

Müller-BBM GmbH  
Robert-Koch-Str. 11  
82152 Planegg bei München

Telefon +49(89)85602 204  
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel  
Telefon +49(89)85602 204  
Manuel.Maennel@MuellerBBM.de

24. August 2012  
M79466/14 MNL/MNL

## **Ausbau der Haselbrunnstraße/Ost**

### **Nahfeld- (CPX)-Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach ISO/CD 3<sup>rd</sup> 11819-2 2. Monitoring Juni 2012 (Messreihe 3 nach Umbau)**

**Bericht Nr. M79466/14**

Auftraggeber:	Große Kreisstadt Radolfzell am Bodensee Postfach 14 80 78304 Radolfzell
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel Dipl.-Ing. (FH) Thorsten Otto
Berichtsumfang:	Insgesamt 26 Seiten, davon 15 Seiten Textteil, 3 Seiten Anhang A, 6 Seiten Anhang B 2 Seiten Anhang C.

Zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001  
Akkreditiertes Prüflaboratorium nach ISO/IEC 17025

Müller-BBM GmbH  
HRB München 86143  
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer: Horst Christian Gass,  
Dr. Carl-Christian Hantschk, Stefan Schierer  
Dr. Edwin Schorer, Norbert Suritsch

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Situation und Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung des Prüfobjekts</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung der Messungen</b>	<b>4</b>
3.1	Messgeschwindigkeit	4
3.2	Mikrofonpositionen	4
3.3	Zeitpunkt der Messungen	4
3.4	Witterung	4
3.5	Störgeräusche	4
<b>4</b>	<b>Messergebnisse und Analyse</b>	<b>4</b>
4.1	Temperaturkorrektur	5
4.2	CPX-Indizes und Homogenität	5
4.3	Örtlicher Verlauf des Schalldruckpegels	8
4.4	Frequenzzusammensetzung (Spektren)	10
4.5	Bewertung und Analyse der Messergebnisse	11
4.6	Weitere Vorgehensweise	13
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>14</b>
Anhang A	Messprotokolle	
Anhang B	Beschreibung des CPX-Messsystems	
Anhang C	Verwendete Prüfmittel	

## 1 Situation und Aufgabenstellung

Im Zuge des Umbaus der Haselbrunnstraße in Radolfzell mit einem zweischichtigen offenporigen Asphalt (ZWOPA) sind im Juli 2012 Nahfeldmessungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche mit dem CPX-Anhängermesssystem nach ISO/CD 3<sup>rd</sup> 11819-2 im Nachherzustand (umgebauter Zustand) durchgeführt worden.

Es handelt sich dabei um die 2. Monitoringmessung bzw. die 3. Messreihe nach Abschluss des Umbaus mit einem ZWOPA-Belag. Die Liegedauer des ZWOPA-Belags beträgt zum Zeitpunkt der Messungen ca. zwei Jahre.

Die Ergebnisse werden mit der 1. Messreihe nach Umbau, die im September 2010 stattfand (vgl. Müller-BBM-Bericht M79 466/12), und der ersten Monitoringmessung (vgl. Müller-BBM-Bericht M79 466/13) verglichen.

Die ermittelten CPX-Messergebnisse sollen dazu dienen, die erzielte Pegelminde- rung des Reifen-Fahrbahngeräuschs gegenüber einem herkömmlichen dichten Fahr- bahnbelag zu bestimmen.

Der Fahrbahnkorrekturwert  $D_{\text{StrO}}$  kann aufgrund von Erfahrungswerten aus den Nah- feldmessungen mit dem CPX-Verfahren lediglich abgeschätzt werden. Eine genaue Ermittlung des  $D_{\text{StrO}}$ -Wertes nach GEstro 92 kann nur mit dem Messverfahren der Statistischen Vorbeifahrt (**Statistical pass-by** Verfahren, kurz: **SPB**) nach ISO 11819-1 durchgeführt werden.

## 2 Beschreibung des Prüfobjekts

Der zu untersuchende Streckenabschnitt auf der Haselbrunnstraße liegt im Stadtge- biet von Radolfzell. Er liegt zwischen dem Kreisverkehr Schützenstraße im Westen und der Güttlinger Straße im Osten.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit ist 50 km/h (innerorts), die Länge der Mess- strecke beträgt ca. 150 m. Es ist je Fahrtrichtung ein Fahrstreifen vorhanden. Die Fahrstreifen werden im Folgenden nach Fahrtrichtung (West, Ost) unterschieden.

Auf der Untersuchungsstrecke ist im August 2010 ein zweischichtiger offenporiger Asphalt (ZWOPA) als geräuschemindernder Fahrbahnbelag eingebaut worden. Die Liegedauer zum Zeitpunkt der Messungen beträgt demnach ca. zwei Jahre.

Die Strecke weist keine nennenswerte Steigung auf. Sie liegt auf einer Geraden, enge Kurvenradien treten lediglich in den direkt an die Messstrecke angrenzenden Bereichen an der Güttlinger Straße im Osten auf.

Der Kurvenbereich Güttlinger Straße/Haselbrunnstraße wurde als Anlaufstrecke zur Fertigung des ZWOPA benutzt, nachträglich herausgefräst und mit herkömmlichem Deckschichtmaterial ausgeführt.

### 3 Durchführung der Messungen

#### 3.1 Messgeschwindigkeit

Auf der Haselbrunnstraße wurden die Messungen bei der Referenzgeschwindigkeit 50 km/h und zusätzlich mit 30 km/h durchgeführt.

#### 3.2 Mikrofonpositionen

Es wurden die nach Norm obligatorischen Mikrofonpositionen im rechten Radhaus ausgewertet.

#### 3.3 Zeitpunkt der Messungen

Die Monitoring-Messungen nach ca. zwei Jahren Liegedauer (Messreihe 3) wurden am Dienstag, den 17. Juli 2012, zwischen 11:00 Uhr und 13:30 Uhr durchgeführt.

Die Monitoring-Messungen nach ca. einem Jahr Liegedauer (Messreihe 2) wurden am Dienstag, den 28. Juni 2011, zwischen 10:30 Uhr und 13:30 Uhr durchgeführt.

Die Vergleichsmessungen aus dem Jahr 2010 (Messreihe 1, Neubauzustand) fanden am Montag, den 06. September 2010, zwischen 11:30 Uhr und 14:30 Uhr statt.

#### 3.4 Witterung

Zum Zeitpunkt der Messungen war es heiter und niederschlagsfrei. Auch in einem Zeitraum von 48 Stunden vor den Messungen hatte es nicht geregnet. Die Fahrbahn war trocken und es herrschten Lufttemperaturen von 22 °C bis 24 °C. Die Fahrbahntemperaturen betragen im Mittel 43 °C.

Die Witterungsbedingungen entsprachen somit den Normanforderungen. Die in Anhang B beschriebene Temperaturkorrektur wird in Kapitel 4.1 entsprechend angewendet.

#### 3.5 Störgeräusche

Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch besonders laute vorbeifahrende Lkw, Schienenverkehr, Baustellenlärm etc., sind während der Messung nicht aufgetreten.

### 4 Messergebnisse und Analyse

Im Anhang A sind die Messprotokolle mit örtlichen Verläufen des Schalldruckpegels (Einzelwerte aus 20 m-Abschnitten)  $L_p$ , die ermittelten CPX-Indizes  $CPX_p$ ,  $CPX_H$  und CPXI (Close-Proximity Sound Index) sowie die durchschnittlichen Frequenzspektren für  $CPX_p$  und  $CPX_H$  dargestellt. Alle in diesem Bericht und in Anhang A angegebenen Ergebnisse sind gemäß Anhang B temperaturkorrigiert.

Im Folgenden werden diese Ergebnisse zusammenfassend erläutert.

#### 4.1 Temperaturkorrektur

In Tabelle 1 sind die während des Messzeitraums registrierten Luft- und Fahrbahntemperaturen je Reifen zusammengestellt. Weiterhin ist die gemäß Anhang B zu errechnende Temperaturkorrektur angegeben.

Tabelle 1. Luft- und Fahrbahntemperatur während der Messungen und daraus abgeleiteter Temperaturkorrekturwert.

Messabschnitt	Lufttemperatur in °C	Fahrbahntemperatur in °C	Temperaturkorrektur $C_{Temp}$ in dB
Reifentyp A	23 bis 24	44 bis 48	+ 0,2
Reifentyp D	22 bis 23	39 bis 42	+ 0,1 bis + 0,2

#### 4.2 CPX-Indizes und Homogenität

Nach den Beziehungen in Anhang B wurden die CPX-Indizes  $CPX_P$ ,  $CPX_H$  und  $CPXI$  (Close-Proximity Sound Index) und deren Standardabweichungen  $s$  ermittelt.

Die CPX-Indizes geben einen über den Streckenverlauf gemittelten Schalldruckpegel für die Reifentypen A ( $CPX_P$ ) und D ( $CPX_H$ ) sowie einen Mittelwert aus beiden Reifentypen ( $CPXI$ ) an.

In Tabelle 2 sind die CPX-Indizes der aktuellen Messreihe 2012 für 50 km/h und zusätzlich für 30 km/h für die Haselbrunnstraße getrennt für beide Fahrrichtungen (West, Ost) sowie als Mittelwert über beide Fahrrichtungen bzw. Fahrstreifen angegeben.

Tabelle 2. CPX-Indizes inkl. Standardabweichungen  $s$  in dB(A) auf der Haselbrunnstraße,  $v = 50$  km/h und  $v = 30$  km/h.

Fahrrichtung/ Fahrstreifen	Haselbrunnstraße 2. Monitoring ZWOPA Juli 2012 50 km/h			Haselbrunnstraße 2. Monitoring ZWOPA Juli 2012 30 km/h		
	$CPX_P$ $s_P$	$CPX_H$ $s_H$	$CPXI$ $s$	$CPX_P$ $s_P$	$CPX_H$ $s_H$	$CPXI$ $s$
West	88,5 1,4	88,9 1,3	88,7 1,4	80,2 1,2	81,1 1,2	80,7 1,2
Ost	87,7 0,6	87,2 0,6	87,4 0,6	80,2 0,9	80,0 0,4	80,1 0,6
<b>Mittelwert</b>	<b>88,1</b>	<b>88,1</b>	<b>88,1</b>	<b>80,2</b>	<b>80,6</b>	<b>80,4</b>

In der folgenden Tabelle 3 sind vergleichend die CPX-Indizes der 1. Monitoringmessung (Messreihe 2, Juni 2011) und der Messreihe 1 (September 2010) nach dem Umbau mit ZWOPA bei 50 km/h dargestellt.

Tabelle 3. CPX-Indizes in dB(A), Standardabweichung s in dB, 1. Vorgangene Messungen, 50 km/h.

Fahrtrichtung, Fahrstreifen	Messreihe 2, 1. Monitoring ZWOPA, Juni 2011			Messreihe 1, Messung Neuzu- stand ZWOPA, Sept. 2010		
	<i>CPX<sub>P</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>P</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>H</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>H</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>I</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>I</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>P</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>P</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>H</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>H</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>I</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>I</sub></sub></i>
West	<b>87,3</b> 0,6	<b>86,2</b> 0,7	<b>86,7</b> 0,7	<b>86,1</b> 0,6	<b>87,0</b> 0,4	<b>86,6</b> 0,5
Ost	<b>87,5</b> 0,5	<b>86,3</b> 0,8	<b>86,9</b> 0,6	<b>86,0</b> 0,4	<b>86,9</b> 0,4	<b>86,5</b> 0,4
<b>Mittelwert</b>	<b>87,4</b>	<b>86,3</b>	<b>86,8</b>	<b>86,1</b>	<b>87,0</b>	<b>86,6</b>

In der folgenden Tabelle 4 sind zusätzlich die CPX-Indizes für 30 km/h der vergangen-  
nen beiden Messreihen dargestellt.

Tabelle 4. CPX-Indizes in dB(A), Standardabweichung s in dB, 1. Vorgangene Messungen, 30 km/h.

Fahrtrichtung, Fahrstreifen	Messreihe 2, 1. Monitoring ZWOPA, Juni 2011			Messreihe 1, Messung Neuzu- stand ZWOPA, Sept. 2010		
	<i>CPX<sub>P</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>P</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>H</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>H</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>I</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>I</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>P</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>P</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>H</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>H</sub></sub></i>	<i>CPX<sub>I</sub></i> <i>s<sub>CPX<sub>I</sub></sub></i>
West	<b>80,0</b> 0,7	<b>78,9</b> 0,7	<b>79,4</b> 0,7	<b>79,0</b> 0,6	<b>78,6</b> 0,4	<b>78,8</b> 0,5
Ost	<b>80,6</b> 0,7	<b>78,7</b> 0,5	<b>79,7</b> 0,6	<b>79,0</b> 0,6	<b>78,8</b> 0,4	<b>78,9</b> 0,5
<b>Mittelwert</b>	<b>80,3</b>	<b>78,8</b>	<b>79,6</b>	<b>79,0</b>	<b>78,7</b>	<b>78,9</b>

Den Messergebnissen kann entnommen werden, dass sich die Standardabweichung insbesondere in Fahrtrichtung Westen im Vergleich zu den Messergebnissen aus den Vorjahren deutlich erhöht hat. Zudem fällt auf, dass die Schalldruckpegel durchweg angestiegen sind. In den Abbildungen 1 bis 3 ist die zeitliche Entwicklung der Nahfeldpegel bzw. CPX-Indizes jeweils für 30 km/h und 50 km/h anschaulich dargestellt.

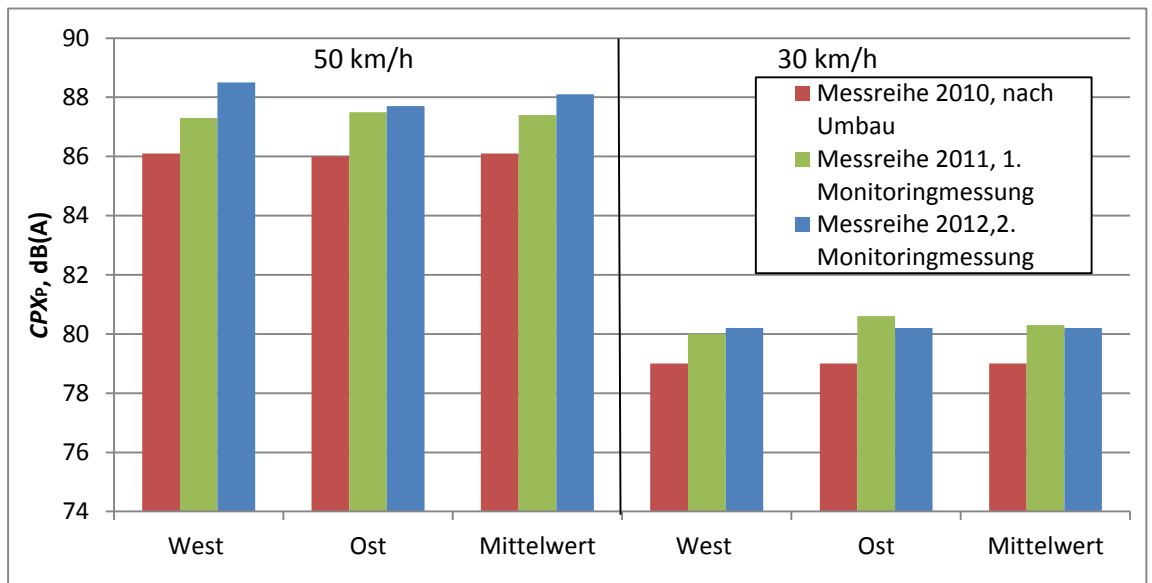


Abbildung 1. Vergleich der Messreihen (zeitliche Entwicklung) für den Index  $CPX_p$  (Reifentyp A).

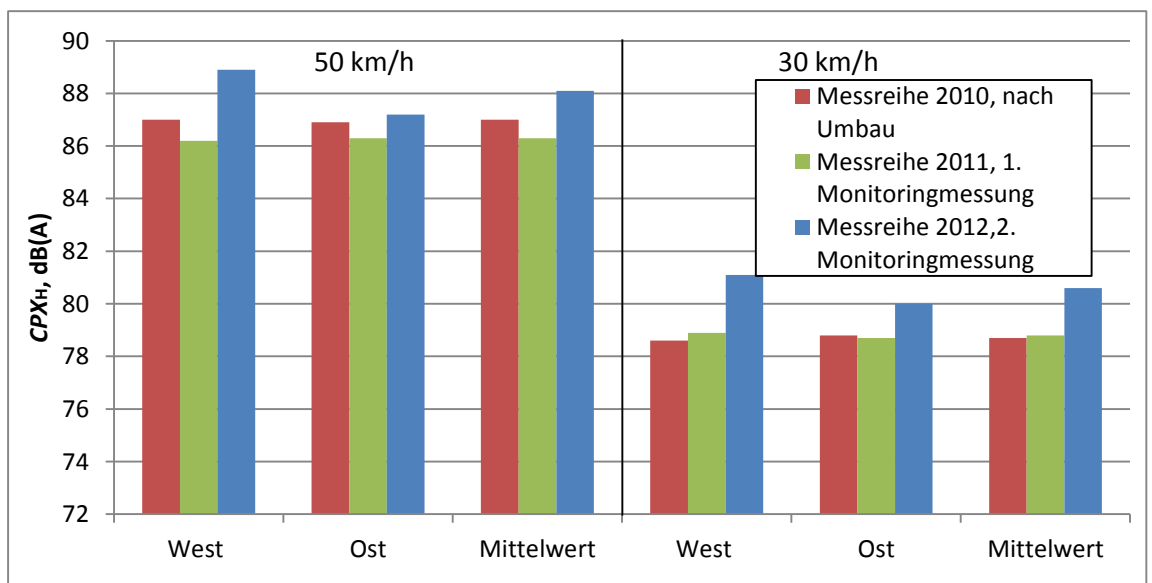


Abbildung 2. Vergleich der Messreihen (zeitliche Entwicklung) für den Index  $CPX_h$  (Reifentyp D).

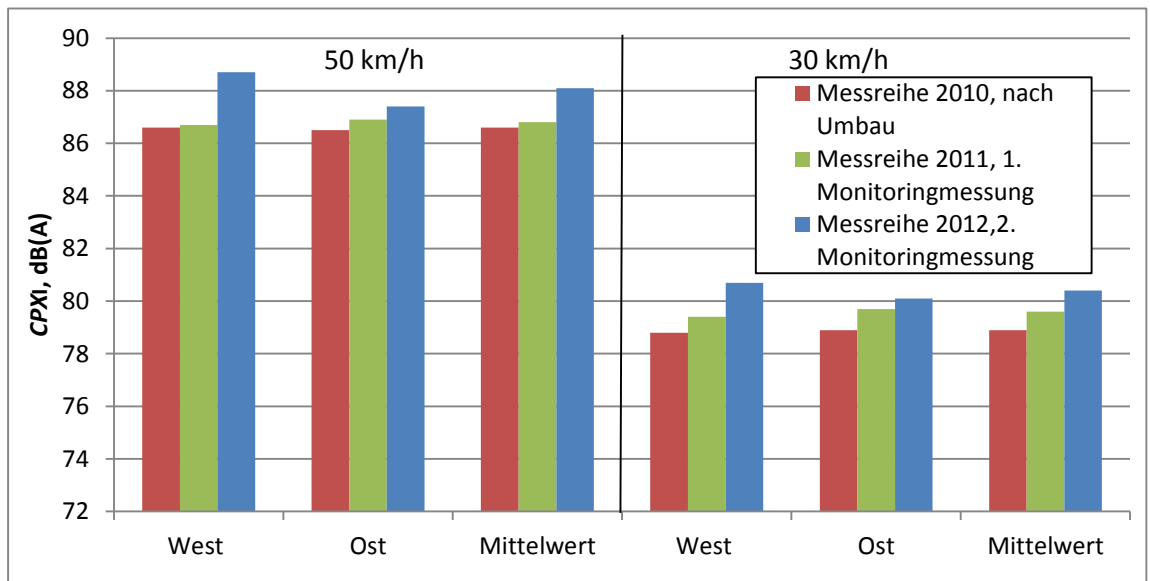


Abbildung 3. Vergleich der Messreihen (zeitliche Entwicklung) für den Index *CPXI* (Fahrzeugmix).

Auch in den Abbildungen 1 bis 3 ist die Zunahme der Schalldruckpegel ersichtlich. Im Vergleich zum vergangenen Jahr ergeben sich über die Fahrstreifen und CPX-Indizes gemittelt ca. 1 dB höhere Schalldruckpegel und 1 dB bis 2 dB höhere Schalldruckpegel als bei der Erstmessung aus 2010.

### 4.3 Örtlicher Verlauf des Schalldruckpegels

Die örtlichen Schalldruckpegelverläufe des Untersuchungsabschnitts auf der Haselbrunnstraße sind in den Messprotokollen in Anhang A und in Abbildung 4 dargestellt.



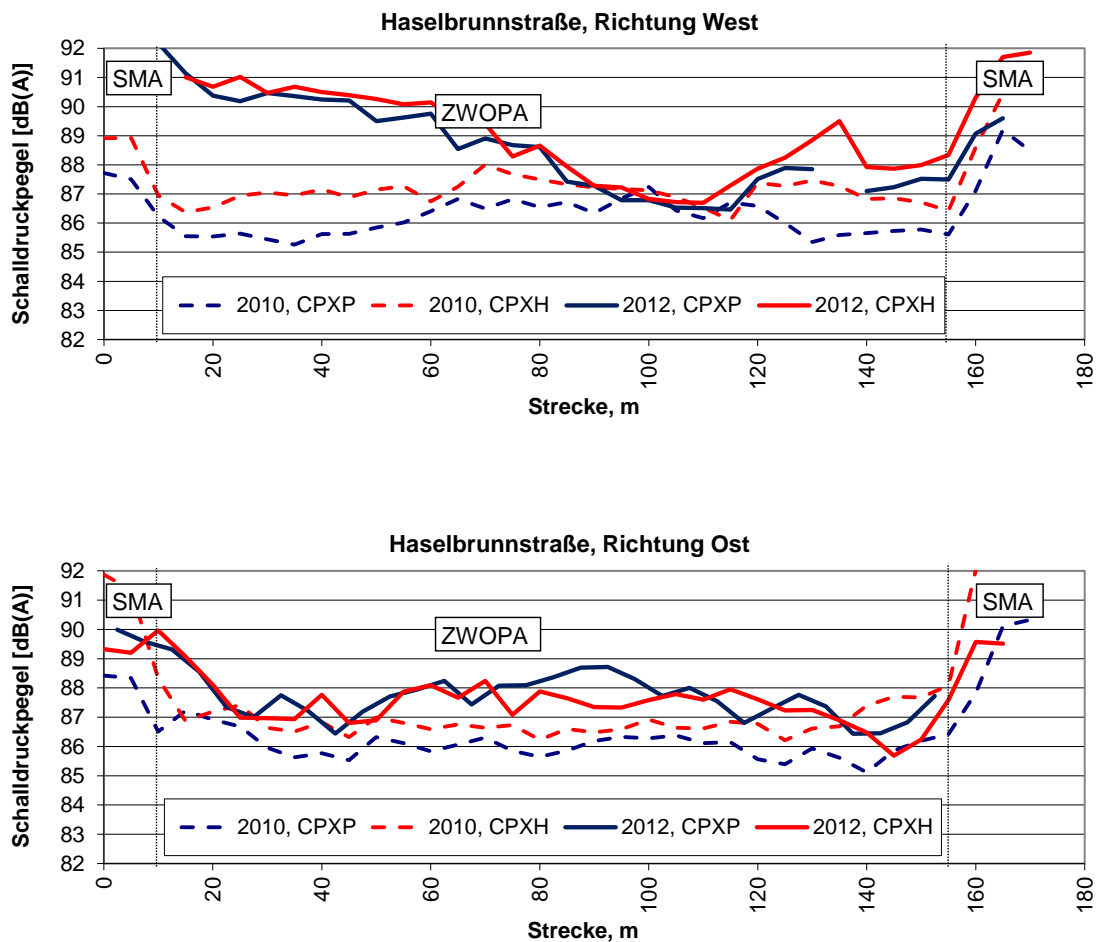


Abbildung 4. Schalldruckpegelverläufe im Verlauf des Messabschnitts Haselbrunnstraße,  $v = 50 \text{ km/h}$ ; ZWOPA = zweischichtiger offenporiger Asphalt, SMA = Splittmastixasphalt.

Den Abbildungen kann entnommen werden, dass die Schalldruckpegel im Vergleich zur Messreihe in 2010 annähernd über die komplette Streckenlänge zugenommen haben. Aus dem Kurvenverlauf der CPX-Indizes für 2012 in der oberen Abbildung (Fahrtrichtung Westen) können Rückschlüsse über die im Vergleich zu früheren Messreihen deutlich angestiegenen Standardabweichungen (vgl. Kapitel 4.2) gezo- gen werden. Der Schalldruckpegel nimmt mit zunehmender Streckenlänge auf den ersten 100 m kontinuierlich ab. Dieser Effekt kann vermutlich auf Verschmutzungen zurückgeführt werden, die von den angrenzenden Fahrbahnbelägen in die offenporige Deckschicht eingetragen werden. Ca. 20 m vor dem Ende des Streckenabschnitts mit offenporigem Asphalt ist in Fahrtrichtung West erneut ein Anstieg des Schalldruckpegels zu verzeichnen. In diesem Bereich liegt die Betriebsausfahrt eines anliegenden Gewebebetriebs, dessen Parkflächen unbefestigt bzw. nicht asphaltiert sind. Auch in diesem Bereich können die erhöhten Schalldruckpegel vermutlich auf Verschmutzungen des offenporigen Korngerüsts zurückgeführt werden, die aus den Parkflächen in die offenporige Deckschicht eingetragen werden.

#### 4.4 Frequenzzusammensetzung (Spektren)

Im Anhang sind die Terzspektren getrennt für die Messreifen Typ A und D bezogen auf die jeweilige Nominalgeschwindigkeit (30 bzw. 50 km/h) dargestellt.

Sie können ggf. zusätzliche Hinweise auf die Wirkmechanismen bei der Entstehung von Reifen-Fahrbahngeräuschen von unterschiedlichen Fahrbahnbelägen in Kombination mit den verschiedenen Reifentypen liefern.

In Abbildung 5 und 6 sind die Frequenzspektren des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs des ZWOPA im Neuzustand, nach einer Liegedauer von ca. einem Jahr und nach ca. zwei Jahren Liegedauer exemplarisch für 50 km/h gegenübergestellt.

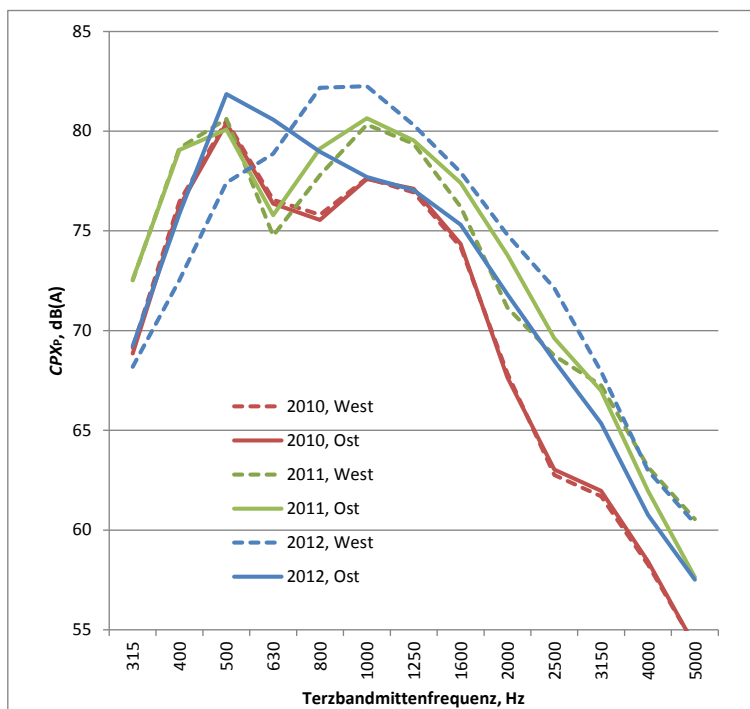


Abbildung 5. Frequenzspektrum des  $CPX_p$ -Index, Vergleich der bisherigen Messreihen, 50 km/h.

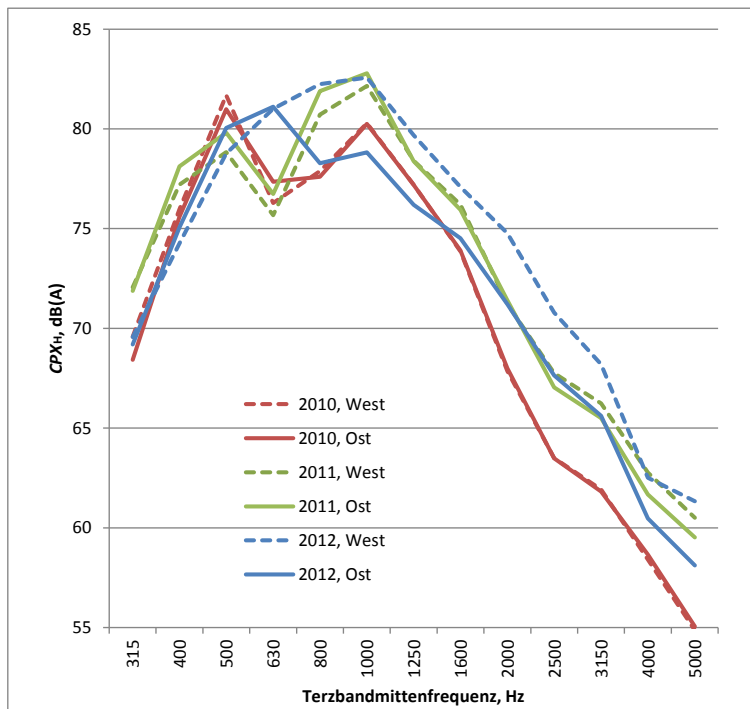


Abbildung 6. Frequenzspektrum des  $CPX_H$ -Index, Vergleich der bisherigen Messreihen, 50 km/h.

Den Abbildungen kann entnommen werden, dass die Schalldruckpegel einbrüche (z. B. bei ca. 630 Hz), die sich aus den absorbierenden Eigenschaften des offenporigen Asphalts ergeben haben, im Verlaufe der Liegedauer kontinuierlich abgenommen haben. Dies deutet darauf hin, dass sich die Hohlraumstruktur des offenporigen Asphalts nach und nach durch Verschmutzungen zusetzt.

## 4.5 Bewertung und Analyse der Messergebnisse

### 4.5.1 CPX-Nahfeldpegel – Zeitliche Entwicklung und akustisches Verhalten

Folgendes ist im Vergleich der beiden bisher durchgeführten Messreihen anzumerken:

- Im Verlaufe der Liegedauer (von zwei Jahren) sind die Schalldruckpegel um ca. 1 dB bis 2 dB angestiegen.
- Für den Reifentyp D ( $CPX_H$ ) ergeben sich im Vergleich zum Neuzustand nach zwei Jahren Liegedauer bei 50 km/h um ca. 1 dB höhere Nahfeldpegel im Mittel über beide Fahrtrichtungen. Dabei fällt auf, dass die Schalldruckpegel in Fahrtrichtung West um fast 2 dB zugenommen haben, während die Schalldruckpegel in Fahrtrichtung Ost kaum angestiegen sind. In den Frequenzspektren (für 50 km/h und in abgeschwächter Form auch für 30 km/h) ist zu erkennen, dass die Schalldruckpegel einbrüche aufgrund der absorbierenden Eigenschaften des offenporigen Asphalts deutlich geringer geworden sind. Dies lässt darauf schließen, dass die bereits in 2011 beobachtete und beschriebene anfängliche Verschmutzung zugenommen hat und nun ein Teil der Hohlräume in der offenporigen Struktur nicht mehr von außen zugänglich ist.

- Für den Reifentyp A ( $CPX_p$ ) zeigen sich Pegelerhöhungen im Laufe der bisherigen Liegedauer von im Mittel ca. 2 dB bei 50 km/h. Auch hier können die absorbierenden Eigenschaften des offenporigen Asphalts im Frequenzspektrum nicht mehr deutlich erkannt werden.
- Für die Fahrtrichtung Westen ergibt sich eine im Vergleich zu den Untersuchungen aus 2010 und 2011 deutlich gestiegene Standardabweichung der Messergebnisse. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die akustische Wirkung der Strecke inhomogen geworden ist.

#### 4.5.2 CPX-Nahfeldpegel – Vergleich mit SPB-Werten und Einschätzung $D_{StrO}$ -Wert

Folgendes ist bei der Interpretation der Messergebnisse hinsichtlich des eingesetzten Messverfahrens und dem Vergleich mit SPB-Messwerten anzumerken:

- Die CPX-Messergebnisse können mit Vergleichswerten bzw. Erfahrungswerten von herkömmlichen, dichten, teilweise gealterten Deckschichten verglichen werden. Die daraus abgeleiteten Pegeldifferenzen stellen keine  $D_{StrO}$ -Werte im eigentlichen Sinne dar. Diese können normgemäß nur aus SPB-Messungen ermittelt werden. Auch die Referenz, auf die sich Pegelminderungen beziehen, ist bei den SPB-Messungen (nicht geriffelter Gussasphalt nach RLS-90) nicht identisch mit den CPX-Messungen (hier: herkömmliche Splittmastixasphalte und Asphaltbetone).
- Der  $D_{StrO}$ -Wert liegt betragsmäßig bei absorbierenden Deckschichten (wie in diesem Fall bei offenporigem Asphalt) wegen der zusätzlichen Minderung auf dem Schallausbreitungsweg in der Regel höher als die im Folgenden angegebenen CPX-Pegeldifferenzen, da die CPX-Pegel in unmittelbarer Nähe der Reifenaufstandsfläche gemessen werden und die Pegelminderung bei Schallausbreitung über die schallabsorbierende Oberfläche demzufolge entfällt.
- Durch die CPX-Messergebnisse können die (punktuellen) Messergebnisse der SPB-Messung (zur Bestimmung des  $D_{StrO}$ -Wertes), die für 2012 noch nicht vorliegen, auf den kompletten Streckenverlauf übertragen werden. Dies ist insbesondere deshalb sinnvoll, da eine normgemäße SPB-Messung, die eine weitgehend reflexionsfreie Umgebung fordert, aufgrund der umliegenden Bebauung nur unter erschwerten Bedingungen möglich ist.

Die CPX-Messergebnisse sind wie folgt zu bewerten:

- Im Nahfeld weisen herkömmliche dichte Deckschichten (z. B. Splittmastixasphalte oder Asphaltbetone mit 8 mm Größtkorn) bei 50 km/h sowohl für den Reifen Typ A als auch den Reifen Typ D mittlere Schalldruckpegel im Bereich von 91 dB(A) bis 92 dB(A) auf, während der hier eingebaute ZWOPA nach zwei Jahren Liegedauer mittlere Schalldruckpegel (ausgedrückt durch CPX-Index  $CPXI$ ) von im Mittel 88,1 dB(A) (Juni 2011: 86,8 dB(A)) aufweist. Dies ergibt somit im Nahfeld nach wie vor eine Minderung von ca. 4 dB.

- Anhand dieser Ergebnisse und aus Erfahrungswerten von anderen zweischichtigen offenporigen Asphalten ist davon auszugehen, dass der Wert  $D_{\text{StrO}} = -5 \text{ dB(A)}$  noch eingehalten bzw. unterschritten wird. Der tatsächliche Wert ist jedoch nur über die SPB-Messungen zu bestimmen.

#### 4.6 Weitere Vorgehensweise

Aus regelmäßigen Monitoring-Ergebnissen kann abgeschätzt werden, ob die Anforderungen des Planfeststellungsbeschlusses noch eingehalten werden und ggf. wie lange noch mit der Einhaltung der Anforderungen gerechnet werden kann. Daraus können weitere Maßnahmen abgeleitet werden, z. B. eine (zusätzliche) Reinigung des offenporigen Asphalts oder auch zusätzliche SPB-Messungen, um die Anforderungen des Planfeststellungsbeschlusses ( $D_{\text{StrO}} = -5 \text{ dB}$ ) überprüfen zu können.

Im Zuge von Monitoring-Messungen kann von Müller-BBM zusätzlich eine bautechnische Begehung und Beurteilung durchgeführt werden, um Schäden festzustellen und den aktuellen bautechnischen Zustand zu bewerten. Aus dem Zusammenspiel von akustischem und bautechnischem Langzeitverhalten ist auch die Ermittlung der Folgen möglicher (bautechnischer) Ursachen für das akustische Verhalten möglich.

Werden bei einem regelmäßigen Monitoring ungenügende akustische und/oder bautechnische Eigenschaften an der Deckschicht festgestellt, können durch Müller-BBM zusätzliche (akustische) Prüfungen durchgeführt werden. Durch Messungen des Schallabsorptionsgrads in-situ, des Strömungswiderstands (in Anlehnung an DIN EN 29053) und der Textur (Lasertexturmessung nach ISO 13472) auf dem eingebauten Belag können mögliche Ursachen ermittelt werden.

## 5 Zusammenfassung

Im Zuge des Umbaus der Haselbrunnstraße in Radolfzell mit einem zweischichtigen offenporigen Asphalt (ZWOPA) sind im Juli 2012 Nahfeldmessungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche mit dem CPX-Anhängermesssystem nach ISO/CD 3<sup>rd</sup> 11819/2 im Nachherzustand (umgebauter Zustand) durchgeführt worden.

Es handelt sich dabei um die 2. Monitoringmessung bzw. die 3. Messreihe nach Abschluss des Umbaus mit einem ZWOPA-Belag. Die Liegedauer des ZWOPA-Belags beträgt zum Zeitpunkt der Messungen ca. zwei Jahre.

Die Ergebnisse werden mit der 1. Messreihe nach Umbau, die im September 2010 stattfand (vgl. Müller-BBM-Bericht M79 466/12), und der ersten Monitoringmessung (vgl. Müller-BBM-Bericht M79 466/13) verglichen.

Die ZWOPA-Deckschicht ist im August 2010 komplett erneuert worden, nachdem die im Oktober 2009 eingebaute ZWOPA-Decke Schäden aufwies.

Die ermittelten CPX-Messergebnisse sollen dazu dienen, die erzielte Pegelminde- rung (des Reifen-Fahrbahngeräuschs) gegenüber einem herkömmlichen dichten Fahrbahnbelag zu bestimmen.

Die ermittelten Schalldruckpegel sind im Vergleich zum Neuzustand um ca. 1 dB (für den  $CPX_H$ -Index) bzw. 2 dB (für den  $CPX_p$ -Index) angestiegen. Der Anstieg des Schalldruckpegels kann – unter Berücksichtigung der Schalldruckpegelspektren – vermutlich auf Verschmutzungen im Hohlraumgerüst des offenporigen Asphalts zurückgeführt werden.

Die Standardabweichung – die ein Maß für die akustische Homogenität eines Fahr- bahnbelages darstellt – ist im Vergleich zu den Vorjahren in Fahrtrichtung West deut- lich angestiegen. Auch dies kann vermutlich auf Verschmutzungen am Strecken- beginn zurückgeführt werden.

Anhand dieser Ergebnisse und aus Erfahrungswerten von anderen zweischichtigen offenporigen Asphalten ist davon auszugehen, dass der Wert  $D_{StrO} = -5$  dB(A) noch eingehalten bzw. unterschritten wird. Der tatsächliche Wert ist jedoch nur über die SPB-Messungen zu bestimmen.

Für den technischen Inhalt verantwortlich:



Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel

Telefon +49 (0)89 85602 – 204



Durch die DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH  
nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.  
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Der vorliegende Bericht darf nur in seiner Gesamtheit, einschließlich aller Anlagen, vervielfältigt, gezeigt oder veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung von Auszügen bedarf der schriftlichen Genehmigung durch Müller-BBM.

**Anhang A**  
**Messprotokolle**

\\S-MUC-FS01\PR\PERSON\MNL\79\79466\M79466\_14\_Ber\_1D.DOC:27.08.2012

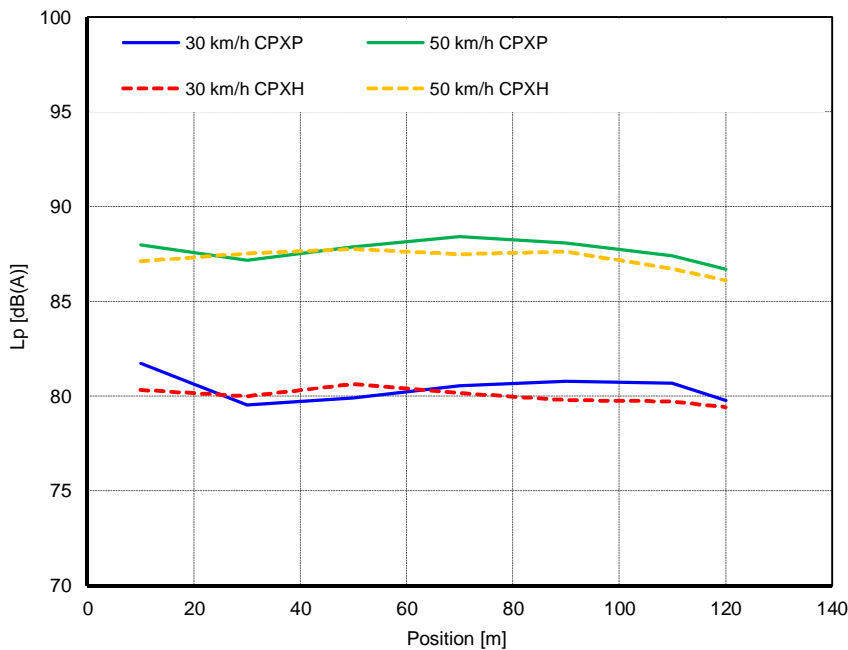


# Close Proximity - Messung nach ISO/CD 3<sup>rd</sup> 11819-2

(obligatorische Mikrofonpositionen)

<b>Ort</b>	Haselbrunnstraße	<b>Datum</b>	17. Juli 2012
<b>Fahrbahnbelag</b>	2OPA	<b>Temperatur Luft [°C]</b>	22 - 24
<b>Länge des Straßenabschnitts</b>	0,16 km	<b>Temperatur Fahrbahn [°C]</b>	39 - 48
<b>Richtung</b>	Ost, rechts		
<b>Auftraggeber / Bestell-Nr.</b>	Stadt Radolfzell		

## CPX-WERTE

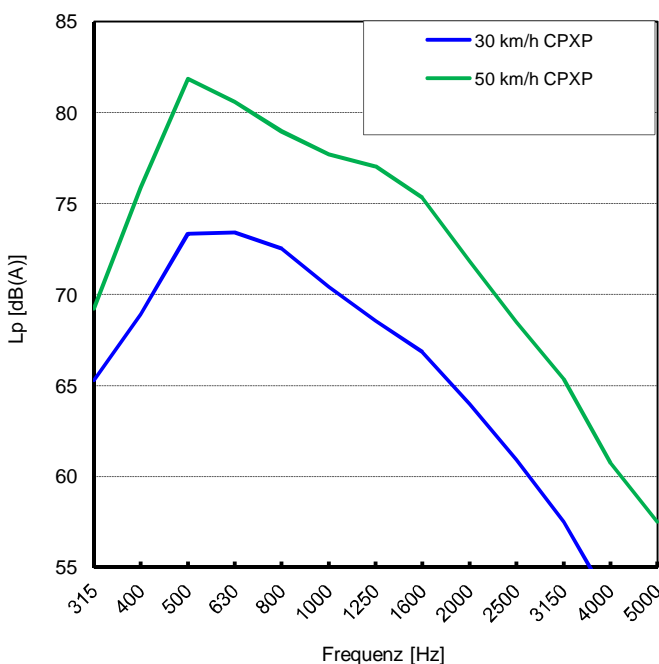


CPXP: Reifen: A, ANX0 EVUU 1609  
 Modell: Uniroyal Tiger Paw SRTT  
 CPXH: Reifen: D, ATJ8 PC 1210  
 Modell: Avon AV 4

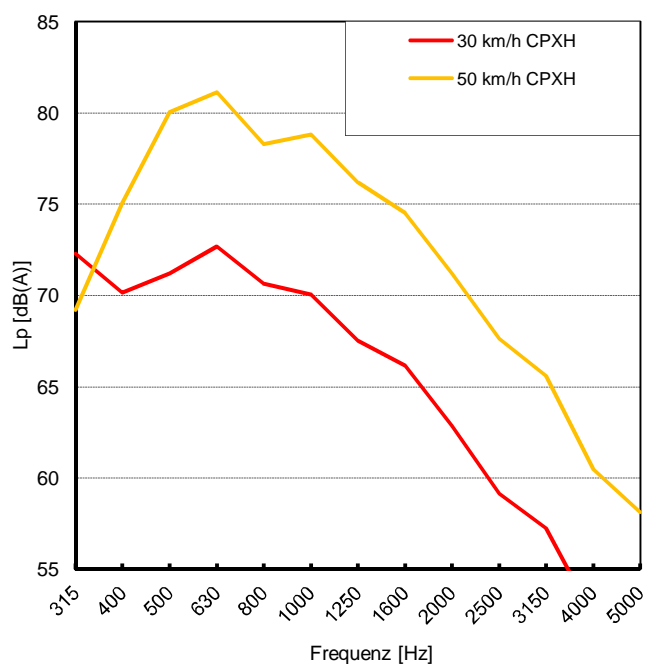
v [km/h]	30	50	
CPX <sub>P</sub> [dB(A)]	80,2	87,7	
stand. dev	0,9	0,6	
CPX <sub>H</sub> [dB(A)]	80,0	87,2	
stand. dev	0,4	0,6	
CPX <sub>I</sub> [dB(A)]	80,1	87,4	
stand. dev	0,6	0,6	

## FREQUENZ-ANALYSE

Terzspektrum für CPX<sub>P</sub>



Terzspektrum für CPX<sub>H</sub>

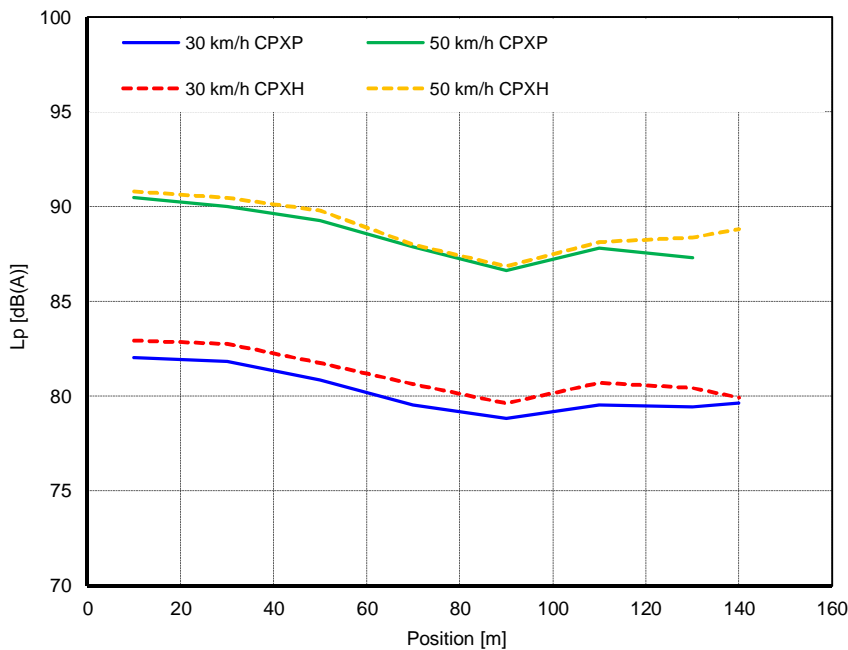


# Close Proximity - Messung nach ISO/CD 3<sup>rd</sup> 11819-2

(obligatorische Mikrofonpositionen)

<b>Ort</b>	Haselbrunnstraße	<b>Datum</b>	17. Juli 2012
<b>Fahrbahnbelag</b>	2OPA	<b>Temperatur Luft [°C]</b>	23 - 24
<b>Länge des Straßenabschnitts</b>	0,16 km	<b>Temperatur Fahrbahn [°C]</b>	39 - 48
<b>Richtung</b>	West, rechts		
<b>Auftraggeber / Bestell-Nr.</b>	Stadt Radolfzell		

## CPX-WERTE

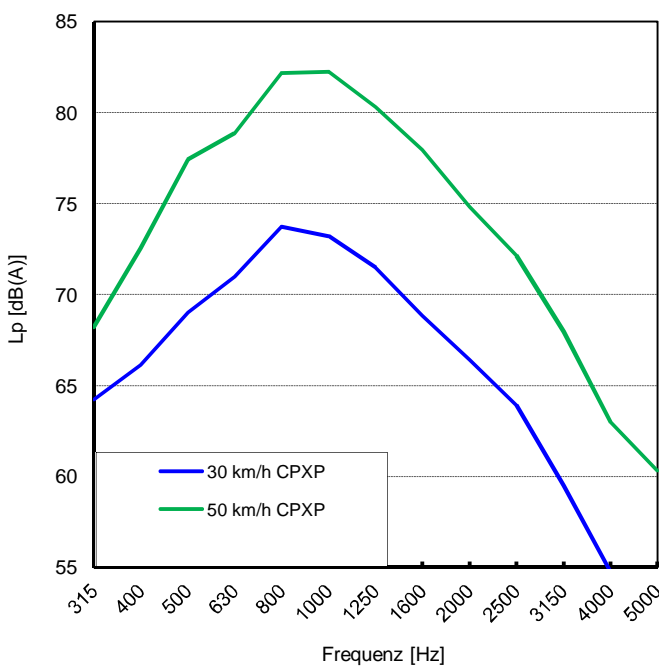


CPXP: Reifen: A, ANX0 EVUU 1609  
 Modell: Uniroyal Tiger Paw SRTT  
 CPXH: Reifen: D, ATJ8 PC 1210  
 Modell: Avon AV 4

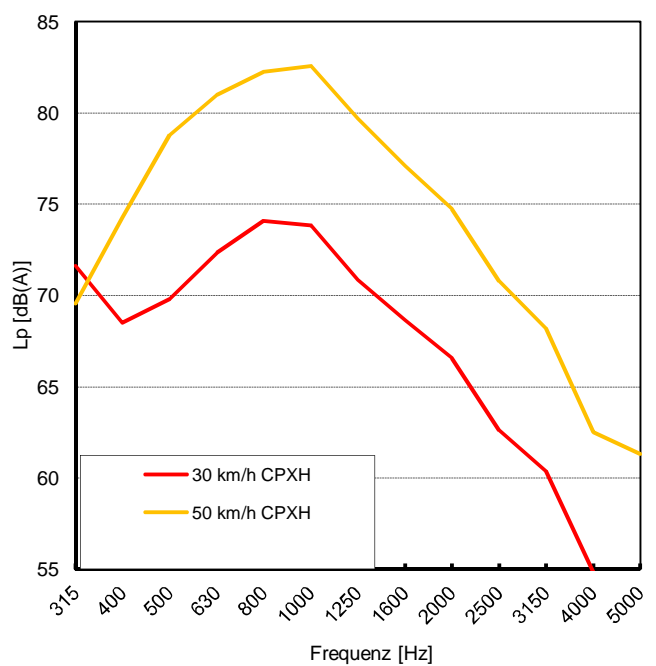
v [km/h]	30	50	
CPX <sub>P</sub> [dB(A)]	80,2	88,5	
stand. dev	1,2	1,4	
CPX <sub>H</sub> [dB(A)]	81,1	88,9	
stand. dev	1,2	1,3	
CPX <sub>I</sub> [dB(A)]	80,7	88,7	
stand. dev	1,2	1,4	

## FREQUENZ-ANALYSE

Terzspektrum für CPX<sub>P</sub>



Terzspektrum für CPX<sub>H</sub>



## **Anhang B**

### **Beschreibung des CPX-Messsystems**

## Zweck

Mit der Nahfeldmessmethode (**C**lose **P**roximity **M**ethod – CPX) nach ISO/CD 3<sup>rd</sup> 11819-2: "Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method" 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 auch zur Kennzeichnung der Homogenität der akustischen Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen geeignet.

## Beschreibung der Messgeräte

### Messanhänger

Für die Messung wird ein der Norm entsprechender, speziell konstruierter Messanhänger verwendet, der hinter einem Zugfahrzeug nachgezogen wird. Dieser 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. Die Räder laufen in akustisch getrennten Radkästen, so dass die beiden Rollspuren getrennt vermessen werden können.

Da die Messungen im fließenden Verkehr durchgeführt werden, erfüllt der Messanhänger besondere Anforderungen an die Schalldämmung gegenüber den Außen-geräuschen, die durch im Gegenverkehr vorbeifahrende sowie durch nachfolgende, vorausfahrende oder überholende Fahrzeuge hervorgerufen werden. Besondere Anforderungen werden auch an die Auskleidung der Innenflächen des Messanhängers gestellt, die dafür sorgt, dass in den Messkammern im maßgeblichen Frequenzbereich quasi Freifeldbedingungen herrschen, d. h. dass die von den Mikrofonen registrierten Reifen-Fahrbahn-Geräusche nicht durch Schallreflexionen an den Innenflächen gestört werden.

Die Müller-BBM Messanhänger erfüllen die Anforderungen nach Norm. Deren Aufbau ist in den Abbildungen 1 bis 4 dargestellt.

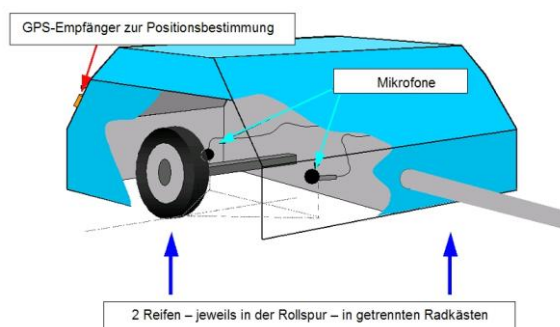


Abbildung 1. Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen mit der Nahfeldmessmethode.



Abbildung 2. Müller-BBM Messanhänger.



Abbildung 3. Reifen A mit Messmikrofon (Mikrofonposition vorne).

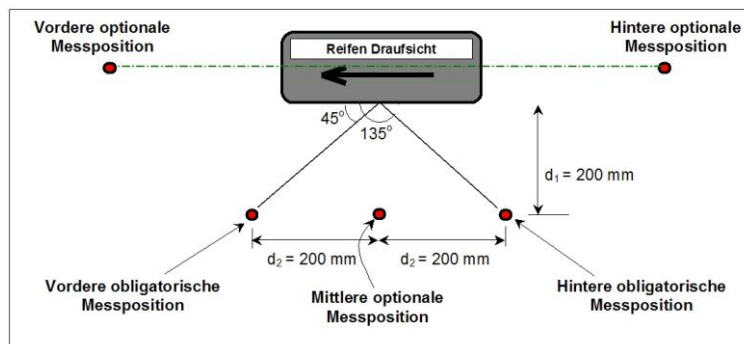


Abbildung 4. Anordnung der Messmikrone gemäß ISO/CD 3rd 11819/2 in der Draufsicht. Die Höhe der Messmikrone über der Fahrbahnoberkante beträgt 100 mm.

Von den in Abbildung 4 dargestellten Messpositionen werden die obligatorischen Messpositionen zur Messung verwendet.

## Messreifen

Für reproduzierbare Messungen mit Hilfe der Nahfeldmessmethode sind nach Norm die nachfolgend beschriebenen Reifen mit den angegebenen Abmessungen zu verwenden (vgl. Abbildung 5):

- Reifen A: Uniroyal Tiger Paw SRTT 225/60 R16
- Reifen D: AVON AV4 195/80 R14



Abbildung 5. Verwendete Messreifentypen gemäß ISO/CD 3rd 11819-2.

Der Reifenluftdruck wird vor jeder Messreihe überprüft und nach Anforderungen der Norm auf 2,0 bar eingestellt.

### Ermittlung der Messwerte

Es werden nacheinander Messungen mit den Messreifensätzen A und D durchgeführt. Dabei werden an jedem der beiden Messreifen, die jeweils in einer Rollspur eines Fahrstreifens rollen, die A-bewerteten Schalldruckpegel mit der Zeitkonstante "FAST" an den obligatorischen Messpositionen vor und hinter der Reifenaufstandsfläche alle 125 ms ermittelt.

Zusätzlich werden jede Sekunde die aktuellen Werte für Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur und die Fahrzeuggeschwindigkeit aufgezeichnet. Die Bestimmung der Lufttemperatur findet in 1,5 m über der Fahrbahnoberkante in freier Anströmung statt. Die Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur wird mit einem Infrarotthermometer berührungslos durchgeführt.

Zur ortsgenauen Positionierung werden die Messergebnisse zusammen mit den Signalen eines GPS-Empfängers gespeichert.

### Auswertemethode und Messergebnisse

#### Auswertemethode

Aus den gemessenen Schalldruckpegeln  $L_{p,A}$  und  $L_{p,D}$  werden durch energetische Mittelung 20 m-Intervalle für den Reifen A und D  $L_{A, 20m}$  und  $L_{D, 20m}$  für jede Messmikrofonposition gebildet.

$$L_{A,20m} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,A,i}/10\text{dB}} \right) \text{ dB}$$

$$L_{D,20m} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,D,i}/10\text{dB}} \right) \text{ dB}$$

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

Im Anschluss werden für jeden Messreifen der beiden Messreifensätze A und D die ermittelten Schalldruckpegel der einzelnen 20 m-Intervalle der beiden obligatorischen Messpositionen vor und hinter dem Reifen arithmetisch gemittelt.

Die so ermittelten Schalldruckpegel werden gemäß folgender Gleichung bezüglich der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten anhand der Größe  $c_v$  auf die Referenzgeschwindigkeiten korrigiert:

$$c_v = -b \cdot \lg \left( \frac{v}{v_{ref}} \right)$$

mit:

- $c_v$ : Geschwindigkeitskorrektur in dB
- $b$ : Geschwindigkeitskoeffizient in dB
- $v$ : tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit in km/h
- $v_{ref}$ : die Referenzgeschwindigkeit in km/h

Gemäß ISO Norm beträgt der Wert für den Geschwindigkeitskoeffizienten

$$b = 35.$$

Weiterhin wird auf die Ergebnisse eine Temperaturkorrektur  $C_{temp}$  gemäß folgender Gleichung angewendet:

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

mit:

- $C_{temp}$ : Temperaturkorrektur in dB
- $T$ : Lufttemperatur in °C während der Messungen.

Somit ergibt sich der temperatur- und geschwindigkeitskorrigierte Schalldruckpegel für die beiden Messreifen zu

$$L_{A,20m,korr} = L_{A,20m} + C_{temp} + c_v$$

$$L_{D,20m,korr} = L_{D,20m} + C_{temp} + c_v.$$

## Messergebnisse

Das Pegel-Orts-Diagramm der 20 m-Intervalle ist für jeden der beiden Messreifensätze in den Messprotokollen dargestellt.

Durch arithmetische Mittelung aller für den Streckenabschnitt relevanten 20 m-Intervalle ergeben sich die CPX-Indizes  $CPX_P$  (**P**assenger cars),  $CPX_H$  (**H**eavy cars) und der Close-Proximity Sound Index  $CPXI$ , der einen Fahrzeugmix repräsentiert.

$$CPX_P = \bar{L}_{A,20m,korr}$$

$$CPX_H = \bar{L}_{D,20m,korr}$$

$$CPXI = 0,5 \cdot CPX_P + 0,5 \cdot CPX_H$$

Zusätzlich wird das mittlere Schalldruckpegelspektrum der geschwindigkeits- und temperaturkorrigierten Messergebnisse in den Messprotokollen getrennt für die Reifen A und D dargestellt.

Nahfeldmessungen geben auch Auskunft über die Homogenität eines Fahrbelages. Inhomogenitäten, wie beispielsweise großflächige Beschädigungen oder Schwankungen im Schallabsorptionsvermögen in der Deckschicht, können anhand dieser Messungen festgestellt werden. Neben dem Verlauf des Schalldruckpegels in Abhängigkeit von der Position auf dem Straßenabschnitt, der einen ersten Eindruck von der akustischen Homogenität einer Fahrbelagoberfläche vermittelt, wird die Standardabweichung der ermittelten 20 m-Intervalle als Größe zur quantitativen Beschreibung der Homogenität angegeben. Bei starken Schwankungen der Belagsgüte im Untersuchungsabschnitt kann die Standardabweichung bis zu 2,0 dB betragen. Bei sehr guter Homogenität liegt die Standardabweichung unter 0,5 dB.

## Kalibrierung und Messgenauigkeit

### Kalibrierung

Zur Einhaltung der Nominalgeschwindigkeiten des Messfahrzeugs wird das Signal der elektronischen Fahrzeugsteuerung des Fahrzeuges ausgelesen. Über einen regelmäßig stattfindenden Vergleich mit Messungen mit einem Radargeschwindigkeitsmessgerät kann die tatsächliche Fahrzeuggeschwindigkeit ermittelt werden. Während der Messungen wird die Fahrzeuggeschwindigkeit elektronisch durch die fahrzeugeigene Geschwindigkeitsregelanlage eingestellt.

Die akustische Messgerätekette wird vor und nach den Messungen und gegebenenfalls in Messpausen mit einem Kalibrator überprüft. Falls sich relevante Abweichungen ergeben, so werden die bis dato durchgeführten Messungen verworfen und wiederholt.

### Messgenauigkeit

Die Fahrzeuggeschwindigkeit kann mit einer Unsicherheit von  $\pm 1$  km/h, die Luft- und Oberflächentemperatur mit einer Unsicherheit von  $\pm 0,5$  °C bestimmt werden. Die akustische Messunsicherheit, interpretiert als die Standardabweichung der Wiederholgenauigkeit der CPX-Indizes, liegt erfahrungsgemäß bei  $\pm 0,5$  dB.

## Qualitätsmanagement

Die verwendeten Messgeräte und Prüfmittel unterliegen dem bei Müller-BBM eingeführten Qualitätsmanagement und werden regelmäßig mit Prüfnormalen verglichen.

## Grundlagen

- [CPX1] 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
- [CPX2] ISO CD 3<sup>rd</sup> 11 819-2: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Entwurf, Arbeitsvorlage vom 20.04.2009



## **Anhang C**

### **Verwendete Prüfmittel**

\\S-MUC-FS01\PR\PERSON\MNL\79\79466\M79466\_14\_Ber\_1D.DOC:27.08.2012

In folgender Tabelle sind die für die Messung verwendeten Prüfmittel angegeben:

Beschreibung	MP	Position	Typ	Hersteller	Seriennummer
4 Mikrofone, 1/2"	1	links vorne	MK250	Microtech Gefell	6507
	2	links hinten			6487
	3	rechts hinten			6489
	4	rechts vorne			6331
Vorverstärker	1	links vorne	MV210	Microtech Gefell	673
	2	links hinten			672
	3	rechts hinten			671
	4	rechts vorne			669
Messreifen A			Tiger Paw SRTT	Uniroyal	ANX 0 EVUU 1609
Messreifen D			AV4	AVON	ATJ 8 PC 1210
Messanhänger			geschlossen	Müller-BBM	XL9CPX75004095367
Datenerfassungssystem			MKII	Müller-BBM VAS	MKIIb
Datenerfassungssoftware			PAK	Müller-BBM VAS	V5.7, Release 2
Kalibrator			4231	Brüel & Kjær	1821045
Lufttemperaturmessgerät			PT100 2-L	Electrotherm	-
Fahrbahntemperaturmessgerät			IN 3000	impac	12477
GPS-Sensor			regular	ublox	628200