	0,59	1106	0,35	1518	0,84	1206	0,47
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA0/8	2000	718	0,97	783	0,94	761	0,95	904	0,97
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	1106	0,68	1206	0,17	-	0,00	1277	0,50
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	1353	0,12	-	-	-	-	-	-
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	904	0,90	931	0,65	854	0,90	931	0,76
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	604	0,99	640	0,97	539	0,83	659	0,99
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	570	0,93	554	0,71	554	0,99	622	0,98
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	-	-
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	-	-
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-	-	-	-	-	-	-

k. Abs. keine Absorption nachweisbar
 - keine Messung vorliegend bzw. Messung nicht auswertbar (vgl. Kapitel 4.1.4)
 *) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)

Tab. 3d: Messergebnisse Absorptionsgradmessungen: Frequenzlage f_{max} in Hz und Höhe α_{max} des 1. Maximums des Absorptionsgrads α für Schalleinfallswinkel 60° α_{60°

und MQ 14 entsprechen somit nicht zwingend dem typischen Alterungsverhalten offenporiger Beläge.

Allgemein sind die Messwerte des Absorptionsgrades sehr heterogen, dies ist auf die unterschiedlichen Mischgutzusammensetzungen und die unterschiedlichen Bauverfahren zurückzuführen, sodass eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse nur sehr eingeschränkt gegeben ist.

Setzt man jedoch die Grenze für die schalltechnische Wirksamkeit offenporiger Fahrbahnbeläge bei einem Absorptionsgrad von $\alpha_{0^\circ} > 0,6$ an, so ergibt sich aus Bild 4 in grober Näherung eine schalltechnische Wirkungsdauer für offenporige Fahrbahnbeläge von etwa 8 bis 9 Jahren.

In Bild 5 ist der Absorptionsgrad im 1. Maximum dem SPB-Pegel bei Pkw-Vorbeifahrten mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h an den untersuchten Streckenabschnitten gegenübergestellt.

Die sehr niedrigen Werte des Absorptionsgrades für einige Strecken mit zweischichtigem offenporigem Asphalt rühren von den MQ 13 und MQ 14 her (s. o.).

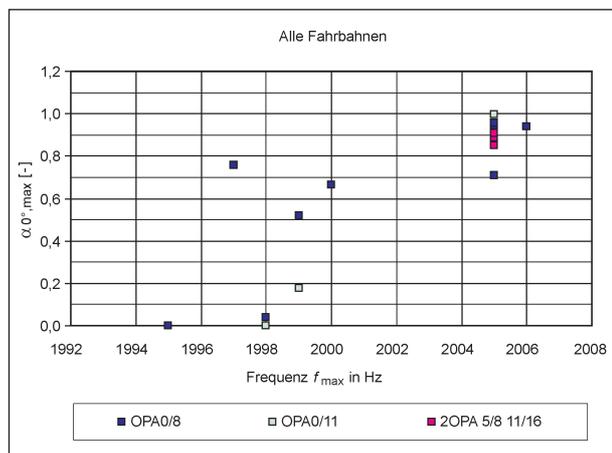


Bild 4: Absorptionsgrad $\alpha_{0^\circ,max}$ offenporiger Asphalte verschiedener Bauarten: Messergebnisse 2007 in Abhängigkeit vom Baujahr (Werte für MQ 13 und 14 fehlen, da keine Absorption nachweisbar)

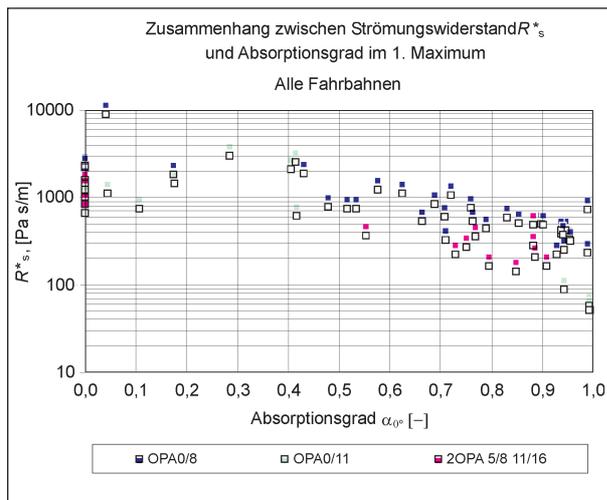


Bild 5: Absorptionsgrad im 1. Maximum als Funktion des SPB-Pegels für Pkw-Vorbeifahrten bei 120 km/h $L_{Pkw,120km/h}$

4.2 Messung des statischen Strömungswiderstands

4.2.1 Beschreibung der Messmethode

Das Gerät zur zerstörungsfreien Messung des statischen Strömungswiderstands von Fahrbahnoberflächen in-situ wurde im Rahmen des Teilprojekts TP 3122 des Forschungsvorhabens „Leiser Straßenverkehr“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) entwickelt [2].

Das verwendete Verfahren zur Bestimmung des Strömungswiderstandes in-situ lehnt sich so weit als möglich an das genormte Prüfstandsverfahren für Probekörper der DIN EN 29053 [10] an. Dieses Gerät entspricht weitgehend dem im Forschungsprojekt FE 02.0239/2003/LRB [1] verwendeten Gerät¹.

Zur in-situ-Messung wird ein Messfuß auf die zu untersuchende Fahrbahnoberfläche gestellt, die Verhältnisse im Reifenaufstandspunkt werden durch einen elastischen Ring in der Aufstandsfläche und eine angepasste Vorlast nachgebildet. Ein Durchflussregler erzeugt einen konstanten Volumenfluss q durch eine Querschnittsfläche A , der beim Durch-



Bild 6: Messgerät für Strömungswiderstand: praktischer Aufbau des Messsystems mit Hebeeinrichtung

strömen der Probe auftretende Differenzdruck Δp wird gemessen. Aus der Strömungsgeschwindigkeit u und dem Differenzdruck Δp lässt sich die Strömungsresistenz $\Xi = \Delta p/q$ der Probe berechnen.

Da q wegen $q = u \cdot A$ von der Fläche des durchströmten Querschnitts abhängt, ist auch die Strömungsresistenz Ξ eine vom durchströmten Querschnitt A abhängige Größe. Durch die Definition des spezifischen Strömungswiderstands R_s^* in-situ

$$R_s^* = \Xi \cdot A = \frac{\Delta p}{u} \quad (1)$$

wird diese Abhängigkeit von den Abmessungen der Apparatur behoben.

Zur Unterscheidung von der (abweichenden) Definition des Strömungswiderstands R_s in der Norm EN 29053 wird für den hier ermittelten spezifischen Strömungswiderstand die Bezeichnung R_s^* verwendet.

Das Messgerät im Einsatz ist in Bild 6 gezeigt, Bild 7 zeigt eine Prinzipskizze des Geräteaufbaus. Eine Detailansicht des Messfußes befindet sich in Bild 8.

Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wird die Messung bei verschiedenen Volumenströmen durchgeführt. Im Anschluss an die Messung wird mit den Ergebnissen der einzelnen Durchflussstufen eine Regressionsanalyse durchgeführt, mit der der Strö-

¹ Im Gegensatz zu dem im Forschungsprojekt FE 02.0239/2003/LRB [1] verwendeten Gerät erlaubt das hier eingesetzte Gerät keine explizite Trennung zwischen texturinduziertem Strömungswiderstand $R_{s,\text{textur}}^*$ und hohlrauminduziertem Strömungswiderstand $R_{s,\sigma}^*$. Allerdings konnte im Rahmen des ITARI-Projekts [3] nachgewiesen werden, dass der texturinduzierte Anteil $R_{s,\text{textur}}^*$ bei offenporigen Belägen gegenüber dem hohlrauminduzierten Anteil $R_{s,\sigma}^*$ vernachlässigbar ist, da $1/R_{s,\text{stat}}^* = 1/R_{s,\text{textur}}^* + 1/R_{s,\sigma}^*$.

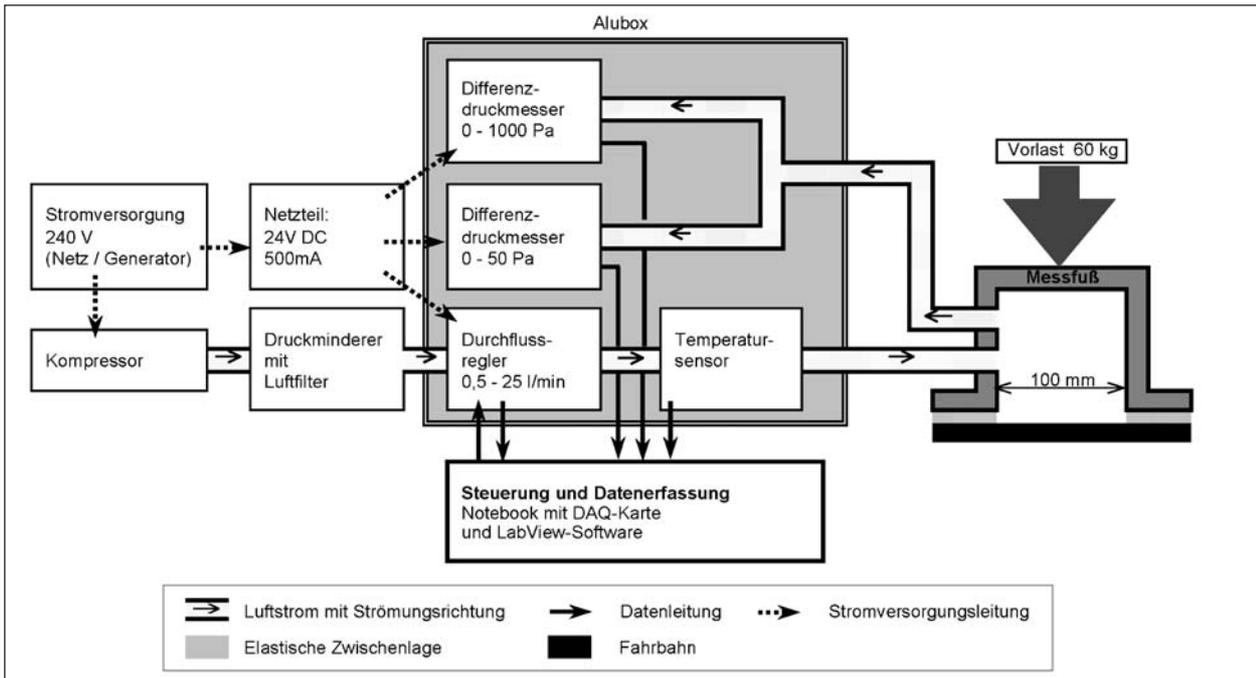


Bild 7: Messgerät für Strömungswiderstand: Prinzipskizze des Geräteaufbaus

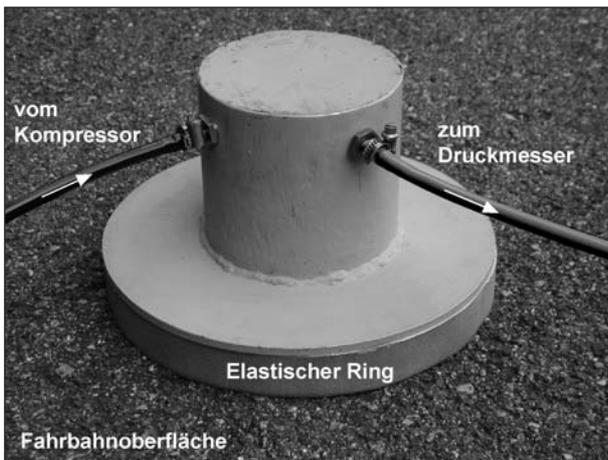


Bild 8: Messgerät für Strömungswiderstand: Messfuß mit elastischer Zwischenlage Sylomer L25 in unbelastetem Zustand

mungswiderstand R_s^* bei einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit von $u_{ref} = 0,0125 \text{ m/s}$ – entsprechend einem Volumenfluss von ca. 6 l/min – ermittelt wird.

4.2.2 Durchgeführte Messungen

Pro Messquerschnitt wurden ca. 4 Messpunkte untersucht. Dabei wurden zwei Messpunkte in der Mitte der rechten Rollspur des ersten Fahrstreifens gesetzt (Messpunkt entsprechend den Vorgaben aus dem Forschungsprojekt FE 02.0239/2003/LRB), zwei Messpunkte wurden in die Mitte des Fahrstreifens (Ölspur) gesetzt (vgl. auch Bild 2).

Das Messdatum für die einzelnen Messquerschnitte kann aus Tabelle 1 entnommen werden.

4.2.3 Messergebnisse

Für jeden Messpunkt wurde der spezifische Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ in Anlehnung an EN 29053 ermittelt (vgö. hierzu den Abschlussbericht des Forschungsverbunds „Leiser Straßenverkehr 1“ TP3122). Als Messergebnis angegeben wird pro Messquerschnitt der Mittelwert der Ergebnisse an allen 4 Messpunkten mit Streubereich der Einzelmessungen.

Die Ergebnisse der Messungen des Strömungswiderstands sind in Bild 10 dargestellt. Die Messwerte sind in Tabelle 4 aufgelistet, Detailergebnisse befinden sich in Anhang C.

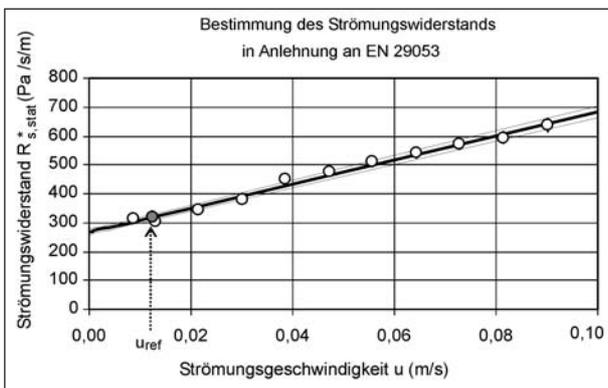
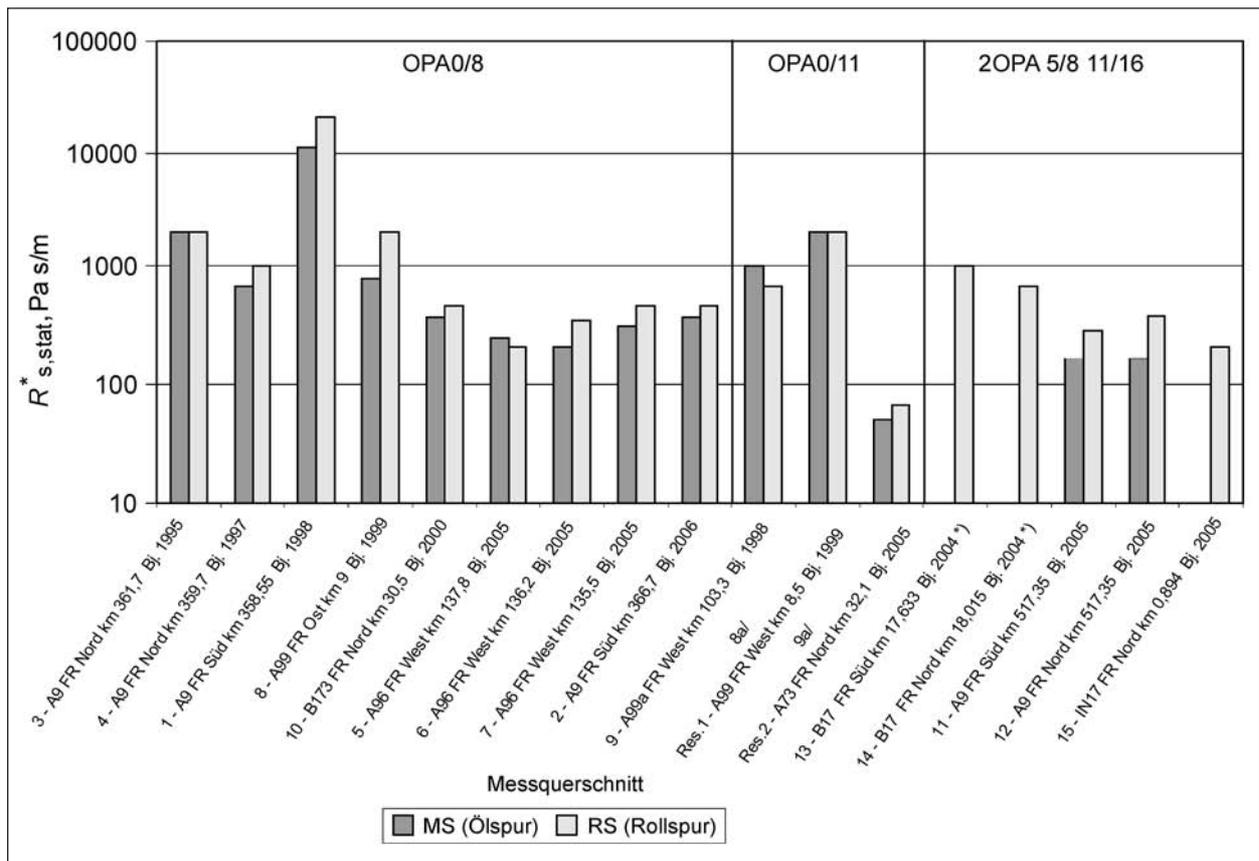


Bild 9: Beispiel für die Auswertung einer Messreihe für den Strömungswiderstand R_s^* . Das Messergebnis wird bei $u_{ref} = 0,0125 \text{ m/s}$ abgelesen

Bild 10: Messergebnisse Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	$R_{s,stat}^*$ [Pa s/m]							
							MS (Ölspur)				RS (Rollspur)			
							MS1	MS2	Mittel-wert (gerundet)	σ	RS1	RS2	Mittel-wert (gerundet)	σ
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	2298	2208	2000	64	1594	1804	2000	148
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	756	738	700	13	1058	1104	1000	32
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	8897	12782	11000	2747	19194	21820	21000	1857
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	739	771	800	22	1219	1879	2000	467
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA 0/8	2000	538	594	400	26	528	839	500	62
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	326	230	280	67	13	468	240	322
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	248	224	240	17	420	330	380	64
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	320	376	350	40	513	487	500	18
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	382	419	400	26	501	589	500	62
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	1000	1103	1000	73	609	735	700	89
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	1442	2968	2000	1079	2091	2537	2000	315
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	51	57	54	4	88	51	70	26
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	1424	1228	1000	139
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	660	826	700	117
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	206	142	170	45	362	279	320	59
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	163	165	160	1	356	479	420	87
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-	-	-	265	220	240	32

*) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)
 - keine Messung

Tab. 4: Messergebnisse des Strömungswiderstands

4.2.4 Bewertung der Messergebnisse

Die Ergebnisse der Strömungswiderstandsmessungen in der Ölspur liegen auf einlagigen offenporigen Asphalten OPA 0/8 (Ifd. Nr. 1-8 und 10) zwischen 240 und 11.000 Pa s/m, in der Rollspur zwischen 380 und 21.000 Pa s/m. Der niedrigste Wert wird erwartungsgemäß an einem relativ jungen Belag (Ifd. Nr. 6/A 96: Bj. 2005) erreicht, der höchste Wert wurde an einem alten Belag am Ende seiner Lebensdauer (1/A 9 FR Süd km 358,55: Bj. 1998) gemessen. Jedoch ist auch in letzterem Fall noch ein gewisser Grad an Porosität gegeben, der Vergleichswert für eine dichte Oberfläche mit Größtkorndurchmesser 8 mm (SMA 0/8) liegt bei ca. 36.000 Pa s/m.

An den Messquerschnitten 8a-9a (offenporiger Asphalt OPA 0/11) werden Werte des Strömungswiderstands zwischen 54 und 2.000 Pa s/m erreicht. Auch hier treten die höchsten Werte bei den älteren Belägen (A 99: Bj. 1998/1999) auf.

An den Messquerschnitten mit zweischichtigem offenporigen Asphalt 2OPA liegen die Messwerte des Strömungswiderstands bei 2.000 Pa s/m oder darunter. Der Erwartungswert für neu gebaute zweischichtige offenporige Asphalte liegt bei etwa 100 Pa s/m, nach Verkehrsfreigabe steigt der Strömungswiderstand typischerweise an. Damit liegen die Ergebnisse für die A 9 im Rahmen des Üblichen, allerdings sind insbesondere in der Rollspur bereits Alterungseffekte – wahrscheinlich Auswirkungen der hohen Verkehrsbelastung in diesem Streckenabschnitt (vgl. Tabelle 2) – zu erkennen.

4.2.5 Weitere Auswertungen

Ein Beispiel für Alterungs-Zeitverläufe der drei untersuchten Bauarten von offenporigen Asphalten wird in Bild 11 gezeigt.

Der Zusammenhang zwischen dem Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ und dem Absorptionsgrad im 1. Maximum α_{max} ist in den Bildern 12a bis 12d grafisch dargestellt. Hier zeigt sich erwartungsgemäß eine deutliche Abhängigkeit zwischen Absorptionsgrad und Strömungswiderstand.

In Bild 13 ist der statische Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ als Funktion des statistischen Vorbeifahrtpegels für Pkw bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h dargestellt. Es zeigt sich nur eine schwache Korrelation. Dies deutet darauf hin, dass der statistische Vorbeifahrtpegel L_{SPB} nur wenig vom Strömungswiderstand, sondern vielmehr auch von anderen Einflussgrößen wie z. B. der Fahrbahntextur bestimmt wird.

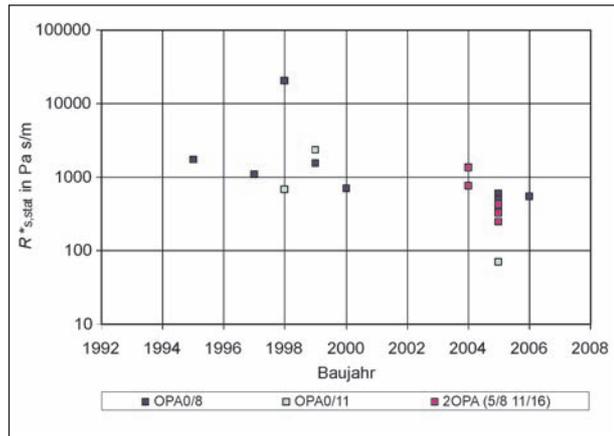


Bild 11: Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ offenporiger Asphalte verschiedener Bauarten: Messergebnisse 2007 in Abhängigkeit vom Baujahr

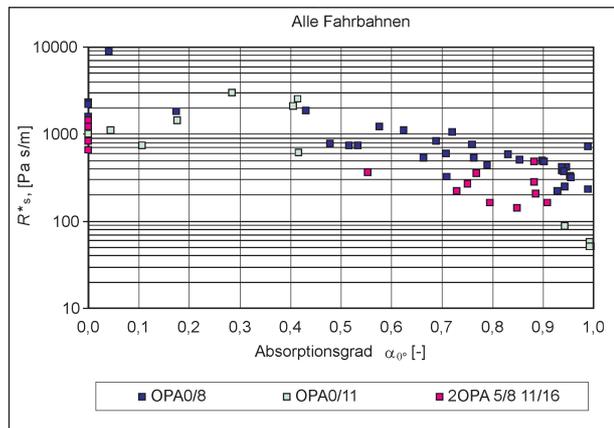


Bild 12a: Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand R_s^* und Absorptionsgrad im 1. Maximum α_{max} für offenporige Asphalte verschiedener Bauarten

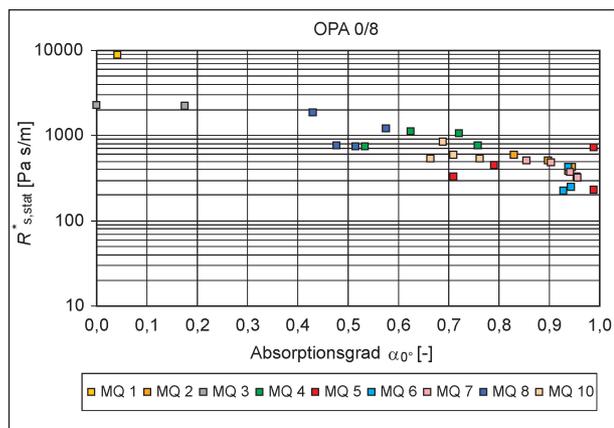


Bild 12b: Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand R_s^* und Absorptionsgrad im 1. Maximum α_{max} für offenporige Asphalte OPA 0/8

mungswiderstand, sondern vielmehr auch von anderen Einflussgrößen wie z. B. der Fahrbahntextur bestimmt wird.

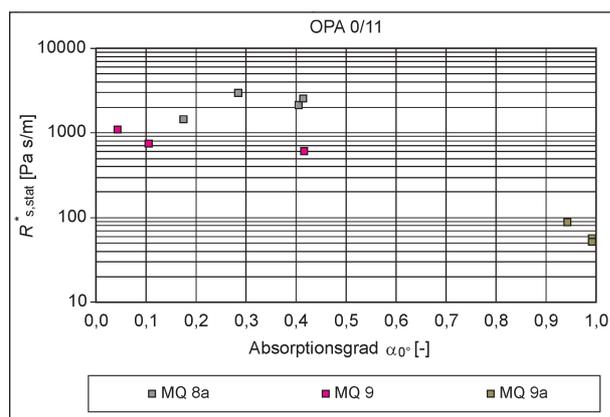


Bild 12c: Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ und Absorptionsgrad im 1. Maximum α_{max} für offene Asphaltbeläge OPA 0/11

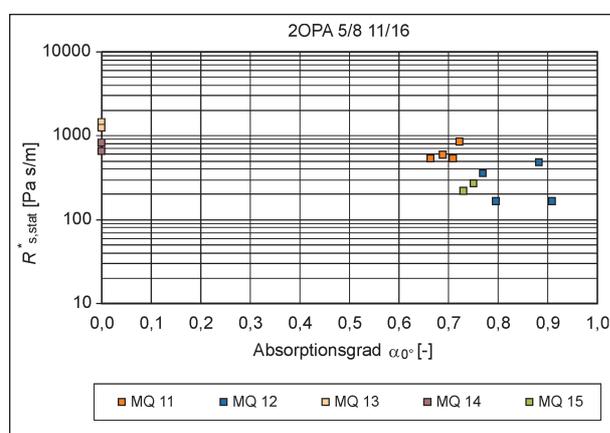


Bild 12d: Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ und Absorptionsgrad im 1. Maximum α_{max} für zweischichtige offene Asphaltbeläge OPA 5/8 11/16

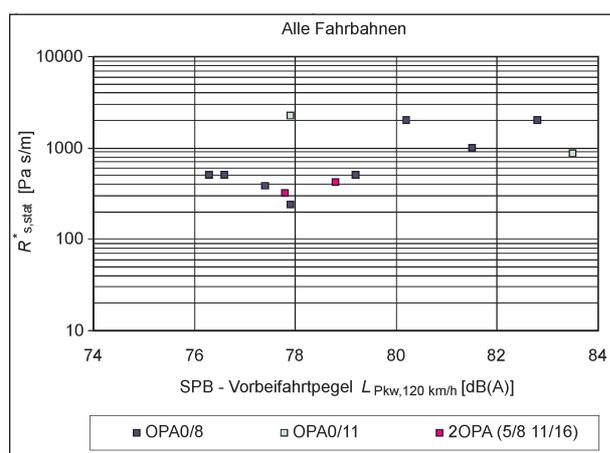


Bild 13: Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand $R_{s,stat}^*$ und SPB-Pegel $L_{Pkw,120km/h}$

Bild 14 zeigt das Verhältnis der Messwerte des Strömungswiderstands in der Rollspur und in der Ölspur. Bei den meisten der untersuchten Beläge liegt der Messwert in der Rollspur über dem Mess-

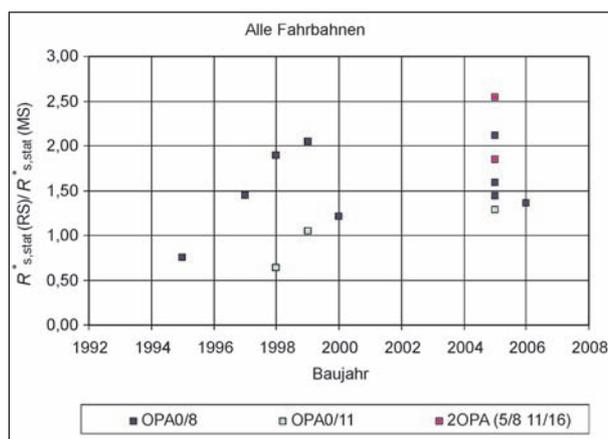


Bild 14: Quotient der Messwerte des Strömungswiderstands $R_{s,stat}^*$ in der Rollspur (RS) und in der Ölspur (MS) für offene Asphaltbeläge verschiedener Bauarten in Abhängigkeit vom Baujahr

wert in der Ölspur (Quotient $R_{s,RS}^*/R_{s,MS}^* > 1$). Dies deutet darauf hin, dass der Effekt der Selbstreinigung der Beläge durch die Druckschwankungen in den Hohlräumen bei Fahrzeugüberfahrten – der einen niedrigeren Strömungswiderstand in der Rollspur zur Folge hätte – nicht so groß ist wie bislang angenommen wurde.

4.3 Messung der Fahrbahntextur

4.3.1 Beschreibung der Messmethode

Die Textur einer Fahrbahnoberfläche wurde mit Hilfe eines Lasertexturmesssystems erfasst. Dabei wird ein Triangulationslaser über eine Länge von mindestens 1,5 m entlang der Fahrbahnoberfläche bewegt. Der vom Sender ausgehende Laserstrahl wird an der Fahrbahnoberfläche reflektiert und von einem optischen Sensor erfasst. Der Abstand der Fahrbahnoberfläche zum Sender und damit die Rauigkeitstiefe der Deckschicht bestimmen die Position des zurückgeworfenen Lichtpunktes auf der Empfängerfläche. Der Winkel, der vom optischen Sensor ausgewertet wird, ist damit ein Maß für die Profiltiefe der Fahrbahntextur und kann mit hoher Auflösung erfasst werden.

Die Messmethode eignet sich für die Bestimmung der Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche in der Eigenschaftsprüfung und zur Abnahme am Bau. Die Auswertung der Messungen erfolgt in Anlehnung an ISO 13473 [13]. Aus dem aufgenommenen Fahrbahnprofil wird durch Fourieranalyse (FFT) das Texturspektrum als Funktion der Texturwellenlänge berechnet. Die effektive Rauigkeitstiefe R_{eff} ist der Effektivwert der Profiltiefe im jeweiligen Wellenlän-

genband. Bild 17 zeigt ein Beispiel für die Verteilung der Rauigkeitstiefe über der Rauigkeitswellenlänge im Wellenlängenbereich zwischen 1 mm und 500 mm (Texturspektrum).

Die horizontale Auflösung des eingesetzten Messgeräts liegt bei ca. 0,2 mm, die vertikale Auflösung beträgt 8 µm.

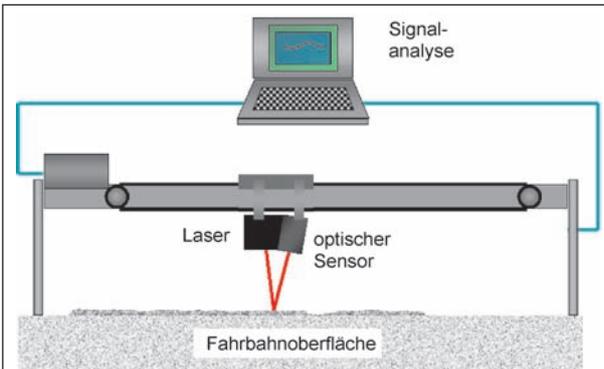


Bild 15: Prinzipskizze des Lasertexturmesssystems



Bild 16: Texturmessgerät

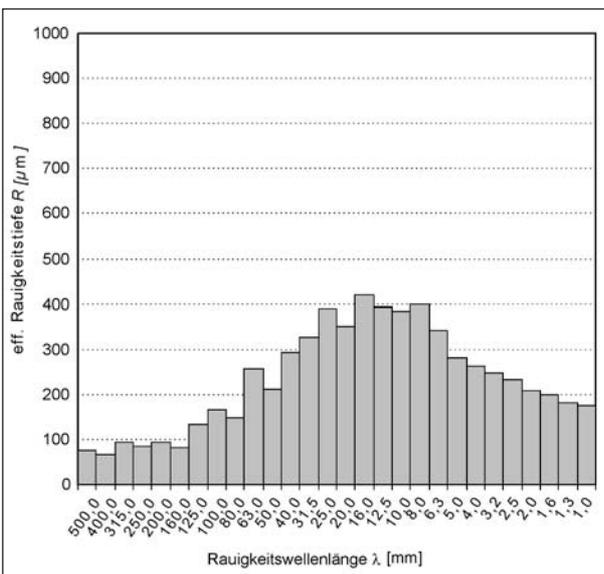


Bild 17: Beispiel für ein Texturspektrum

4.3.2 Durchgeführte Messungen

An jedem Messquerschnitt wurde die Fahrbahntextur an insgesamt 4 Messpunkten untersucht (vgl. auch Bild 2):

2 * Rollspur: horizontaler Abstand der äußersten Spur von der Markierung Fahrbahnrand 70 cm,

2 * Ölspur: horizontaler Abstand der äußersten Spur von der Markierung Fahrbahnrand 140 cm.

Es wurden pro Messpunkt jeweils 20 Spuren der Fahrbahntextur im Abstand von 10 mm gemessen. Zur Auswertung wurde das Rauigkeitsspektrum jeder Spur ermittelt, zusätzlich wurde der Mittelwert über die Rauigkeitsspektren aller 20 Spuren gebildet.

Das Messdatum für die einzelnen Messquerschnitte kann aus Tabelle 1 entnommen werden.

4.3.3 Messergebnisse

Im Anhang D sind alle Einzelergebnisse der Texturmessungen auf der Fahrbahn zusammengestellt, in Tabelle 5 sind der Effektivwert der Rauigkeitstiefe R_{eff} und die Wellenlänge λ im Maximum ($R_{eff,max}$, λ_{max}) des Spektrums zusammenfassend dargestellt.

4.3.4 Bewertung der Messergebnisse

Die Spektren der Oberflächentextur zeigen ein breites Maximum im Makrotexturbereich bei Wellenlängen λ um 12,5 mm. Lediglich in Einzelfällen treten auch Wellenlängen von 16 bzw. 20 Millimeter auf. Kennzeichnend für die akustisch wirksame Textur sind der Effektivwert der Rauigkeitstiefe R_{eff} und die Wellenlänge λ im Maximum ($R_{eff,max}$, λ_{max}) des Spektrums. Im Mittel liegen diese Werte hier bei $R_{eff,max} = 340 \mu m$ mit Wellenlängen von $\lambda_{max} = 12,5 mm$.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit zunehmendem Größtkorndurchmesser auch die Wellenlängen im Maximum λ_{max} und die Rauigkeitstiefe $R_{eff,max}$ ansteigen, was in der Konsequenz zu einer stärkeren Anregung von Reifenschwingungen und einer erhöhten Abstrahlung von Rollgeräuschen führt.

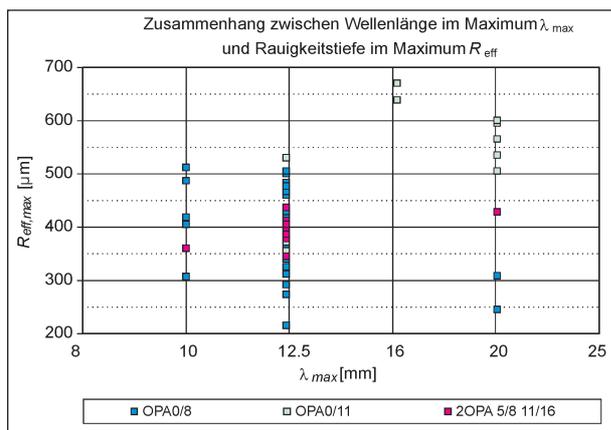


Bild 18a: Messergebnisse Fahrbahntextur: alle Fahrbahnen

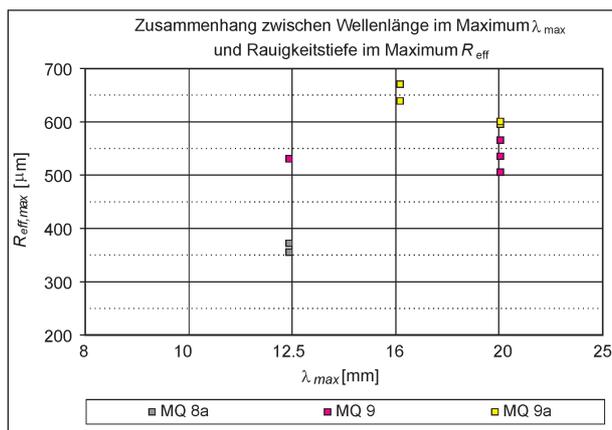


Bild 18c: Messergebnisse Fahrbahntextur: Fahrbahnen OPA 0/11

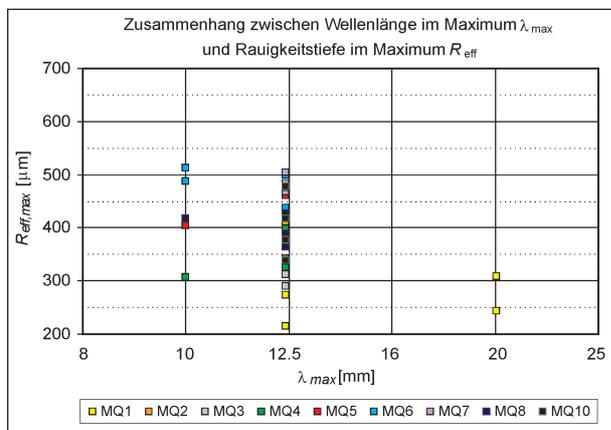


Bild 18b: Messergebnisse Fahrbahntextur: Fahrbahnen OPA 0/8

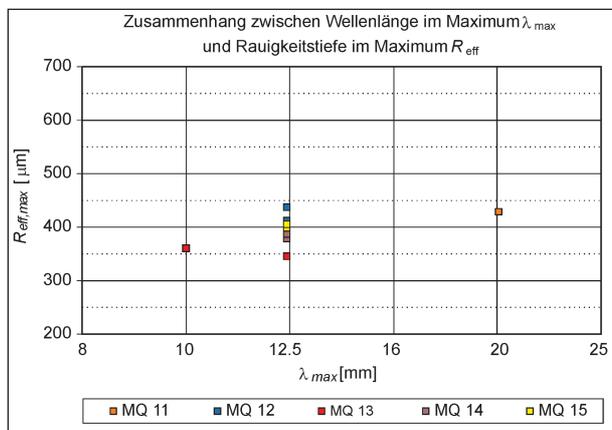


Bild 18d: Messergebnisse Fahrbahntextur: Fahrbahnen 2OPA 5/8 11/16

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	Textur											
							MS1		MS2		MS, Mittelwert		RS1		RS2		RS, Mittelwert	
							λ _{max} , mm	R _{max} , μm	λ _{max} , mm	R _{max} , μm	λ _{max} , mm	R _{max} , μm	λ _{max} , mm	R _{max} , μm	λ _{max} , mm	R _{max} , μm	λ _{max} , mm	R _{max} , μm
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	12,5	273	20,0	309	16,3	291	12,5	215	20,0	244	16,3	229
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	12,5	429	12,5	407	12,5	418	12,5	342	12,5	370	12,5	356
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	12,5	316	12,5	312	12,5	314	12,5	291	12,5	312	12,5	301
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	12,5	398	12,5	419	12,5	409	12,5	325	10,0	307	11,3	316
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	12,5	468	12,5	460	12,5	464	12,5	421	10,0	404	11,3	413
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	12,5	500	10,0	512	11,3	506	12,5	437	10,0	487	11,3	462
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	12,5	484	12,5	505	12,5	494	12,5	467	12,5	476	12,5	472
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	12,5	428	10,0	418	11,3	423	12,5	389	12,5	364	12,5	377
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA0/8	2000	12,5	417	12,5	477	12,5	447	12,5	339	12,5	378	12,5	359
Mittelwert						OPA0/8	12,5	413	12,8	424	12,6	419	12,5	359	12,5	371	12,5	365
8a/Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	12,5	371	-	-	12,5	371	12,5	355	-	-	12,5	355
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	20,0	535	12,5	530	16,3	532	20,0	565	20,0	505	20,0	535
9a/Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	16,0	639	16,0	670,6	16,0	655	20,0	596	20,0	600	20,0	598
Mittelwert						OPA0/11	16,2	515	14,3	600	15	558	17,5	505	20,0	552	19	529
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	12,5	437	12,5	436	12,5	437	12,5	437	20,0	428	16,3	433
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	12,5	437	12,5	412	12,5	425	12,5	386	12,5	392	12,5	389
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	12,5	345	10,0	360	11,3	353
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-	-	-	-	-	12,5	402	12,5	419	12,5	411
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ3	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-	-	-	-	-	12,5	345	10,0	360	11,3	353
Mittelwert						2OPA (5/8 11/16)	12,5	437	12,5	424	13	431	12,5	383	13,0	392	13	387

*) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)
 - keine Messung

Tab. 5: Messergebnisse der Fahrbahntextur

4.4 Rollgeräuschmessung nach der CPX-Methode

4.4.1 Prüfverfahren

Mit der Nahfeldmessmethode (Close Proximity Method – CPX) nach ISO 11819-2 [11] können die Reifen-Fahrbahn-Geräusche unbeeinflusst von speziellen Gegebenheiten der Messumgebung und unabhängig von Antriebs- und Strömungsgeräuschen an der Karosserie gemessen werden.

Da die Messungen kontinuierlich für ganze Straßenabschnitte erfolgen, ist diese Messmethode besonders zur Kennzeichnung der Homogenität der akustischen Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen geeignet.

4.4.2 Messanhänger

Für die Messung muss ein der Norm entsprechender, speziell konstruierter Messanhänger zur Verfügung stehen, der hinter einem Zugfahrzeug nachgezogen wird. Der Messanhänger rollt auf zwei Reifen, die gleichzeitig zur Erzeugung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche dienen.

In kurzem Abstand zur Reifenaufstandsfläche sind jeweils vor und hinter dem Reifen Messmikrofone montiert, die der Schallaufzeichnung dienen.

Da die Messungen im fließenden Verkehr durchgeführt werden, muss der Messanhänger besondere Anforderungen an die Schalldämmung im Inneren des Messanhängers gegenüber den Außengeräuschen, die durch im Gegenverkehr vorbeifahrende, durch folgende, vorausfahrende oder überholende Fahrzeuge hervorgerufen werden, erfüllen. Besondere Anforderungen werden auch an die Auskleidung der Innenflächen des Messanhängers gestellt, die dafür sorgt, dass in den Messkammern im wesentlichen Frequenzbereich quasi Freifeldbedingungen herrschen, die von den Mikrofonen registrierten Reifen-Fahrbahn-Geräusche also nicht durch Schallreflexionen an den Innenflächen gestört werden.

Der Müller-BBM/M+P-Messanhänger erfüllt die Anforderungen nach Norm. Sein Aufbau ist in den Bildern 19 bis 21 dargestellt.

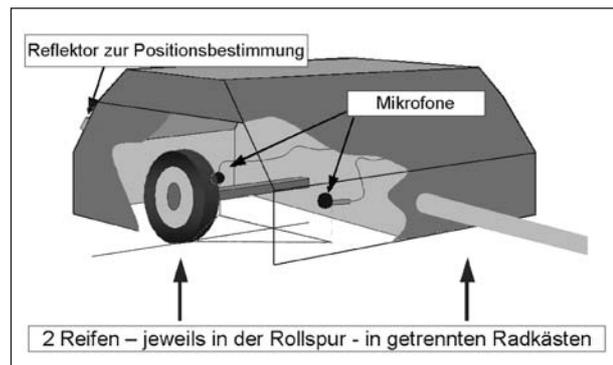


Bild 19: Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen mit der Nahfeldmessmethode



Bild 20: Müller-BBM-Messanhänger



Bild 21: Reifen D mit Messmikrofonen (MP 4 und MP 1)

4.4.3 Messreifen

Für reproduzierbare Messungen sind in der Norm vier Reifensätze festgelegt. Es handelt sich um zwei Sommer- und zwei Winterreifensätze.

Die Messungen im vorliegenden Projekt wurden nach der „survey method“ mit folgenden zwei (der vier) genormten Messreifen durchgeführt:



Bild 22: Muster der vier Messreifentypen
Foto: Ulf Sandberg, Schweden

- Reifen A: AVON ZV1,
- Reifen D: Dunlop SP Arctic.

An jeder Messstelle wurde der rechte Fahrstreifen zweimal mit der Messgeschwindigkeit 80 km/h (so weit verkehrstechnisch zulässig) befahren.

4.4.4 Auswertemethode

Pro Straßenabschnitt von jeweils 5 m Länge werden der Schalldruckpegel L_p und die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit gemessen. Die Schallpegelwerte werden mit einem Geschwindigkeitsexponenten von 35 auf die Referenzgeschwindigkeit $v_{ref} = 80$ km/h korrigiert.

Pro Reifen wird der mittlere A-bewertete Schalldruckpegel (hier: L_A und L_D) mit Angabe der Standardabweichung über den gesamten Straßenabschnitt und für jeden Fahrstreifen bestimmt.

Hinweis:

Der Index A oder D in der Bezeichnung des Schalldruckpegels L steht hier für den Reifen, auf den sich die Pegelangabe bezieht. Der Index darf daher nicht mit der Frequenzbewertung verwechselt werden. Alle Schallpegel werden A-bewertet angegeben.

Auf die Ergebnisse der Nahfeldmessungen wird eine Temperaturkorrektur

$$C_{temp} = 0,05 (T - 20 \text{ °C})$$

mit (T = Lufttemperatur in °C während der Messungen) angewendet.

Bei der Auswertung nach der „survey method“, erfolgt die Ermittlung der Kennwerte für Pkw und Lkw CPX_{cars} bzw. CPX_{trucks} und einen vorgegebenen Fahrzeugmix auf der Straße als Close-Proximity Sound Index CPXI nach folgenden Beziehungen:

$$CPX_{cars} = L_A + 1,0,$$

$$CPX_{trucks} = L_D,$$

$$CPXI = 0,50 \cdot L_A + 0,50 L_D + 0,5.$$

4.4.5 Messabschnitte, Messdatum

Die Messfahrten wurden jeweils auf den untersuchten Richtungsfahrbahnen nach Tabelle 1 auf dem rechten Fahrstreifen durchgeführt. Die Auswertung erfolgte jeweils für 5-m-Abschnitte auf einer Gesamtlänge von ± 100 m um die in-situ untersuchte Messstelle.

Das Datum der jeweiligen CPX-Messungen ist in Tabelle 6 aufgeführt.

An den Abschnitten der A 9 im Bereich Schnaittach – Hormersdorf konnten wegen Baustellen mit teilweise verschwenkten Fahrstreifen keine CPX-Messungen durchgeführt werden.

4.4.6 Messergebnisse

Die Ergebnisse der CPX-Messungen sind in den Bildern 23 bis 25 im Überblick dargestellt. Details enthalten die Tabellen im Anhang E.

4.4.7 Bewertung der Messergebnisse

Die CPXI-Werte weisen erwartungsgemäß eine große Spannweite auf: Es ergeben sich Werte zwischen 94,1 dB (A) auf der A 9 bei Garching (ZOPA: 5/8 auf 11/16, Baujahr 2005) und 100,8 dB (A) auf der A 99a (OPA 0/11, Baujahr 1998). Der letztgenannte Wert ist offensichtlich sowohl durch die Bauart – insbesondere den Größtkorndurchmesser 11 mm – als auch durch das Alter des Belages zu erklären.

Die neu gebauten zweischichtigen offenporigen Asphaltpflaster auf der A 9 im Bereich Garching zeigen niedrige CPXI-Werte zwischen 94,1 und 94,7 dB (A).

Zwischen CPXI und SPB-Vorbeifahrtpegel zeigt sich in Bild 24 erwartungsgemäß ein deutlicher Zusammenhang. Dies zeigt, dass die Geräuscentwicklung im Reifen-Fahrbahn-Kontakt (beschrieben durch den CPX-Wert) bei den hier untersuchten

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	Mess-datum	CPX-Messergebnis survey 80 km/h		
								CPX _{cars}	CPX _{trucks}	CPXI
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	-	-	-	-
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	-	-	-	-
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	-	-	-	-
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	02.10.2007	97,0	98,8	97,9
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA 0/8	2000	10.10.2007	97,1	97,1	97,1
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	02.10.2007	96,9	98,4	97,7
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	02.10.2007	95,7	96,5	96,1
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	02.10.2007	95,7	96,9	96,3
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	-	-	-	-
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	02.10.2007	100,9	100,6	100,8
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	02.10.2007	96,5	98,6	97,5
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	09.10.2007	97,8	95,9	96,9
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA 5/8 11/16	2004 *)	08.06.2006	89,4	90,9	89,7
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA 5/8 11/16	2004 *)	08.06.2006	89,4	90,8	89,7
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA 5/8 11/16	2005	02.10.2007	94,6	94,7	94,7
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA 5/8 11/16	2005	02.10.2007	94,3	93,9	94,1
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA 5/8 11/16	2005	23.04.2007	94,5	95,0	94,8

Messdaten für MQ 15 aus Ergebnissen für v = 50 km/h errechnet
 *) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)
 - CPX-Messung nicht möglich (Baustelle mit verschwenkten Fahrstreifen)

Tab. 6: Ergebnisse der CPX-Messungen 2007

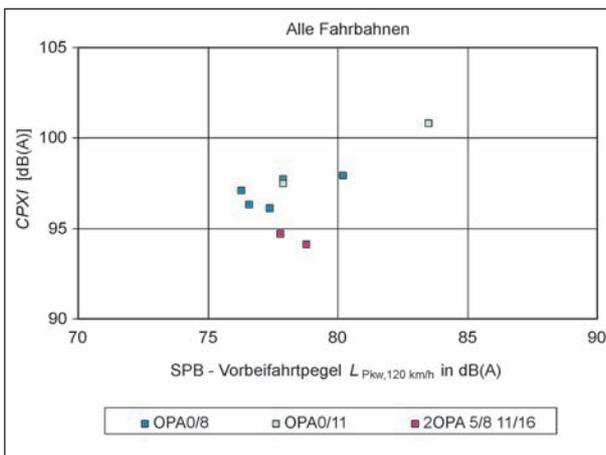


Bild 23: Zusammenhang des CPXI-Wertes mit dem SPB-Pegel $L_{P_{kw},120km/h}$ für verschiedene Bauarten offenporiger Fahrbahnen

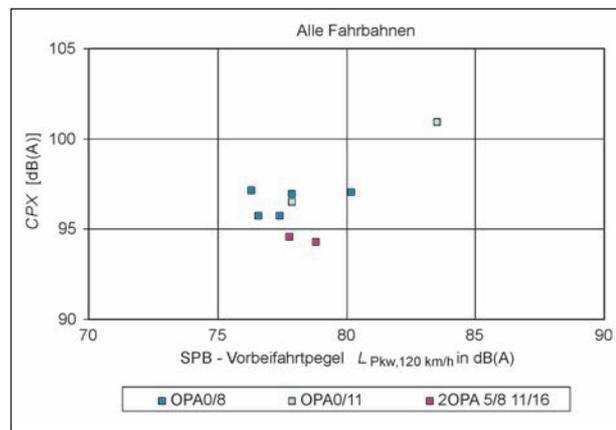


Bild 24: Zusammenhang zwischen den Messergebnissen CPX_{cars} und SPB-Pegel $L_{P_{kw},120km/h}$ für verschiedene Bauarten offenporiger Fahrbahnen

Geschwindigkeitsbereichen über 100 km/h für den Vorbeifahrtpegel (beschrieben durch den SPB-Pegel) pegelbestimmend ist.

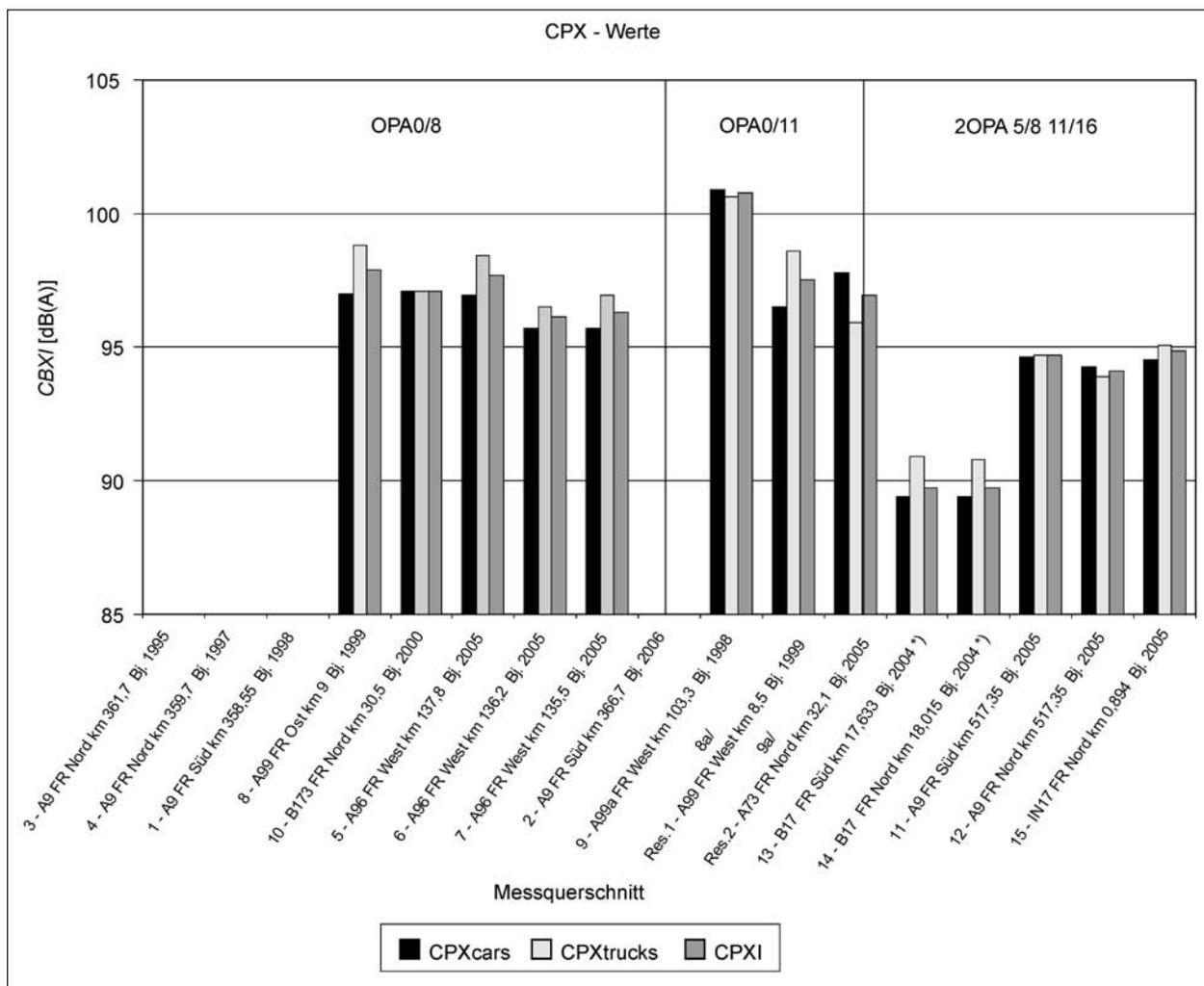


Bild 25: Messergebnisse CPX_{cars}, CPX_{trucks}, CPXI (an den MQ 1 bis 4/A 9 im Bereich Schnaittach – Hormersdorf konnten wegen Baustellen mit teilweise verschwenkten Fahrstreifen keine CPX-Messungen durchgeführt werden)

4.5 Messung des statistischen Vorbeifahrtpegels (SPB-Messung) nach DIN ISO 11 819-1 (SPB-Messung)

4.5.1 Beschreibung des verwendeten Prüfverfahrens

4.5.1.1 Methodik

Die Statistische Vorbeifahrtmethode (SV) nach GESTrO [13] bzw. ISO 11819-1 [11] ist eine Messmethode zur Erfassung und Beurteilung schalltechnischer Eigenschaften des Straßenverkehrs im Allgemeinen und der Fahrbahnoberfläche im Besonderen. Dabei wird ein Mikrofon in 7,5 m Abstand zur Mitte des Fahrstreifens und 1,2 m Höhe über Fahrbahnoberkante installiert (Bild 26). Bei jeder Vorbeifahrt einzelner Fahrzeuge werden der maximale Schalldruckpegel und die Fahrzeuggeschwindigkeit registriert.

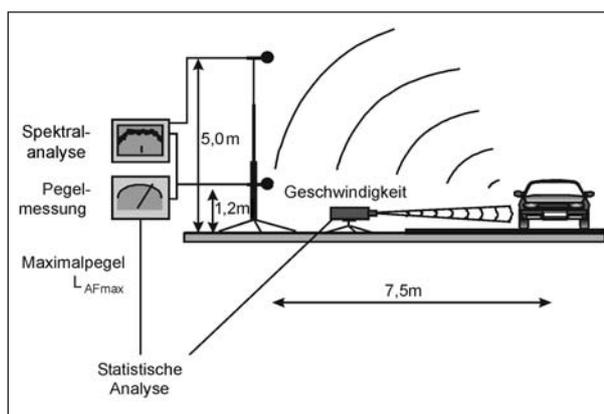


Bild 26: Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen nach der Statistischen Vorbeifahrtmethode

Derzeit wird in Fachkreisen diskutiert, die Messhöhe von 1,2 m über Fahrbahnoberkante auf 4,8 m oder 5,0 m über Fahrbahnoberkante zu erhöhen, um in entsprechenden Situationen der Beeinflussung der Messergebnisse durch Reflexionen und

Abschirmungen von Objekten an der Straße (Leitplanken, Verkehrsschilder usw.) zu entgehen. Um die Vergleichbarkeit mit früheren Messungen zu gewährleisten, werden derzeit Messungen in beiden Mikrofonhöhen durchgeführt.

Die Messungen werden beobachtet durchgeführt und getrennt nach folgenden Fahrzeugkategorien aufgezeichnet, wobei zur Erzielung einer ausreichenden Genauigkeit nach ISO 11819-1 die angegebene Mindestanzahl von Fahrzeugen erfasst werden soll:

- Pkw mindestens 100 Fahrzeuge,
- zweiachsige Lkw mindestens 30 Fahrzeuge,
- mehrachsige Lkw mindestens 30 Fahrzeuge.

Von den zwei- und mehrachsigen Lkw sind grundsätzlich insgesamt mindestens 80 Fahrzeuge zu erfassen.

Die Messergebnisse werden in Form eines Scatterdiagramms dargestellt, worin jeder Punkt den maximalen A-bewerteten Schalldruckpegel $L_{pAF,max}$ einer Vorbeifahrt mit der jeweils zutreffenden Geschwindigkeit v wiedergibt. Eine Regressionsanalyse liefert Mittelwerte für beliebige Geschwindigkeiten v .

Je nach Niveau der auf dem betreffenden Straßenabschnitt gefahrenen Geschwindigkeiten werden die den drei Fahrzeugkategorien (vehicle category) zuzuordnenden Vorbeifahrtpegel L_{veh} gemäß ISO 11819-1 als Mittelwert (Ergebnis der Regressionsanalyse) bei folgenden Referenzgeschwindigkeiten v_{ref} abgelesen:

- Geschwindigkeitsklasse „Niedrig“
 $v_{ref} = 50$ km/h für alle Fahrzeugkategorien,
- Geschwindigkeitsklasse „Mittel“
 $v_{ref} = 80$ km/h für Pkw und $v_{ref} = 70$ km/h für Lkw,
- Geschwindigkeitsklasse „Hoch“
 $v_{ref} = 110$ km/h für Pkw und $v_{ref} = 85$ km/h für Lkw.

Bei Zugrundelegung der Mindestanzahl von Fahrzeugen bzw. Messwerten sind die in Tabelle 7 genannten Standardabweichungen und 95%-Vertrauensbereiche bei den für die verschiedenen Geschwindigkeitsklassen genannten Referenzgeschwindigkeiten v_{ref} zu erwarten.

Fahrzeugkategorie	Standardabweichung bei einzelnen Fahrzeugen	95%-Vertrauensbereich über und unter dem Mittelwert
Pkw	1,5 dB	0,3 dB
zweiachsige Lkw	2,0 dB	0,7 dB
mehrachsig Lkw	2,0 dB	0,7 dB

Tab. 7: Zu erwartende Standardabweichungen und Vertrauensbereiche der Vorbeifahrtpegel bei Zugrundelegung der Mindestanzahl von gemessenen Fahrzeugen und den entsprechenden Referenzgeschwindigkeiten v_{ref} .

4.5.1.2 Berücksichtigung von Einzelfahrzeugen

Wie beschrieben wird bei den Messungen ein Unterschied nach Fahrzeugen verschiedener Kategorien gemacht. Bei dieser Kategorisierung wurden die Fahrzeugarten bei den hier durchgeführten Messungen wie folgt zugeordnet:

- Fahrzeugkategorie „Pkw“
 - alle Pkw ohne Anhänger, außer Vans und Lieferfahrzeuge,
- Fahrzeugkategorie „zweiachsige Lkw“
 - Lkw ohne Anhänger mit einer Hinterachse mit Zwillingsbereifung, außer Busse,
- Fahrzeugkategorie „mehrachsig Lkw“
 - Lkw mit Doppelachse hinten, außer Busse
 - Lkw mit Anhänger,
 - Lkw mit Auflieger.

Die Berücksichtigung von Vans, Lieferfahrzeugen und Bussen führt in den jeweiligen Fahrzeugkategorien zu einer erheblichen Streuung der Messwerte ohne dass dadurch die akustischen Eigenschaften des Fahrbahnbelages besser beschrieben werden können. Aus diesem Grund blieben diese Fahrzeuge unberücksichtigt.

4.5.1.3 Temperaturkorrektur

Die durch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch entstehenden Schallpegel sind temperaturabhängig. Da man davon ausgehen kann, dass die an den Messpunkten messbaren Vorbeifahrtpegel, die sich aus Reifen-Fahrbahn-Geräuschen, Antriebs- und Strömungsgeräuschen an der Karosserie zusammensetzen, von den Reifen-Fahrbahn-Geräuschen dominiert sind, ist die Temperaturabhängigkeit der Schallpegel der Reifen-Fahrbahn-Geräusche auch auf die Vorbeifahrtpegel anwendbar.

MQ Nr.	Straße	Fahr-richtung	Abschnitt	Strecken-km	Belag	Baujahr	SPB-Messergebnis	
							Messdatum SPB	L _{SPB, Pkw 120km/h} dB(A)
1	A9	Süd	Schnaittach	358,55	OPA0/8	1998	14.05.2007	81,4
2	A9	Süd	Schnaittach	366,7	OPA0/8	2006	15.05.2007	79,2
3	A9	Nord	Schnaittach	361,7	OPA0/8	1995	14.05.2007	82,8
4	A9	Nord	Schnaittach	359,7	OPA0/8	1997	14.05.2007	81,5
5	A96	West	Schöffelding	137,8	OPA0/8	2005	22.05.2007	77,9
6	A96	West	Schöffelding	136,2	OPA0/8	2005	09.06.2006	77,4
7	A96	West	Schöffelding	135,5	OPA0/8	2005	21.10.2005	76,6
8	A99	Ost	Ludwigsfeld	9,0	OPA0/8	1999	04.08.2005	80,2
8a/ Res.1	A99	West	Ludwigsfeld	8,5	OPA0/11	1999	12.06.2006	77,9
9	A99a	West	Eschenrieder Spange	103,3	OPA0/11	1998	08.09.2005	83,5
9a/ Res.2	A73	Nord	Erlangen	32,1	OPA0/11	2005	-	-
10	B173	Nord	Lichtenfels	30,5	OPA0/8	2000	26.07.2007	76,3
11	A9	Süd	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	10.06.2006	77,8
12	A9	Nord	Garching	517,35	2OPA (5/8 11/16)	2005	15.06.2006	78,8
13	B17	Süd	Augsburg MQ1	17,633	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-
14	B17	Nord	Augsburg MQ2	18,015	2OPA (5/8 11/16)	2004 *)	-	-
15	IN17	Nord	Ingolstadt MQ8	0,894	2OPA (5/8 11/16)	2005	-	-

*) Messdaten von 2006, daher fiktives Baujahr 2004 (vgl. Tabelle 1)
- keine Messung vorliege

Tab. 8: Ergebnisse der SPB-Messungen

Den Anforderungen der ISO 11819-1, Kapitel 9.4 und 11.2 [11] gemäß sollen die Vorbeifahrtpegel auf die Referenz-Lufttemperatur von

$$T_{\text{Luft, ref.}} = 20 \text{ °C}$$

bezogen werden. Werden die Vorbeifahrtpegel bei anderen Lufttemperaturen gemessen, sind die einzelnen Messwerte entsprechend zu korrigieren, wobei in der Norm kein Verfahren angegeben ist, wie die Korrektur vorzunehmen ist. Im Bericht sollen die korrigierten und nicht korrigierten Werte angegeben werden.

Für die Korrektur bieten sich beispielsweise die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen zu Temperatureffekten in [15] an. Die Vorbeifahrtpegel nehmen mit steigender Lufttemperatur ab. Die Temperaturgänge der Vorbeifahrtpegel bezogen auf Lufttemperatur und Fahrbahntemperatur verlaufen

nahezu deckungsgleich, weshalb kein Unterschied zwischen Luft- und Fahrbahntemperatur zu machen ist. Für den A-bewerteten Gesamtpegel $L_{\text{pAF,max.}}$ ist folgende Korrektur maßgeblich:

$$\begin{aligned} L_{\text{pAF,max.,korr.}} &= L_{\text{pAF,max.,mess}} + c_{\text{TL}} (T_{\text{L}} - T_0) \\ &= L_{\text{pAF,max.,mess}} + 0,05 \text{ dB/°C} \\ &\quad (T_{\text{L}} - 20 \text{ °C}) \end{aligned} \quad (2)$$

mit

$L_{\text{pAF,max.,korr.}}$ temperaturkorrigierter Vorbeifahrtpegel in dB (A)

$L_{\text{pAF,max.,mess}}$ gemessener, nicht temperaturkorrigierter Vorbeifahrtpegel in dB (A)

c_{TL} Korrekturfaktor in dB/°C, hier $c_{\text{TL}} = 0,05 \text{ dB/°C}$

T_0 Referenztemperatur in °C, hier $T_0 = 20 \text{ °C}$

T_L Lufttemperatur zum Zeitpunkt der Messung des Vorbeifahrtpegels in °C

Die Lufttemperatur muss während der Messungen zwischen 5 und 30 °C liegen, die Fahrbahntemperatur zwischen 5 und 50 °C.

Für die MQ 13, MQ 14 (B 17 Augsburg) und MQ 15 (Ingolstadt) ist aufgrund der Lage der Untersuchungsabschnitte im innerstädtischen Bereich mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 70 km/h (Augsburg, MQ 13 und 14) bzw. 50 km/h (Ingolstadt, MQ 15) keine Messung der SPB-Vorbeifahrtpegel im hohen Geschwindigkeitsbereich gemäß ISO 11819-1 möglich. Eine Extrapolation der Daten aus den Geschwindigkeitsbereichen „niedrig“ bzw. „mittel“ auf den Bereich „hoch“ ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Daher werden hier keine SPB-Pegel für die MQ 13 bis 15 angegeben.

5 Literatur

- [1] Forschungsvorhaben Straßenwesen: FE 02.0239/2003/LRB „Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offenerporiger Straßenbeläge“; bearbeitet von Gesellschaft für Akustikforschung, Dresden; Schlussbericht vom 20.05.2005
- [2] Verbundprojekt: Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche (LeiStra1); Schlussbericht: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau, Heft 37 (2004); hier: Teilprojekte TP 3121 (in-situ-Messverfahren Schallabsorptionsgrad) und TP 3122 (in-situ-Messverfahren Strömungswiderstand)
- [3] EU-Projekt: „Integrated Tyre And Road Interaction – ITARI“; 2003-2007
- [4] Weiterentwicklung offenerporiger Asphalte, Schalltechnische und bautechnische Untersuchungen an den realisierten Strecken in Bayern; Schlussbericht: Müller-BBM-Bericht Nr. M 61 971/5 vom 24.11.2006
- [5] Monitoring Augsburg: Müller-BBM-Berichte zu den Projektnummern M 54 928, M 57 986 und M 66 719 aus den Jahren 2003-2007
- [6] Stadt Ingolstadt: Kreisstraße IN 17, Westliche Ringstraße: Pilotprojekt zweischichtiger offenerporiger Asphalt, Schalltechnische Kontrollprüfungen; Müller-BBM-Bericht Nr. M 58 200/5 vom 20.10.2005
- [7] Monitoring Ingolstadt; Allgemein: http://www.lfu.bayern.de/laerm/forschung_und_projekte/doc/2opa.pdf, SPB-Messung 2005: http://www.lfu.bayern.de/laerm/daten/messberichte/doc/messbericht_2opa_ingolstadt_05.pdf, SPB-Messung 2006: http://www.lfu.bayern.de/laerm/daten/messberichte/doc/messbericht_2opa_ingolstadt_06.pdf
- [8] SPB-Messungen an der A 9 bei Garching: http://www.lfu.bayern.de/laerm/daten/messberichte/doc/messbericht_eching_garching.pdf
- [9] Straßenverkehrszählung 2005: Verkehrsmengen-Atlas Bayern, herausgegeben von der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern
- [10] DIN EN 29053, Akustik: Materialien für akustische Anwendungen; Bestimmung des Strömungswiderstandes (ISO 9053:1991); Deutsche Fassung EN 29053:1993
- [11] ISO 11 819-1: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic. Part 1. Statistical pass-By method. September 1997
- [12] ISO CD 11 819-2: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Entwurf, Arbeitsvorlage vom 13.12.2000
- [13] Verfahren zur Messung der Geräuschemission von Straßenoberflächen (GEStrO), herausgegeben durch den Bundesminister für Verkehr, Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 16/1992, Bonn, 1992
- [14] DIN EN ISO 13473-1: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen. Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe. Juli 2004
- [15] ISO 9613-2: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2: General method of calculation. 1996-12-15

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2003

- V 100: Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage
Brilon, Miltner € 17,00
- V 101: Straßenverkehrszählung 2000 – Ergebnisse
Lensing € 13,50
- V 102: Vernetzung von Verkehrsbeeinflussungsanlagen
Kniß € 12,50
- V 103: Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten
Falkenberg, Blase, Bonfranchi, Cossé, Draeger, Vortisch, Kautzsch, Stapf, Zimmermann € 11,00
- V 104: Standortentwicklung an Verkehrsknotenpunkten – Randbedingungen und Wirkungen
Beckmann, Wulfhorst, Eckers, Klönne, Wehmeier, Baier, Peter, Warnecke € 17,00
- V 105: Sicherheitsaudits für Straßen international
Brühning, Löhe € 12,00
- V 106: Eignung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen gemäß den Anforderungen nach DIN EN 1317
Ellmers, Balzer-Hebborn, Fleisch, Friedrich, Keppler, Lukas, Schulte, Seliger € 15,50
- V 107: Auswirkungen von Standstreifenumnutzungen auf den Straßenbetriebsdienst
Moritz, Wirtz € 12,50
- V 108: Verkehrsqualität auf Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen
Baier, Kathmann, Baier, Schäfer € 14,00
- V 109: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf auf b2+1-Strecken mit allgemeinem Verkehr
Weber, Löhe € 13,00

2004

- V 110: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2001 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Laffont, Nierhoff, Schmidt, Kathmann € 22,00
- V 111: Autobahnverzeichnis 2004 (erschienen 2005)
Kühnen € 21,50
- V 112: Einsatzkriterien für Betonschutzwände (vergriffen)
Steinauer, Kathmann, Mayer, Becher € 21,50
- V 113: Car-Sharing in kleinen und mittleren Gemeinden
Schweig, Keuchel, Kleine-Wiskott, Hermes, van Acken € 15,00
- V 114: Bestandsaufnahme und Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Car-Sharing
Loose, Mohr, Nobis, Holm, Bake € 20,00
- V 115: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2002 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Kathmann, Laffont, Nierhoff € 24,50
- V 116: Standardisierung der Schnittstellen von Lichtsignalanlagen – Zentralrechner/Knotenpunktgerät und Zentralrechner/Ingenieurarbeitsplatz
Kroen, Klod, Sorgenfrei € 15,00
- V 117: Standorte für Grünbrücken – Ermittlung konfliktreicher Streckenabschnitte gegenüber großräumigen Wanderungen jagdbarer Säugetiere
Surkus, Tegethof € 13,50

- V 118: Einsatz neuer Methoden zur Sicherung von Arbeitsstellen kürzerer Dauer
Steinauer, Maier, Kemper, Baur, Meyer € 14,50

2005

- V 119: Alternative Methoden zur Überwachung der Parkdauer sowie zur Zahlung der Parkgebühren
Boltze, Schäfer, Wohlfarth € 17,00
- V 120: Fahrleistungserhebung 2002 – Inländerfahrleistung
Hautzinger, Stock, Mayer, Schmidt, Heidemann € 17,50
- V 121: Fahrleistungserhebung 2002 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko
Hautzinger, Stock, Schmidt € 12,50
- V 122: Untersuchungen zu Fremdstoffbelastungen im Straßenseitenraum – Band 1 bis Band 5
Beer, Herpetz, Moritz, Peters, Saltzmann-Koschke, Tegethof, Wirtz € 18,50
- V 123: Straßenverkehrszählung 2000: Methodik
Lensing € 15,50
- V 124: Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten
Angenendt, Blase, Klöckner, Bonfranchi-Simovió, Bozkurt, Buchmann, Roeterink € 15,50
- V 125: PM₁₀-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen
Düring, Bösinger, Lohmeyer € 17,00
- V 126: Anwendung von Sicherheitsaudits an Stadtstraßen
Baier, Heidemann, Klempe, Schäfer, Schuckließ € 16,50
- V 127: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2003 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Kofmann € 24,50
- V 128: Qualitätsmanagement für Lichtsignalanlagen – Sicherheitsüberprüfung vorhandener Lichtsignalanlagen und Anpassung der Steuerung an die heutige Verkehrssituation
Boltze, Reusswig € 17,00
- V 129: Modell zur Glättewarnung im Straßenwinterdienst
Badelt, Breitenstein € 13,50
- V 130: Fortschreibung der Emissionsdatenmatrix des MLuS 02 Steven
€ 12,00
- V 131: Ausbaustandard und Überholverhalten auf 2+1-Strecken
Friedrich, Dammann, Irzik € 14,50
- V 132: Vernetzung dynamischer Verkehrsbeeinflussungssysteme
Boltze, Breser € 15,50

2006

- V 133: Charakterisierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Hübelt, Schmid € 17,50
- V 134: Qualifizierung von Auditoren für das Sicherheitsaudit für Innerortsstraßen
Gerlach, Kesting, Lippert € 15,50
- V 135: Optimierung des Winterdienstes auf hoch belasteten Autobahnen
Cypra, Roos, Zimmermann € 17,00
- V 136: Erhebung der individuellen Routenwahl zur Weiterentwicklung von Umlegungsmodellen
Wermuth, Sommer, Wulff € 15,00
- V 137: PM_x-Belastungen an BAB
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 138: Kontinuierliche Stickoxid (NO_x)- und Ozon (O₃)-Messwertaufnahme an zwei BAB mit unterschiedlichen Verkehrsparametern 2004
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,50

- V 139: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprüh-
anlagen
Wirtz, Moritz, Thesenvitz € 14,00
- V 140: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2004 –
Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 15,50
- V 141: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf
den Bundesautobahnen und Europastraßen 2003
Lensing € 15,00
- V 142: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung
des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen
Fischer, Brannolte € 17,50
- V 143: Planung und Organisation von Arbeitsstellen kürzerer
Dauer an Bundesautobahnen
Roos, Hess, Norkauer, Zimmermann, Zackor, Otto € 17,50
- V 144: Umsetzung der Neuerungen der StVO in die straßen-
verkehrsrechtliche und straßenbauliche Praxis
Baier, Peter-Dosch, Schäfer, Schiffer € 17,50
- V 145: Aktuelle Praxis der Parkraumbewirtschaftung in Deutschland
Baier, Klemps, Peter-Dosch € 15,50
- V 146: Prüfung von Sensoren für Glättemeldeanlagen
Badelt, Breitenstein, Fleisch, Häusler, Scheurl, Wendl € 18,50
- V 147: Luftschadstoffe an BAB 2005
Baum, Hasskelo, Becker, Weidner € 14,00
- V 148: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Ent-
wurf von Landstraßen – Grundlagenstudie –
Becher, Baier, Steinauer, Scheuchenpflug, Krüger € 16,50
- V 149: Analyse und Bewertung neuer Forschungserkenntnisse
zur Lichtsignalsteuerung
Boltze, Friedrich, Jentsch, Kittler, Lehnhoff, Reusswig € 18,50
- V 150: Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem
Straßenbetriebsdienst
Rommeiß, Thrän, Schlägl, Daniel, Scholwin € 18,00

2007

- V 151: Städtischer Liefer- und Ladeverkehr – Analyse der kom-
munalen Praktiken zur Entwicklung eines Instrumentariums
für die StVO
Böhl, Mause, Kloppe, Brückner € 16,50
- V 152: Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Stre-
ckenabschnitte für Motorradfahrer
Gerlach, Oderwald € 15,50
- V 153: Standstreifenfreigabe – Sicherheitswirkung von Um-
nutzungsmaßnahmen
Lemke € 13,50
- V 154: Autobahnverzeichnis 2006
Kühnen € 22,00
- V 155: Umsetzung der Europäischen Umgebungslärmrichtlinie
in Deutsches Recht
Bartolomaeus € 12,50
- V 156: Optimierung der Anfeuchtung von Tausalzen
Badelt, Seliger, Moritz, Scheurl, Häusler € 13,00
- V 157: Prüfung von Fahrzeugrückhaltesystemen an Straßen
durch Anprallversuche gemäß DIN EN 1317
Klöckner, Fleisch, Balzer-Hebborn, Ellmers,
Friedrich, Kübler, Lukas € 14,50
- V 158: Zustandserfassung von Alleebäumen nach Straßenbau-
maßnahmen
Wirtz € 13,50
- V 159: Luftschadstoffe an BAB 2006
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 160: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2005 –
Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 25,50

- V 161: Quantifizierung staubedingter jährlicher Reisezeitverluste
auf Bundesautobahnen – Infrastrukturbedingte Kapazitätsengpässe
Listl, Otto, Zackor € 14,50
- V 162: Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen
Wegweisern mit integrierter Stauinformation – dWiSta
Grahl, Sander € 14,50
- V 163: Kriterien für die Einsatzbereiche von Grünen Wellen und
verkehrsabhängigen Steuerungen
Brilon, Wietholt, Wu € 17,50
- V 164: Straßenverkehrszählung 2005 – Ergebnisse
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,00

2008

- V 165: Ermittlung des Beitrages von Reifen-, Kupplungs-, Brems-
und Fahrbahnabrieb an den PM₁₀-Emissionen von Straßen
Quass, John, Beyer, Lindermann, Kuhlbusch,
Hirner, Sulkowski, Sulkowski, Hippler € 14,50
- V 166: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2006
– Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen
Fitschen, Koßmann € 26,00
- V 167: Schadstoffe von Bankettmaterial – Bundesweite
Datenauswertung
Kocher, Brose, Siebertz € 14,50
- V 168: Nutzen und Kosten nicht vollständiger Signalisierungen
unter besonderer Beachtung der Verkehrssicherheit
Frost, Schulze € 15,50
- V 169: Erhebungskonzepte für eine Analyse der Nutzung von
alternativen Routen in übergeordneten Straßennetzen
Wermuth, Wulff € 15,50
- V 170: Verbesserung der Sicherheit des Betriebspersonals in
Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Bundesautobahnen
Roos, Zimmermann, Riffel, Cypra € 16,50
- V 171: Pilotanwendung der Empfehlungen für die Sicherheits-
analyse von Straßennetzen (ESN)
Weinert, Vengels € 17,50
- V 172: Luftschadstoffe an BAB 2007
Baum, Hasskelo, Siebertz, Weidner € 13,50
- V 173: Bewertungshintergrund für die Verfahren zur Charakteri-
sierung der akustischen Eigenschaften offener Straßenbeläge
Altreuther, Beckenbauer, Männel € 13,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.