

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

Telefon +49(89)85602 0
Telefax +49(89)85602 111

www.MuellerBBM.de

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

10. Dezember 2019
M151750/25 Version 1 MNL/SCHJ

Fahrbahnbeläge auf der Bundesautobahn A94 Abschnitt Pastetten – Heldenstein

Messungen nach Verkehrsfreigabe

Untersuchung der Waschbetonflächen

Nahfeld- (CPX-) Messungen der Reifen-Fahrbahn-Geräusche nach DIN EN ISO 11819-2

Bericht Nr. M151750/25

Auftraggeber:	Autobahndirektion Südbayern Seidlstraße 7 - 11 80335 München
Auftragsnummer:	4008919 D121
Bearbeitet von:	Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel Dipl.-Ing. (FH) Stefan Schubert Dipl.-Ing. Ronny Schreiter
Berichtsumfang:	Insgesamt 29 Seiten, davon 10 Seiten Textteil, 9 Seiten Anhang A, 8 Seiten Anhang B und 2 Seiten Anhang C.

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

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk,
Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	5
2 Beschreibung des Prüfobjekts	5
3 Durchführung der Messungen	5
3.1 Verwendetes Messsystem und Auswertung	5
3.2 Messgeschwindigkeit	5
3.3 Mikrofonposition	5
3.4 Zeitpunkt der Messungen	5
3.5 Witterung	6
3.6 Störgeräusche	6
3.7 Besonderheit	6
4 Messergebnisse und Analyse	6
4.1 Temperaturkorrektur	7
4.2 CPX-Indizes und Homogenität	7
4.3 Spektrale Betrachtung	8
5 Abschätzung von Vergleichswerten zum D_{Stro}-Wert	9
6 Grundlagen	10

Anhang A: Messprotokolle der CPX-Messungen

Anhang B: Beschreibung des CPX-Messverfahrens

Anhang C: Verwendete Prüfmittel

Zusammenfassung

Es wurden Messungen mit der Nahfeldmessmethode nach DIN EN ISO 11819-2 [1] auf der A94 im Bereich zwischen den Anschlussstellen Pastetten und Heldenstein in beiden Fahrtrichtungen auf neu eingebauten Abschnitten mit Waschbeton durchgeführt.

Die Messungen erfolgten Ende November 2019 und somit ca. zwei Monate nach Verkehrsfreigabe.

Insgesamt wurden zwei Abschnitte untersucht:

- von km 27,35 bis km 33,4,
- von km 55,39 bis km 60,12.

Beide Messabschnitte sind mit zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung ausgebaut. Es wurden alle Fahrstreifen in beiden Fahrtrichtungen gemessen.

Die Standardabweichungen s , die ein Maß für die Homogenität des Fahrbahnbelages darstellen, liegen durchgehend bei 0,3 dB bis 0,4 dB. Demnach weist der hier untersuchte Waschbeton eine sehr gute akustische Homogenität auf, wie sie von einem Fahrbahnbelag nach Fertigstellung vor Verkehrsfreigabe erwartet werden kann.

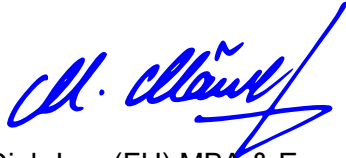
Die *CPXP*-Indizes anderer Waschbeton-Strecken (unter Verkehr) liegen erfahrungsgemäß zwischen 98 dB(A) und 101 dB(A); der hier an der A94 ermittelte *CPXP*-Index von 97,5 dB(A) bis 98 dB(A) liegt somit am unteren Ende des Erwartungswerts.

Die *CPXH*-Indizes anderer Waschbeton-Strecken (unter Verkehr) liegen typischerweise zwischen ca. 98 dB(A) und 102 dB(A). Demnach liegen auch die hier gemessenen *CPXH*-Indizes von 97,1 dB(A) etwas unter dem Erwartungswert.

Um den Einfluss der Verkehrsbelastung bewerten zu können, sollten weitere Messungen in den kommenden Jahren durchgeführt werden. Auf diese Weise kann gezeigt werden, ob sich dieses Ergebnis auch unter Verkehr stabilisiert.

Vergleichswerte zum D_{StrO} -Wert können nur aus SPB-Messungen gewonnen werden. Über ein statistisches Modell können allerdings aus den durchgeführten CPX-Messungen Vergleichswerte zum D_{StrO} -Wert abgeschätzt werden. Aus dieser Abschätzung ergibt sich ein Vergleichswert zum D_{StrO} -Wert von (-2 dB(A) bis -3 dB(A)) \pm 1 dB für den Waschbeton. Diese Werte erfüllen somit zum Zeitpunkt der Messungen den festgeschriebenen D_{StrO} -Wert für Waschbeton.

Für den technischen Inhalt verantwortlich



Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel
Telefon 089/85602-204

Projektverantwortlicher

Die dargestellten Messergebnisse gelten ausschließlich für die untersuchten Prüfkörper (hier Fahrbahnbeläge) zum Zeitpunkt der Messungen.

Dieser 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. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf die untersuchten Gegenstände.



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

1 Situation und Aufgabenstellung

Es wurden auf den Waschbeton-Abschnitten im Neubauabschnitt der Bundesautobahn A94 zwischen Pastetten und Heldenstein akustische Messungen mit der Nahfeldmessmethode nach DIN EN ISO 11819-2 [1] durchgeführt.

Die Messungen erfolgten Ende November 2019 und somit ca. zwei Monate nach Verkehrsfreigabe.

Die Messungen wurden bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h mit den beiden normgemäßen Messreifensätzen P1 und H1 durchgeführt.

2 Beschreibung der Prüfobjekte

Die Messabschnitte liegen auf der Bundesautobahn A94 zwischen den Anschlussstellen Pastetten und Heldenstein. Insgesamt wurden zwei Abschnitte untersucht:

- von km 27,35 bis km 33,4,
- von km 55,39 bis km 60,12.

Beide Messabschnitte sind mit zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung ausgebaut. Es wurden alle Fahrstreifen in beiden Fahrtrichtungen gemessen.

Bei der Deckschicht handelt es sich um Waschbeton.

Innerhalb der Messabschnitte befinden sich mehrere Brückenbauwerke, die mit anderen Deckschichten (Asphalt) überbaut sind. Die Brückenabschnitte wurden nicht mit ausgewertet.

3 Durchführung der Messungen

3.1 Verwendetes Messsystem und Auswertung

Das verwendete Messsystem und das Verfahren zur Auswertung sind ausführlich im Anhang B zu diesem Bericht beschrieben. Die verwendeten Prüfmittel sind in Anhang C tabellarisch aufgeführt.

3.2 Messgeschwindigkeit

Die Messungen wurden bei einer Nominalgeschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt.

3.3 Mikrofonposition

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

3.4 Zeitpunkt der Messungen

Die Messungen wurden am Dienstag, den 26.11.2019 zwischen 10:00 Uhr und 16:00 Uhr durchgeführt.

3.5 Witterung

Zum Zeitpunkt der Messungen war es bedeckt und niederschlagsfrei. Es herrschten Lufttemperaturen von 7 °C bis 10 °C. Die Fahrbahntemperaturen betragen 6 °C bis 11 °C. Bei der ersten Messung am Vormittag in Fahrtrichtung Ost waren noch vereinzelt feuchte Stellen auf dem rechten Fahrstreifen festzustellen, da es in der Nacht vor der Messung noch zu Niederschlägen gekommen war. Um sicherzugehen, dass sich hieraus kein Einfluss auf das Messergebnis ergibt, wurde die Messung am Ende der Messreihe noch einmal wiederholt. Im Weiteren werden nur die Ergebnisse der Messung auf vollständig abgetrockneter Oberfläche dargestellt und interpretiert.

Die Witterungsbedingungen entsprachen den Normanforderungen.

3.6 Störgeräusche

Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch besonders laute vorbeifahrende Lkw, verkehrende Flugzeuge etc., traten während der Messung nicht auf.

3.7 Besonderheit

Die Messungen auf den linken Fahrstreifen wurden durch ein privates Sicherungsunternehmen mit einem nachfolgenden Sicherungsfahrzeug abgesichert.

4 Messergebnisse und Analyse

Im Anhang A sind die Messprotokolle mit den örtlichen Verläufen des Schalldruckpegels (Einzelwerte aus 20-m-Abschnitten) L_p , den ermittelten CPX-Indizes¹ $CPXP$, $CPXH$ und $CPXI$ (Close-Proximity Sound Index) sowie den Mittelwerten der Frequenzspektren für $CPXP$ und $CPXH$ dargestellt. Alle in diesem Bericht und im Anhang A angegebenen Ergebnisse sind gemäß Anhang B temperaturkorrigiert und auf die Nominalgeschwindigkeit von 80 km/h bezogen. Alle Pegel und CPX-Indizes sind in dB(A) angegeben.

Im Folgenden werden diese Ergebnisse zusammenfassend erläutert.

¹ In [1] werden die entsprechenden CPX-Pegel jetzt mit $L_{CPX:P,80km/h}$ (bisher: $CPXP$ -Index), $L_{CPX:H,80km/h}$ (bisher: $CPXH$ -Index) und $L_{CPX:I,80km/h}$ (bisher: $CPXI$) bezeichnet. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden hier die bisherigen Bezeichnungen beibehalten.

4.1 Temperaturkorrektur

In Tabelle 1 sind die während des Messzeitraumes 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 Temperaturkorrekturwert².

Messreifen	Lufttemperatur in °C	Fahrbahntemperatur in °C	Temperaturkorrektur C _{Temp} in dB
Reifen P1	7 bis 10	7 bis 11	-0,7 bis -0,9
Reifen H1	7 bis 10	7 bis 10	-0,7 bis -0,9

4.2 CPX-Indizes und Homogenität

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

Der Reifentyp P1 zeigt die akustischen Charakteristika eines typischen Pkw-Reifens. Die Reifen-Fahrbahn-Geräusche, die unter Verwendung des Reifens P1 ermittelt und zur Bildung des *CPXP*-Index herangezogen werden, sind besonders von der Oberflächentextur des Fahrbahnbelags und von deren Veränderung abhängig. Der Reifentyp H1 weist die akustischen Charakteristika eines typischen Lkw-Reifens auf. Die Reifen-Fahrbahn-Geräusche, die unter Verwendung des Reifens H1 ermittelt und zur Bildung des *CPXH*-Index herangezogen werden, reagieren besonders auf schallabsorbierende Eigenschaften einer Fahrbahndeckschicht.

² Zur Temperaturkorrektur wurde hier entsprechend dem eingebauten Fahrbahnbelag und der Nominalgeschwindigkeit ein Faktor von 0,07 dB/°C gemäß DIN ISO/TS 13471-1: Entwurf 2019-12 verwendet.

Tabelle 2. CPX-Indizes in dB(A) und Standardabweichungen s in dB des Abschnitts A94 (temperaturkorrigiert), 2019, nach Verkehrsfreigabe.

CPX-Index in dB(A) und Standardabweichung s 80 km/h						
	Fahrtrichtung Ost			Fahrtrichtung West		
	CPXP SP	CPXH SH	CPXI SCPXI	CPXP SP	CPXH SH	CPXI SCPXI
Abschnitt von km 27,4 bis 33,4						
Rechter Fahrstreifen	97,7	97,8	97,8	97,8	97,9	97,8
	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
Linker Fahrstreifen	97,4	97,4	97,4	97,4	97,4	97,4
	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
Abschnitt von km 55,4 bis 60,1						
Rechter Fahrstreifen	98,1	98,1	98,1	98,3	98,1	98,2
	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3
Linker Fahrstreifen	97,8	97,8	97,8	97,8	97,7	97,8
	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3

Die Standardabweichungen s , die ein Maß für die akustische Homogenität des Fahrbahnbelages darstellen, liegen durchgehend bei 0,3 dB bis 0,4 dB. Eine sehr gute akustische Homogenität ergibt sich bei Standardabweichungen unter 0,5 dB, eine noch gute Homogenität ist bei Standardabweichungen von unter 1,0 dB anzunehmen. Demnach sind die untersuchten Streckenabschnitte für sich genommen jeweils sehr homogen.

Der östliche Abschnitt bei km 55,4 bis km 60,1 führt tendenziell zu etwas höheren Rollgeräuschpegeln. Ebenso weisen je Abschnitt die rechten Fahrstreifen im Vergleich zu den linken Fahrstreifen geringfügig höhere Rollgeräuschpegel auf. Dieser Effekt kann im Allgemeinen auf den Schwerverkehr zurückgeführt werden, der hauptsächlich auf dem rechten Fahrstreifen verkehrt und dessen Textur negativ beeinflusst.

Da die Rollgeräuschpegel auf den einzelnen Abschnitten sehr homogen sind (innerhalb eines Fahrstreifens und von Fahrstreifen zu Fahrstreifen bzw. für die beiden Fahrtrichtungen), werden im Weiteren die Mittelwerte der CPX-Indizes betrachtet. Für den Abschnitt von km 27,4 bis 33,4 ergibt sich ein mittlerer CPXP-Index von 97,6 dB(A), für den Abschnitt von km 55,4 bis 60,1 ergibt sich ein mittlerer CPXP-Index von 98,0 dB(A).

4.3 Spektrale Betrachtung

In den Messprotokollen im Anhang A sind die Spektren der gemessenen Reifen-Fahrbahn-Geräusche dargestellt. Es zeigen sich durchwegs breitbandige Spektren mit einem Maximum bei 1 kHz für den CPXP-Index bzw. 800 Hz für den CPXH-Index. Die Spektren weisen keine Besonderheiten im Vergleich zu anderen untersuchten Waschbetonoberflächen auf.

5 Abschätzung von Vergleichswerten zum D_{Stro} -Wert

Eine abschätzende Umrechnung von CPX-Messwerten in Vergleichswerte zu D_{Stro} -Werten kann nur stattfinden, indem die CPX-Messwerte zuerst in SPB-Messwerte umgerechnet werden. Diese können dann mit dem aktuellen Referenzwert der BASt ($L_{\text{ref, Statuspapier}} = 85,2 \text{ dB(A)}$ [2]) verglichen werden. Die Umrechnung der CPX-Messwerte in SPB-Messwerte wird mit Hilfe eines statistischen Modells durchgeführt.

Für die Abschätzung eines Vergleichswerts zum D_{Stro} -Wert aus einem CPX-Messergebnis über das statistische Modell ergibt sich ein Fehler von ca. $\pm 1 \text{ dB}$. Dieser Fehler gibt die Differenz zwischen einem tatsächlich gemessenen SPB-Wert und der Abschätzung über das statistische Umrechnungsmodell an (statistischer Umrechnungsfehler).

Beim Vergleich des abgeschätzten Vergleichswerts zum D_{Stro} -Wert aus dem CPXP-Index eines gesamten Streckenabschnitts mit dem Vergleichswert zum D_{Stro} -Wert aus einer punktuellen SPB-Messung können die Abweichungen allerdings größer sein. Dies ist der Fall, da die akustischen Eigenschaften von Fahrbahnbelägen über die Streckenlänge schwanken können (systematischer Umrechnungsfehler). Grundsätzlich wird versucht, die SPB-Messungen an repräsentativen Streckenabschnitten durchzuführen. Da SPB-Messungen jedoch nur an Messquerschnitten ohne Reflexionsflächen, Steigungen oder Kurven durchgeführt werden können, kann diese Bedingung nicht immer erfüllt werden.

Für den hier untersuchten Fahrbahnbelag kann folgender, in Tabelle 3 angegebener D_{Stro} -Wert abgeschätzt werden.

Tabelle 3. Abgeschätzte D_{Stro} -Werte für die untersuchte Messstrecke.

Untersuchungsabschnitt	CPXP-Index, dB(A) mit Standard- abweichung s	Aus CPX-Ergebnissen abgeschätzter Vergleichswert zum D_{Stro} -Wert
	CPXP SP	D_{Stro}^* , dB(A)
A94, Waschbeton		
Abschnitt von km 27,4 bis 33,4	97,6	(-2 bis -3) \pm 1
Mittelwert beider Fahrstreifen und Fahrrichtungen	0,4	
A94, Waschbeton		
Abschnitt von km 55,4 bis 60,1	98,0	(-2 bis -3) \pm 1
Mittelwert beider Fahrstreifen und Fahrrichtungen	0,4	

Die Abschätzung der Vergleichswerte zum D_{Stro} -Wert führt somit zu einem Ergebnis, das den im Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau 5/2006 [3] festgelegten D_{Stro} -Wert von -2 dB(A) bestätigt.

6 Grundlagen

- [1] DIN EN ISO 11819-2: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgерäusche – Teil 2: Nahfeldmessverfahren (ISO 11819-2:2017); Deutsche Fassung EN ISO 11819-2:2017.
- [2] DIN ISO/TS 13471-1:2019-12; DIN SPEC 38454:2019-12 – Entwurf: „Akustik - Temperatureinfluss auf die Messung des Reifen/Fahrbahn-Geräusches – Teil 1: Temperaturkorrektur bei der Prüfung mit dem CPX-Verfahren“.
- [3] Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 5/2006 vom 31.03.2009 (S 13/7144.4/01, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung) zu Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen – RLS-90 mit Anlage Statuspapier „Deckschichten aus Waschbeton“ vom 3. November 2003.

Anhang A

Messprotokolle der CPX-Messungen

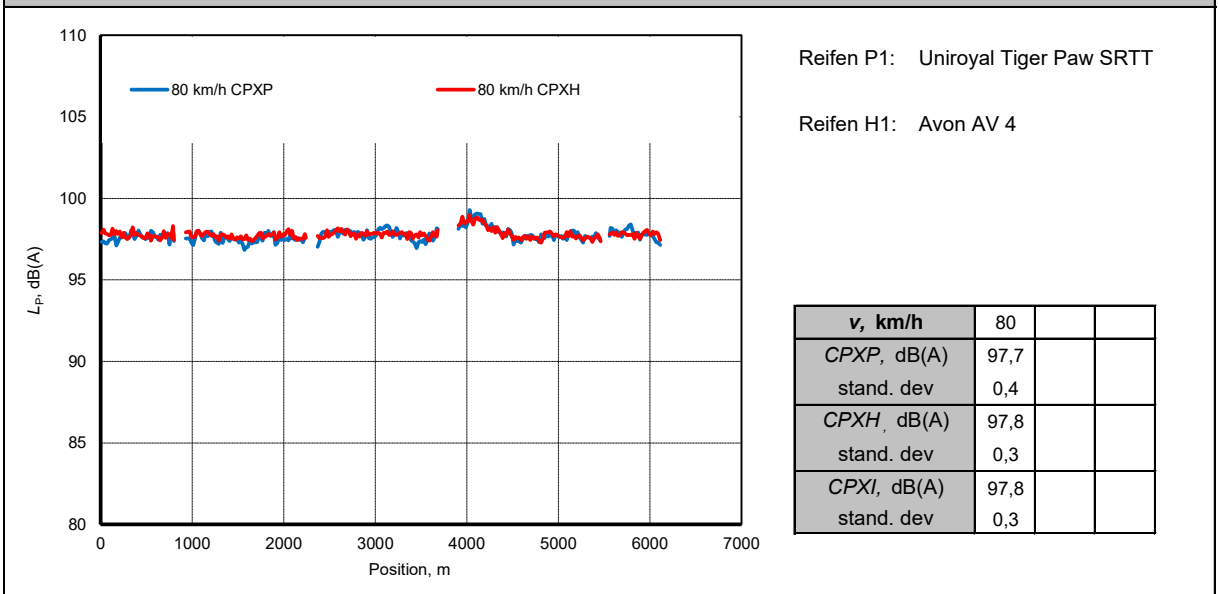
\\S-muc-fs01\allefirmen\MIProj\151\MI151750\MI151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

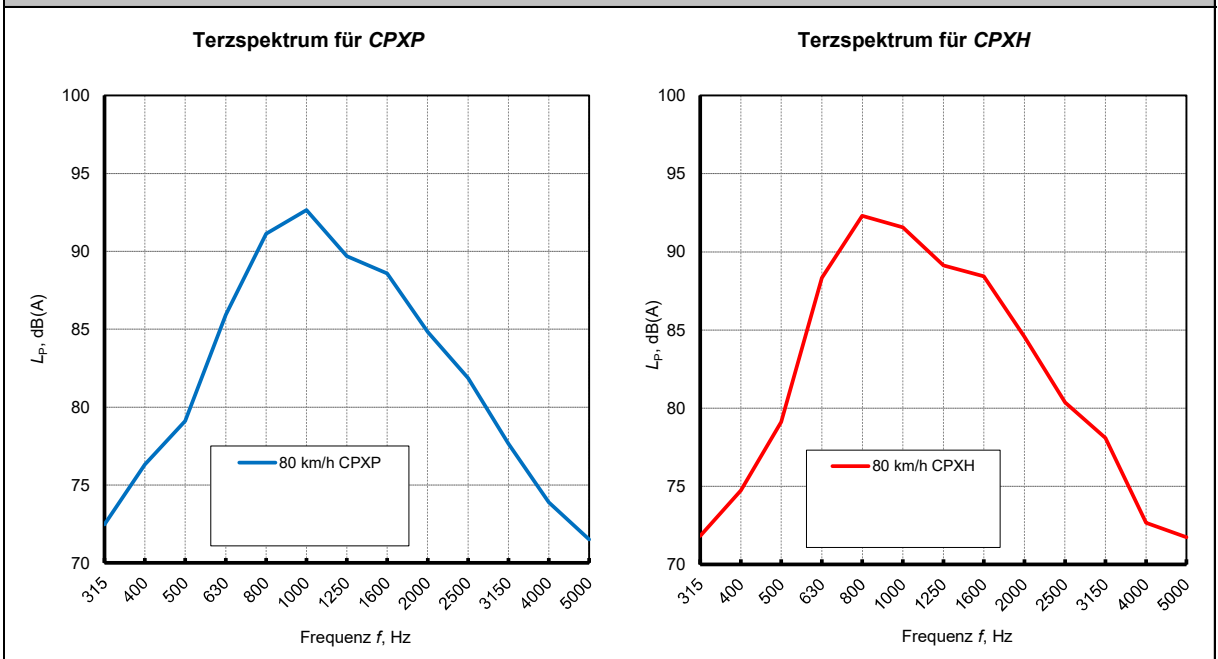
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	9 - 10
Länge des Straßenabschnitts	6,12 km	Temperatur Fahrbahn, °C	6 - 11
Richtung	Ost, km 27,4 - 33,4 rechts		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE

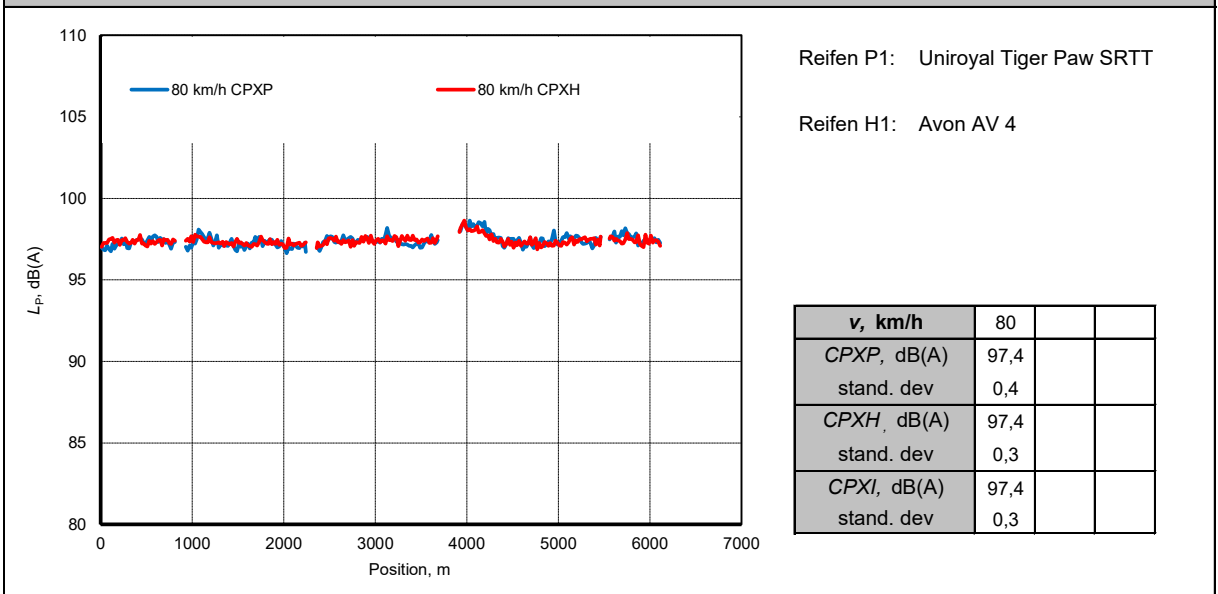


Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

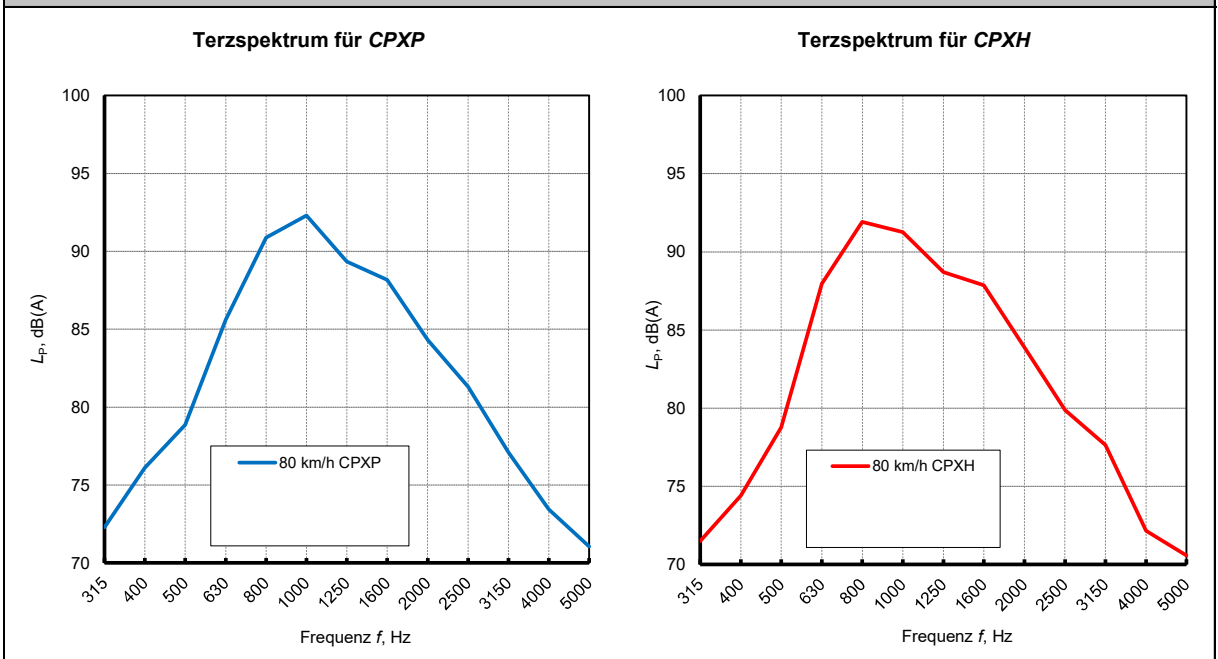
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	8 - 10
Länge des Straßenabschnitts	6,14 km	Temperatur Fahrbahn, °C	7 - 11
Richtung	Ost, km 27,4 - 33,4 links		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



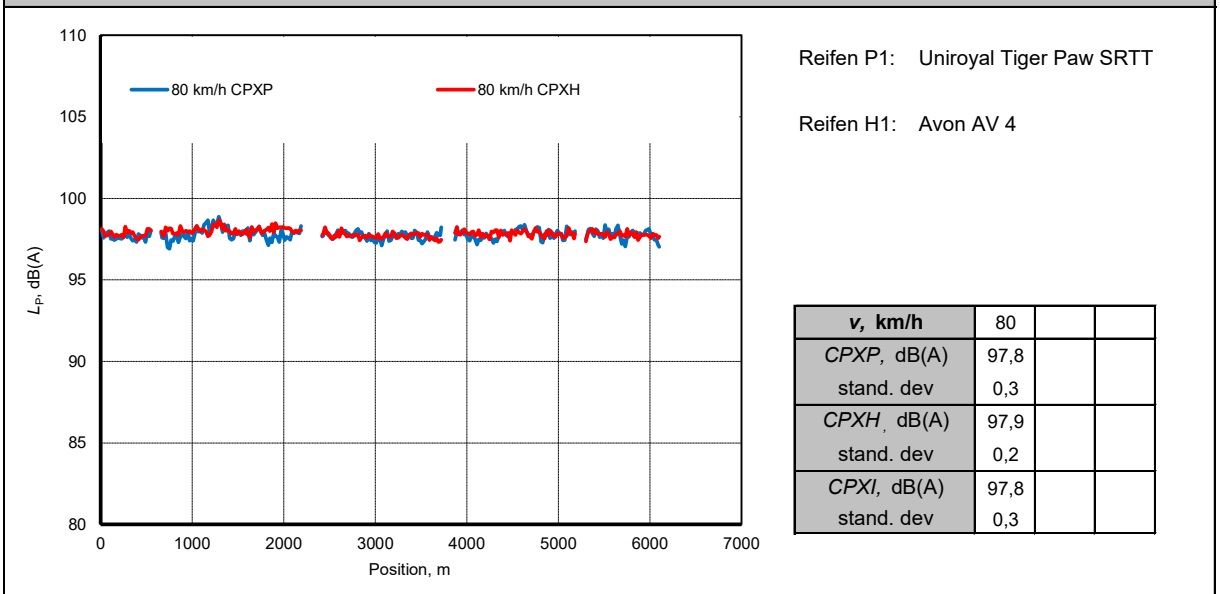
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\151M\151750M\151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

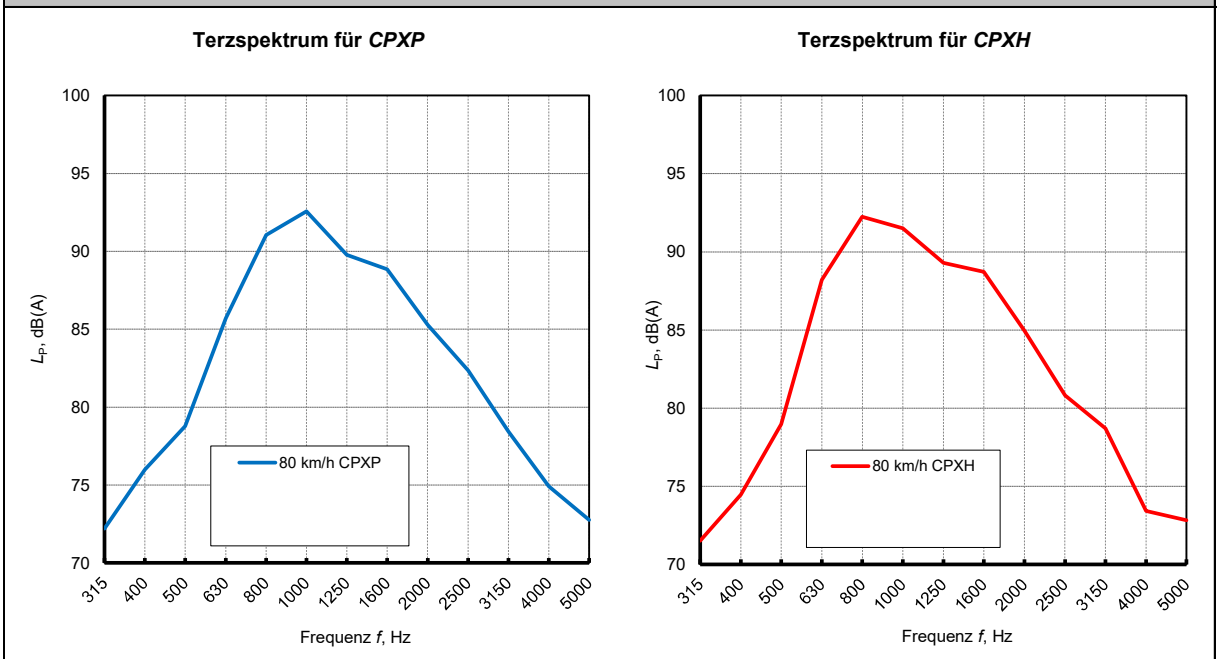
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	7 - 9
Länge des Straßenabschnitts	6,12 km	Temperatur Fahrbahn, °C	7 - 10
Richtung	West, km 27,4 - 33,4 rechts		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE

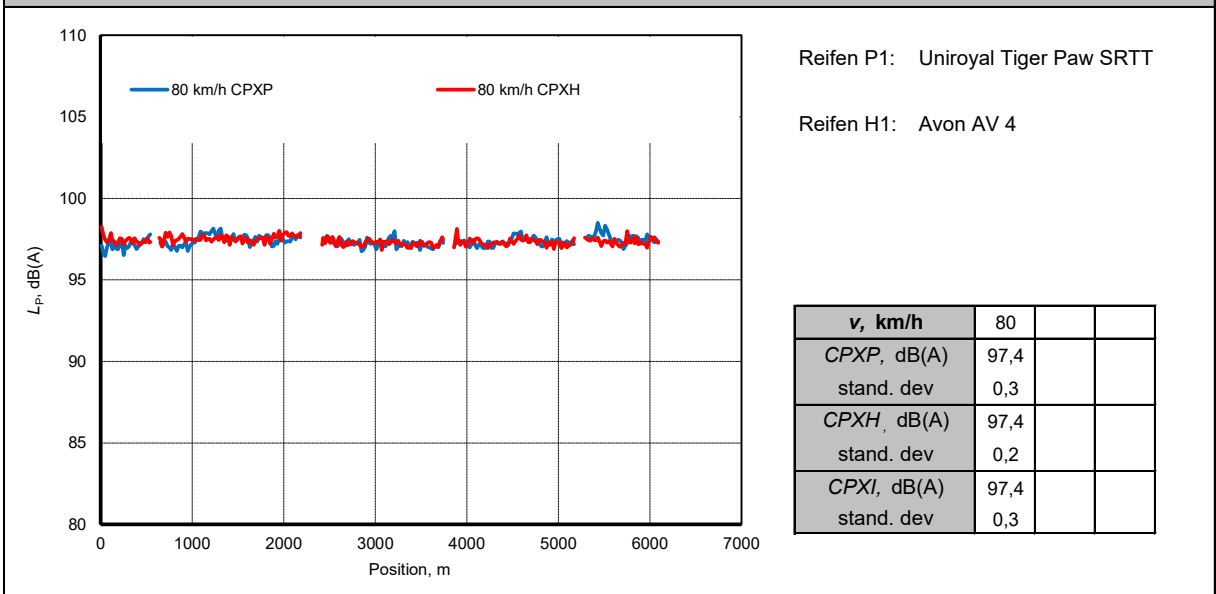


Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

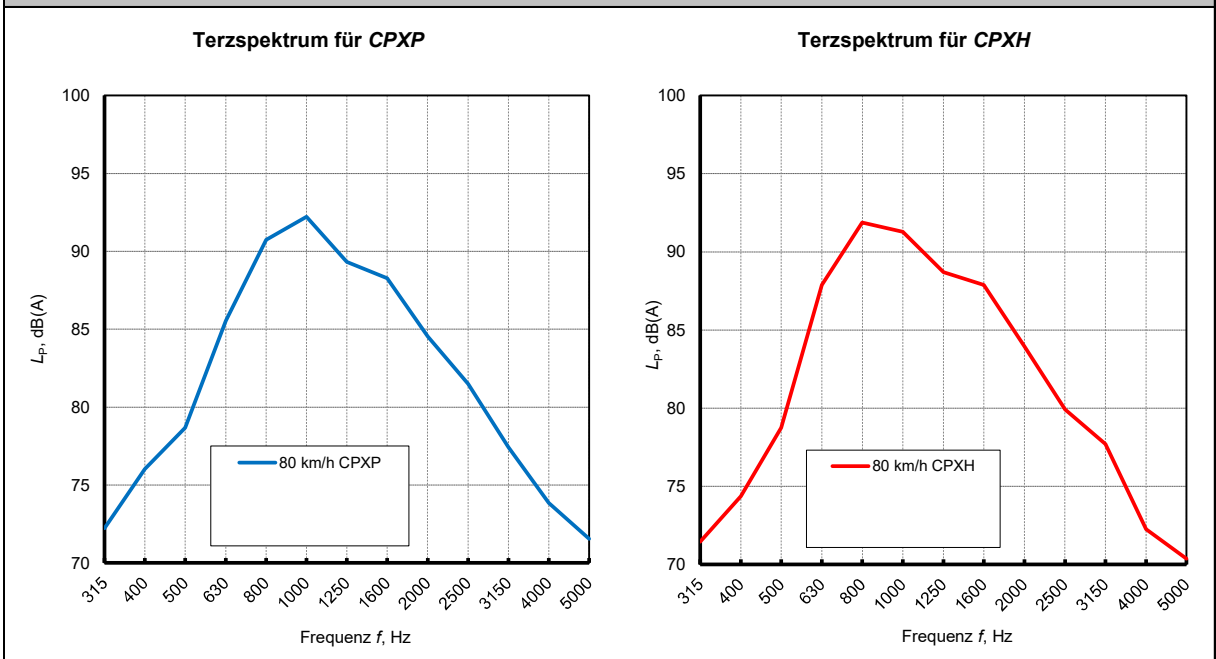
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	9 - 10
Länge des Straßenabschnitts	6,1 km	Temperatur Fahrbahn, °C	8 - 11
Richtung	West, km 27,4 - 33,4 links		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



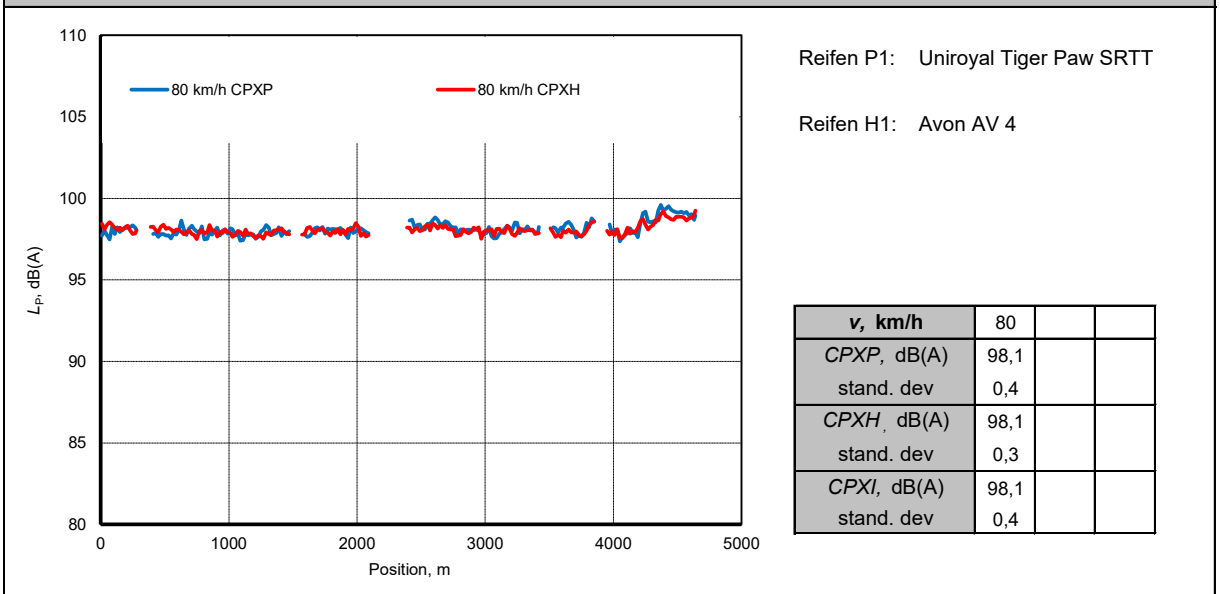
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\1511M\151750\M151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

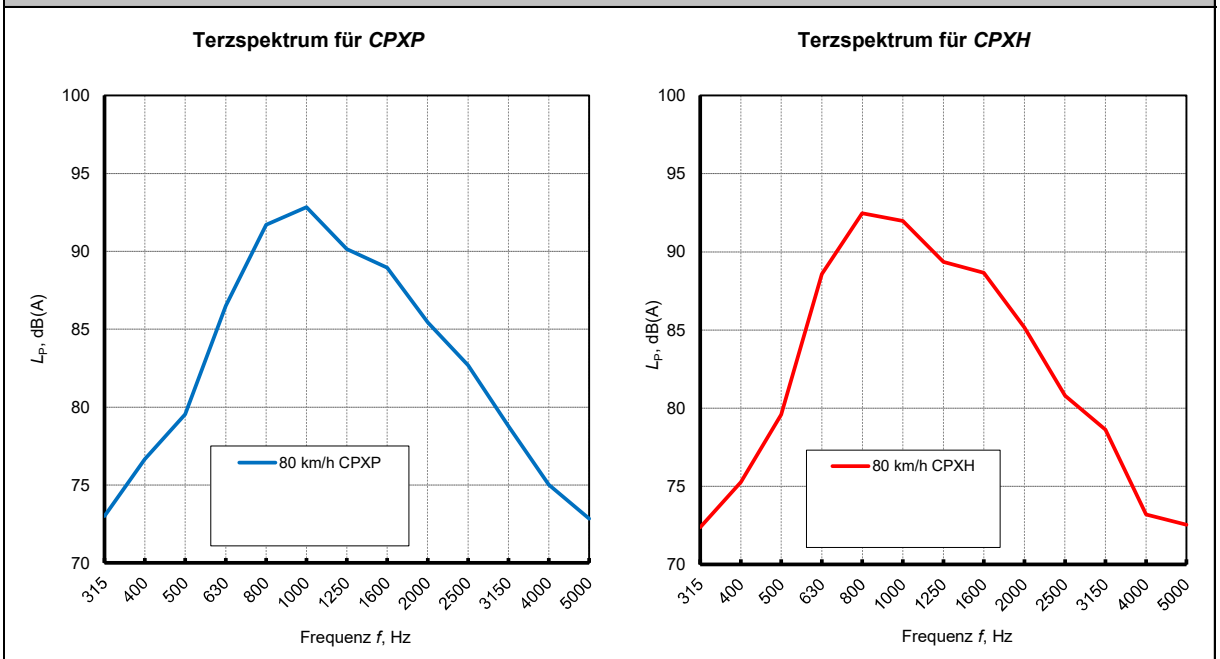
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	7 - 8
Länge des Straßenabschnitts	4,68 km	Temperatur Fahrbahn, °C	7 - 9
Richtung	Ost, km 55,4 - 60,1 rechts		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



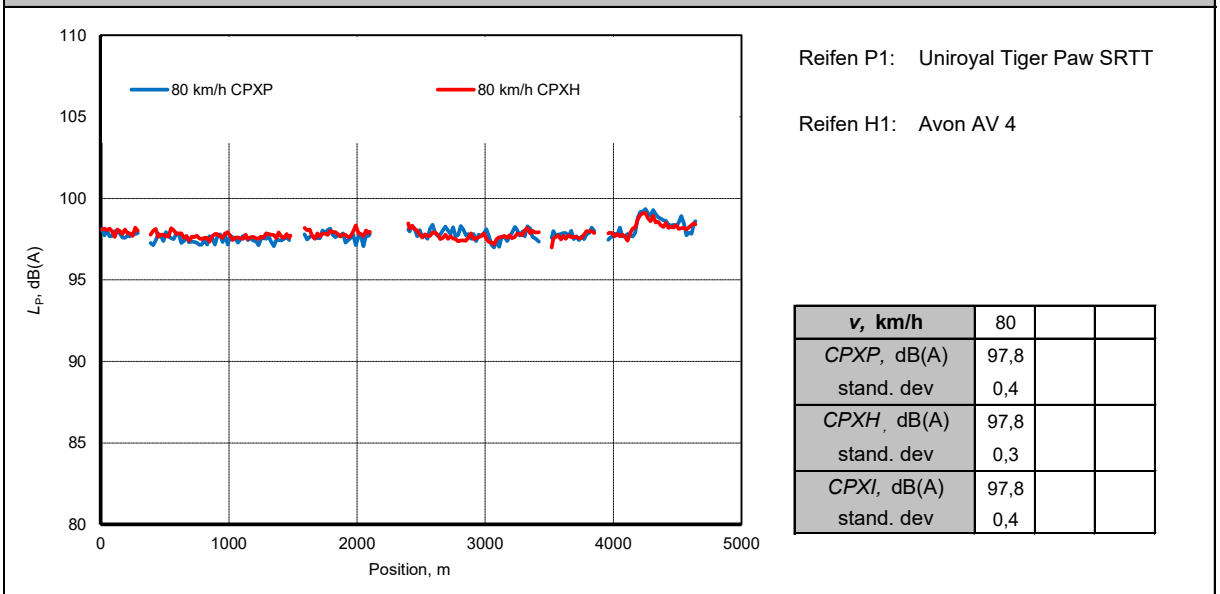
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\151M\151750M\151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

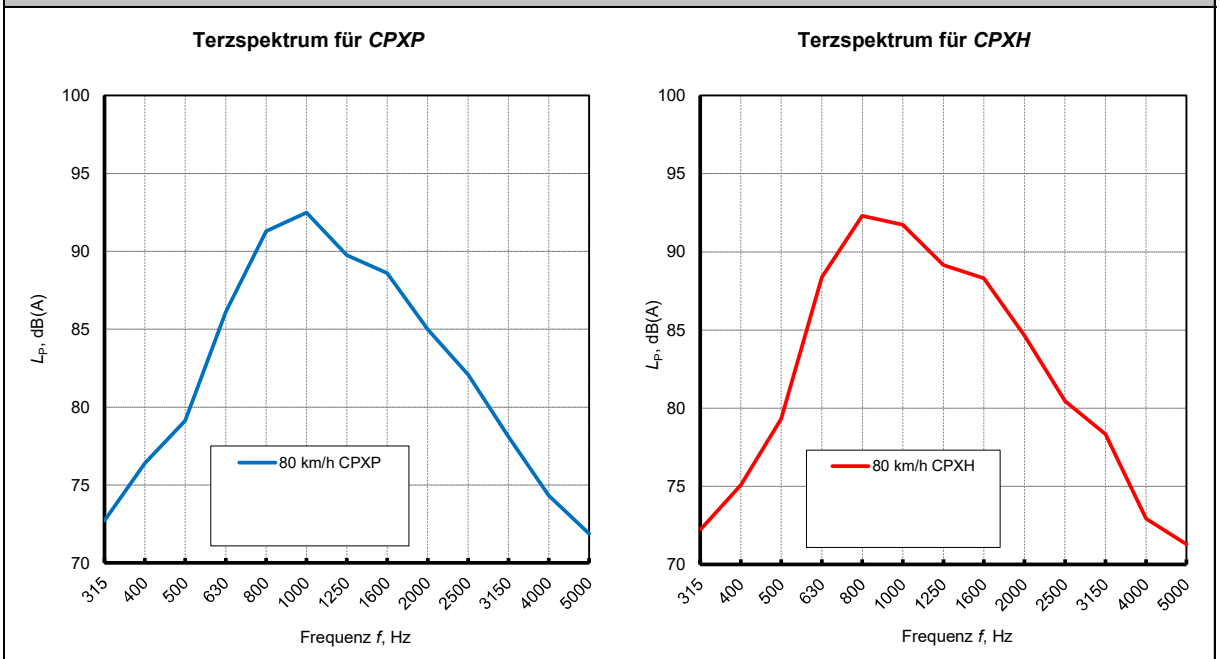
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	7 - 10
Länge des Straßenabschnitts	4,66 km	Temperatur Fahrbahn, °C	7 - 10
Richtung	Ost, km 55,4 - 60,1 links		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



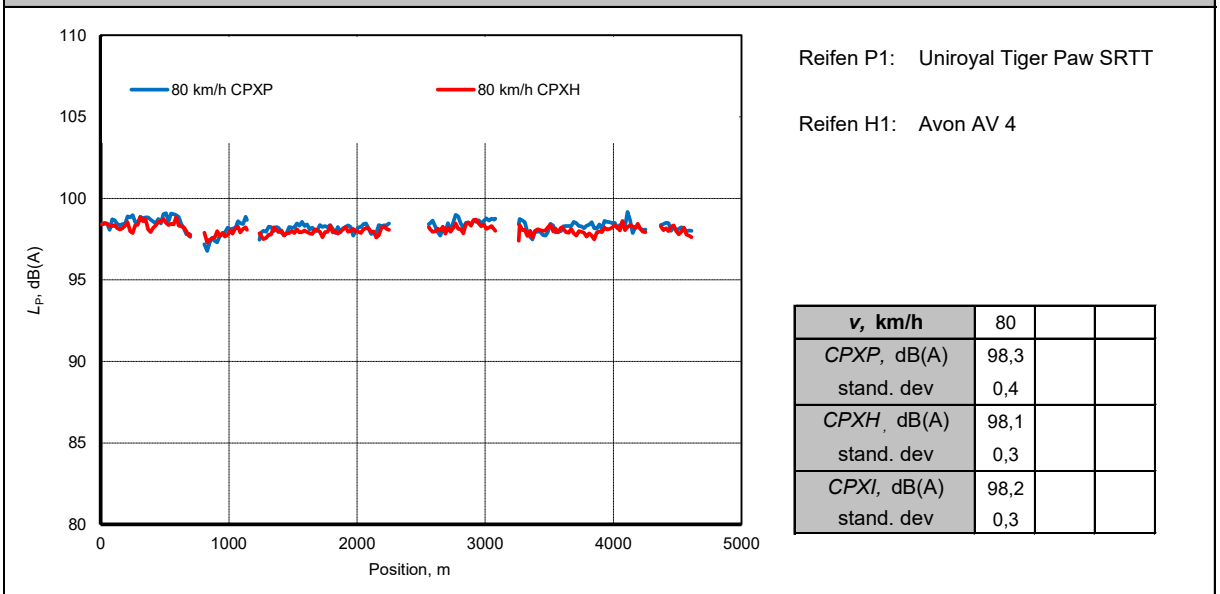
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\1511M\151750M\151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

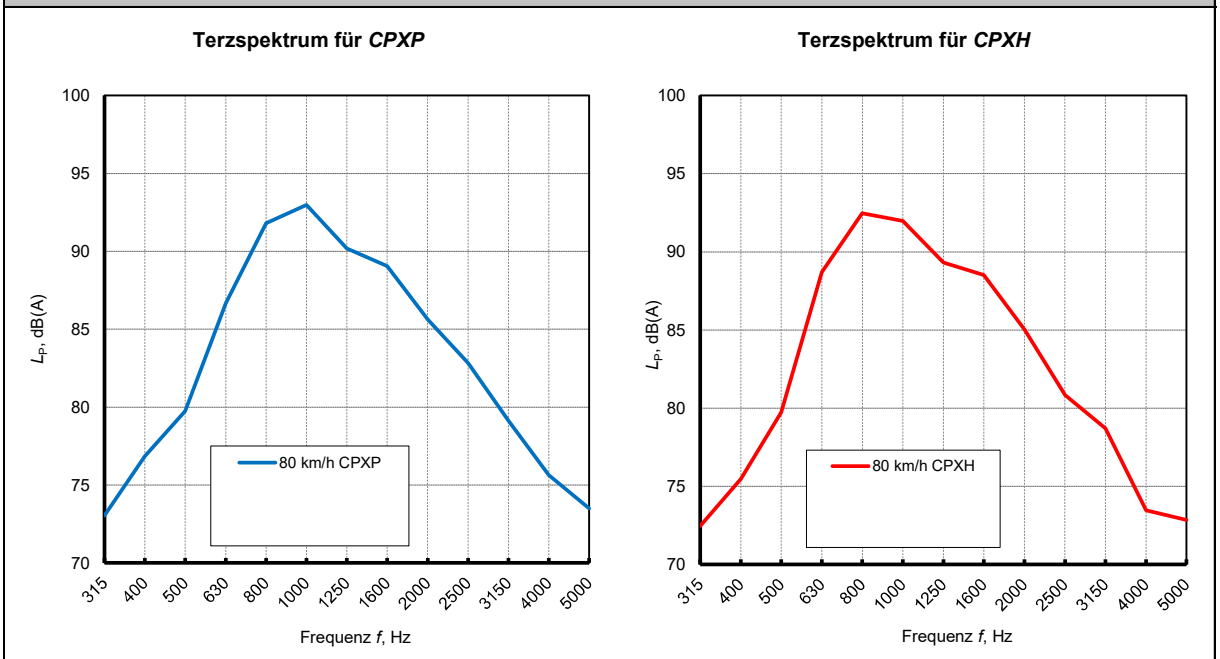
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	7 - 8
Länge des Straßenabschnitts	4,68 km	Temperatur Fahrbahn, °C	7 - 8
Richtung	West, km 60,1 - 55,4 rechts		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE

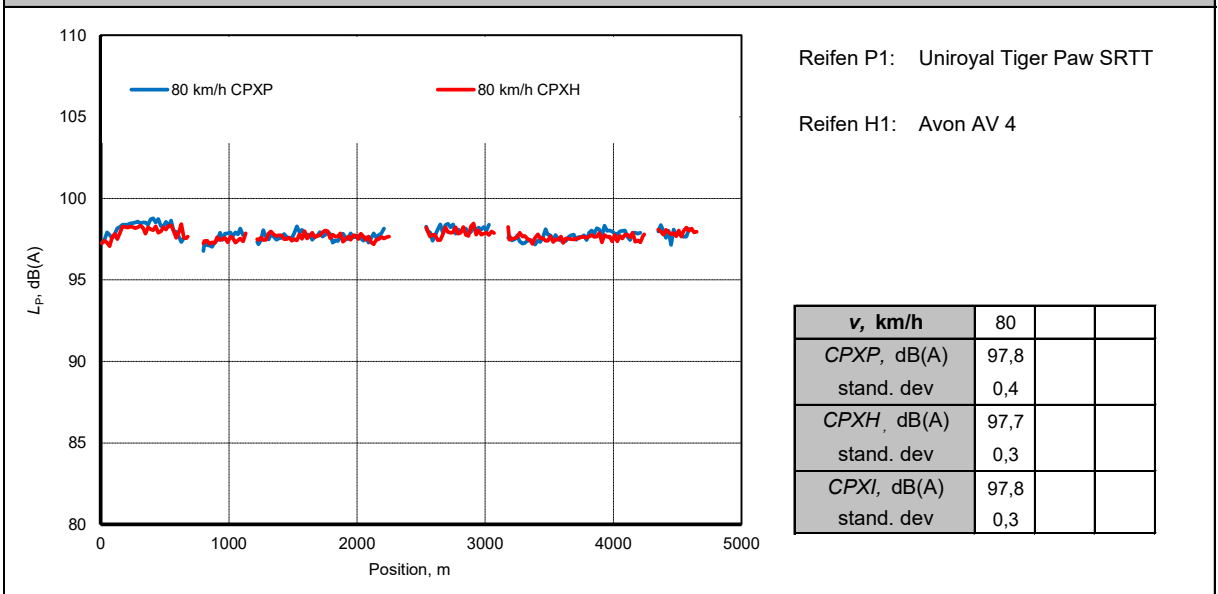


Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

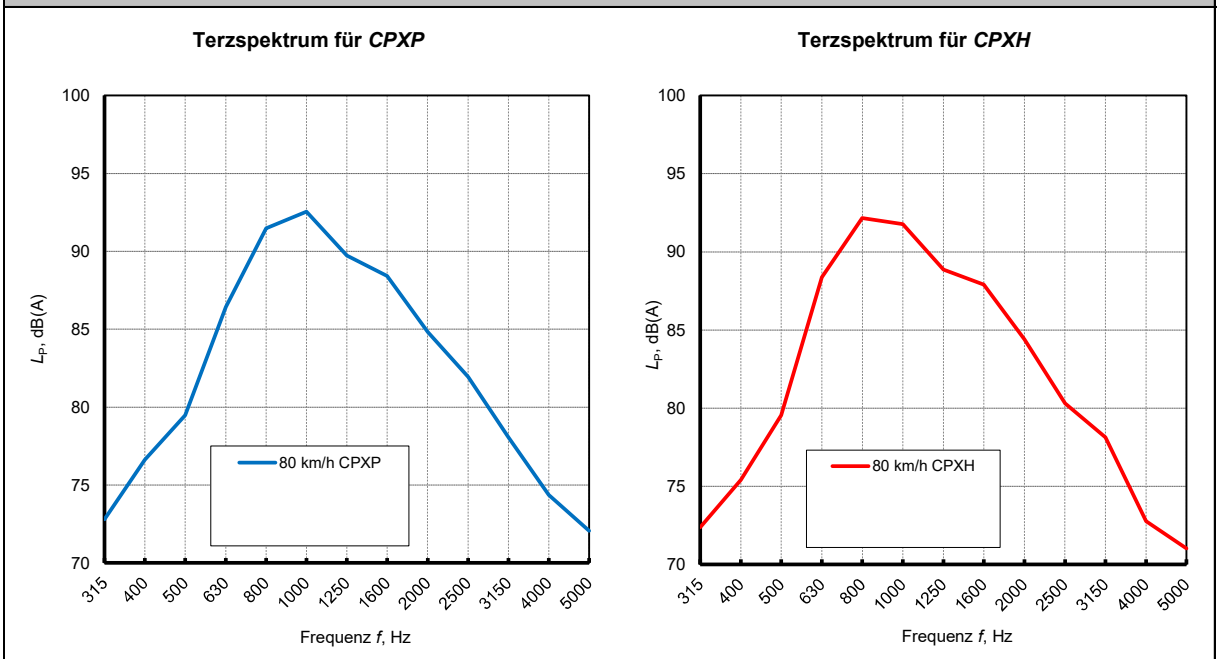
(obligatorische Mikrofonpositionen)

Ort	A94 Isental	Datum	26. November 2019
Fahrbahnbelag	Washbeton	Temperatur Luft, °C	7 - 8
Länge des Straßenabschnitts	4,66 km	Temperatur Fahrbahn, °C	6 - 10
Richtung	West, km 60,1 - 55,4 links		
Auftraggeber / Bestell-Nr.	Autobahndirektion Südbayern		

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\1511M\151750\M151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Anhang B

Beschreibung des CPX-Messverfahrens

\\S-muc-fs01\allefirmen\MIProj\151\MI151750\MI151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Zweck

Mit der Nahfeldmessmethode (**C**lose **P**roximity **M**ethod – CPX) nach DIN EN ISO 11819-2: „Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgläusche – Teil 2: Nahfeldmessverfahren (ISO 11819-2:2017); Deutsche Fassung EN ISO 11819-2:2017“ [CPX1] können die Reifen-Fahrbahn-Gläusche unbeeinflusst von den speziellen Gegebenheiten der Messumgebung und unabhängig von Antriebs- und Strömungsgläuschen 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 speziellen Messreifen, die das Reifen-Fahrbahn-Gläusch erzeugen. In einem definierten 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, muss der Messanhänger besondere Anforderungen an die Schalldämmung gegenüber den Außengläuschen erfüllen, 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: diese sorgt dafür, dass in den Messkammern im maßgeblichen Frequenzbereich quasi Freifeldbedingungen herrschen, d. h. dass die von den Mikrofonen registrierten Reifen-Fahrbahn-Gläusche nicht durch Schallreflexionen an den Innenflächen gestört werden.

Die Müller-BBM Messanhänger erfüllen die Anforderungen der Norm [CPX1]. Ihr Aufbau ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

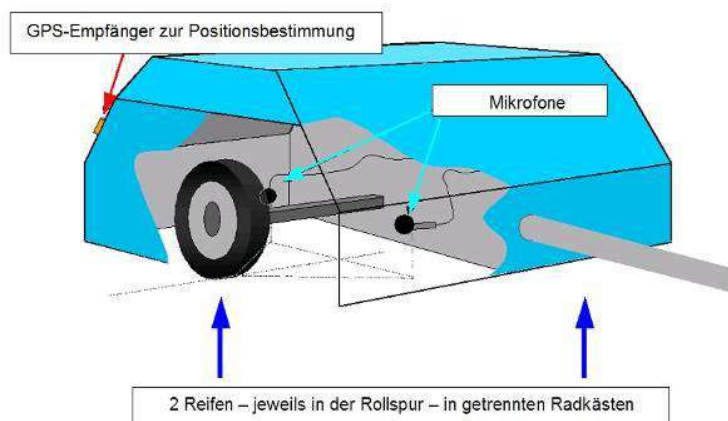


Abbildung 1. Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen mit der Nahfeldmessmethode.



Abbildung 2. Müller-BBM Messanhänger.

Messreifen

Für reproduzierbare Messungen mit Hilfe der Nahfeldmessmethode sind nach Norm die nachfolgend beschriebenen Reifen mit den angegebenen Abmessungen zu verwenden (vgl. Abbildung 3):

- Reifen P1: Uniroyal Tiger Paw SRTT 225/60 R16,
- Reifen H1: AVON AV4 195/80 R14.



Abbildung 3. Verwendete Messreifentypen P1 und H1 gemäß [CPX2].

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

Mikrofonposition

Die Position der Messmikrofone relativ zur Reifenaufstandsfläche ist in [CPX1] festgelegt. Die Messpositionen der Mikrofone sind vorgegeben, um vergleichbare Messergebnisse auch mit verschiedenen Anhängern zu erzielen. Es wird unterschieden zwischen obligatorischen Messpositionen, die in jedem Fall zu untersuchen sind, und optionalen Messpositionen, die für besondere Fragestellungen zusätzlich untersucht werden können. Alle Messpositionen sind in Abbildung 4 dargestellt.

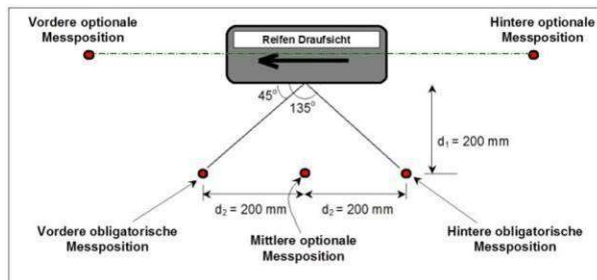


Abbildung 4. Anordnung der Messmikrofone gemäß [CPX1] in der Draufsicht. Die Höhe der Messmikrofone über der Fahrbahnoberkante beträgt 100 mm.

Die Messungen wurden an den obligatorischen Messpositionen (vgl. Abbildung 4) durchgeführt.



Abbildung 5. Reifen P1 mit Messmikrofon (obligatorische Mikrofonposition vorne).

Ermittlung der Messwerte

Es werden nacheinander Messungen mit den Messreifensätzen P und H 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 ermittelt.

Zusätzlich werden jede Sekunde die aktuellen Werte für Luft- und Fahrbahnoberflächentemperatur sowie 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 $L_{p,P}$ und $L_{p,H}$ werden durch energetische Mittelung 20 m-Intervalle für den Reifen P und H $L_{P, 20m}$ und $L_{H, 20m}$ für jede Messmikrofonposition gebildet.

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

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

Im Anschluss werden für jeden Messreifen der beiden Messreifensätze P und H 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 DIN EN ISO 11819-2 [CPX1] sind hier folgende belagsabhängigen Geschwindigkeitskoeffizienten anzusetzen:

- $B = 25$: offenporige Deckschicht,
- $B = 30$: semiporöse Deckschicht, dichte Asphaltdeckschicht,
- $B = 35$: (nicht poröse) Zementbeton-/Betondeckschicht,
- $B = 30$: alle anderen bzw. unbekanntes Deckschichten.

Weiterhin wird auf die Ergebnisse eine Temperaturkorrektur C_T gemäß DIN ISO/TS 13471-1 [CPX4] angewendet.

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

$$L_{P, vr, \text{korr}} = L_{P, 20 \text{ m}} + C_T + C_v,$$

$$L_{H, vr, \text{korr}} = L_{H, 20 \text{ m}} + C_T + C_v.$$

Nach DIN EN ISO 11819-2 [CPX1] ist eine Korrektur für die Gummihärte der Referenzreifen anzuwenden. Der Korrekturfaktor $C_{SH,t}$ ist in ISO/TS 11819-3 angegeben. Da die Messreifen jährlich ausgetauscht werden, kann davon ausgegangen werden, dass Alterungserscheinungen der Reifen die Messergebnisse nicht beeinflussen. Daher wird derzeit auf eine Korrektur für die Gummihärte verzichtet.

Messergebnisse

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

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

$$CPXP_{vr} = \bar{L}_{CPXP, vr, \text{korr}}$$

$$CPXH_{vr} = \bar{L}_{CPXH, vr, \text{korr}}$$

$$CPXI_{vr} = 0,5 \cdot CPXP_{vr} + 0,5 \cdot CPXH_{vr}$$

Zusätzlich wird das mittlere Frequenzspektrum der geschwindigkeits- und temperaturkorrigierten Messergebnisse in den Messprotokollen getrennt für die Reifen P und H dargestellt.

Nahfeldmessungen geben auch Auskunft über die Homogenität eines Fahrbahnbelags. 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 Fahrbahnoberfläche 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 Messgeräteketten 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 Bestimmung der Fahrzeuggeschwindigkeit ist mit einer Unsicherheit von ± 1 km/h, die der Luft- und Oberflächentemperatur mit einer Unsicherheit von $\pm 0,5$ °C behaftet. 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] DIN EN ISO 11819-2: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 2: Nahfeldmessverfahren. 2017-10.
- [CPX2] ISO/TS 11819-3: Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 3: Reference tyres. 2017-03.
- [CPX3] DIN EN ISO 11819-2: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 2: Nahfeldmessmethode (ISO/DIS 11819-2.2:2015); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11819-2:2015; (Entwurf, November 2015).
- [CPX4] DIN ISO/TS 13471-1:2019-12; DIN SPEC 38454:2019-12 – Entwurf: „Akustik – Temperatureinfluss auf die Messung des Reifen/Fahrbahn-Geräusches – Teil 1: Temperaturkorrektur bei der Prüfung mit dem CPX-Verfahren“.

Anhang C

Verwendete Prüfmittel

\\S-muc-fs01\allefirmen\MIProj\151\MI151750\MI151750_25_Ber_1D.DOCX:10. 12. 2019

Verwendete Prüfmittel

Für die CPX-Messungen wurden folgende Prüfmittel verwendet:

Tabelle C1. CPX-Messung – verwendete Messgeräte, CPX-Messsystem 3.

Beschreibung	Hersteller	Typ	Seriennummer
Mikrofon Mp 1 (links vorne)	PCB	377B02	307297
Mikrofon Mp 2 (links hinten)	PCB	377B02	307296
Mikrofon Mp 3 (rechts hinten)	PCB	377B02	306609
Mikrofon Mp 4 (rechts vorne)	PCB	377B02	306605
Mikrofon-Vorverstärker Mp 1	PCB	426E01	054637
Mikrofon-Vorverstärker Mp 2	PCB	426E01	054636
Mikrofon-Vorverstärker Mp 3	PCB	426E01	054764
Mikrofon-Vorverstärker Mp 4	PCB	426E01	054759
Messreifen P1	Uniroyal	Tiger Paw SRTT	APX0 B2UU 2918
Messreifen H1	AVON	AV4	ATJ8 PC 4714
Messanhänger	Müller-BBM	geschlossen	XL9CPX7501209 5526
Datenerfassungssystem	Mecalac	MKII	
	Mecalac	Mainframe MF02PN	1005M9430
	Mecalac	Controller PQ12WS	0808M3796
	Mecalac	Signalverstärker SC42	0706M2702
	Mecalac	Messkarte ICPMD422	1005M9474
	Mecalac	Messkarte ICTMD424	0908M4245
	Mecalac	Messkarte GPSMD424	1205M0616
	Mecalac	Messkarte THMMD422	1107M0293
Datenerfassungssoftware	Müller-BBM VAS	PAK	v 5.9, SR 6
Kalibrator	Brüel & Kjær	BK 4231	1821045
Lufttemperaturmessgerät	Phoenix Contact	PT100 2-L	-
Fahrbahntemperatursensor	Optris	OPTCSML T15	-
GPS-Sensor	Ublox	ANN-MS-0-005	604419

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