

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

11. Dezember 2019
M116966/04 Version 1 MNL/SCHJ

Fahrbahnbeläge auf der Bundesautobahn A94 Abschnitte Forstinning – Pastetten und Pastetten – Heldenstein

Messungen nach Verkehrsfreigabe

Untersuchung des DSH-V-Belages

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

Bericht Nr. M116966/04

| | |
|------------------------|--|
| Auftraggeber: | ARGE Isentalautobahn A94 Winkl 2 84405 Dorfen |
| Bearbeitet von: | Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel Dipl.-Ing. (FH) Stefan Schubert Dipl. Ing. Ronny Schreiter |
| Berichtsumfang: | Insgesamt 30 Seiten, davon 11 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 der Prüfobjekte | 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 | 6 |
| 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 | 9 |
| 5 Abschätzung von Vergleichswerten zum D_{Stro}-Wert | 10 |
| 6 Grundlagen | 11 |

Anhang A: Messprotokolle der CPX-Messungen

Anhang B: Beschreibung des CPX-Messverfahrens

Anhang C: Verwendete Prüfmittel

Zusammenfassung

Im November 2019 wurden auf zwei Abschnitten der BAB A94 mit DSH-V 5 akustische Messungen mit der Nahfeldmessmethode nach DIN EN ISO 11819-2 [1] durchgeführt.

Es handelt sich im Detail um folgende Abschnitte:

- Abschnitt 1: A94 von km 23,1 bis km 26,5 (Forstinning bis Pastetten), Baujahr 2011, Messung nach acht Betriebsjahren.
- Abschnitt 2: A94 von km 33,4 bis km 55,39 (Pastetten bis Heldenstein), Baujahr 2019, Messung nach zwei Betriebsmonaten.

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

Die Standardabweichungen s der CPX-Indizes, die ein Maß für die Homogenität des Fahrbahnbelages darstellen, liegen auf Abschnitt 1 (Baujahr 2011) bei 0,2 dB bis 0,4 dB. Demnach weist die hier untersuchte DSH-V Deckschicht eine sehr gute akustische Homogenität auf. Der zweite Abschnitt (Baujahr 2019) weist Standardabweichungen von 0,4 dB bis 0,8 dB und somit eine gute akustische Homogenität auf.

Die an der A94 ermittelten CPXP-Indizes reichen von 96,4 dB(A) bis 97,6 dB(A) auf Abschnitt 1 und von 96,2 dB(A) bis 96,5 dB(A) auf Abschnitt 2. Somit liegen die Schalldruckpegel der Reifen-Fahrbahn-Geräusche für den Pkw-ähnlichen Reifen auf dem neu eingebauten Abschnitt 2 mit Baujahr 2019 unter denen auf Abschnitt 1 mit Baujahr 2011.

Es wurden CPXH-Indizes zwischen 96,4 dB(A) und 97,6 dB(A) auf Abschnitt 1 gemessen. Der zweite Abschnitt weist für den Lkw-ähnlichen Reifen H1 mit CPXH-Indizes von 99,1 dB(A) bis 99,7 dB(A) höhere Messwerte auf.

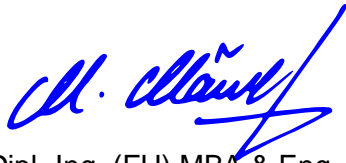
Im kommenden Jahr (2020) sind zudem Messungen nach dem Verfahren der statistischen Vorbeifahrt (SPB) gemäß DIN EN ISO 11819-1 geplant. Diese Messungen können nur dann durchgeführt werden, wenn die Mehrheit der Fahrzeuge mit Sommerreifen ausgestattet ist und wenn der Fahrbahnbelag eingefahren ist (je nach Verkehrsdichte einige Monate nach Verkehrsfreigabe). Im Frühjahr 2020 ergibt sich somit der erste mögliche Zeitraum die Messungen auf dem neu eingebauten Abschnitt 2 durchzuführen. Vergleichswerte zum D_{StrO} -Wert können nur aus diesen SPB-Messungen gewonnen werden.

Um dennoch bereits jetzt (Ende 2019) eine erste Einschätzung zu den akustischen Eigenschaften der Fahrbahnbeläge zu erhalten, können aus den durchgeführten CPX-Messungen Vergleichswerte zum D_{StrO} -Wert abgeschätzt werden. Aus dieser Abschätzung ergibt sich ein Vergleichswert zum D_{StrO} -Wert von (-3 dB(A) bis -4 dB(A)) \pm 1 dB für die DSH-V Deckschicht auf Abschnitt 1 mit Baujahr 2011 und (-4 dB(A) bis -5 dB(A)) \pm 1 dB für die DSH-V Deckschicht auf Abschnitt 2 mit Baujahr 2019.

Hierbei muss berücksichtigt werden, dass – aufgrund der geringen Verkehrsbelastung – zum Messzeitpunkt Ende November 2019 noch nicht sichergestellt werden kann, dass der Fahrbahnbelag bereits komplett eingefahren ist (d. h., dass kein oberflächliches Bitumen mehr vorhanden ist, das das Messergebnis beeinflusst).

Um den Einfluss der Verkehrsbelastung auf dem neuen Abschnitt bewerten zu können, sollten weitere Messungen in den kommenden Jahren durchgeführt werden. Auf diese Weise kann gezeigt werden, wie sich die akustischen Eigenschaften der Fahrbahnbeläge unter Verkehr entwickeln.

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 zwei Abschnitten mit DSH-V-5-Deckschichten im Bestands- sowie Neubauabschnitt der Bundesautobahn A 94 zwischen Forstinning und Pastetten sowie zwischen Pastetten und Heldenstein Messungen mit der Nahfeldmessmethode nach DIN ISO 11819-2 [1] durchgeführt.

Die Messungen erfolgten Ende November 2019 und somit ca. zwei Monate nach Verkehrsfreigabe auf dem Abschnitt von Pastetten nach Heldenstein.

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 Forstinning und Heldenstein. Insgesamt wurden zwei Abschnitte untersucht:

- Abschnitt 1 von km 23,1 bis km 26,5 (Forstinning bis Pastetten), Baujahr 2011.
- Abschnitt 2 von km 33,4 bis km 55,39 (Pastetten bis Heldenstein), Baujahr 2019.

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

Bei der Deckschicht handelt es sich jeweils um einen Dünnschichtbelag im Heißeinbau auf Versiegelung mit 5 mm Größtkorn (DSH-V 5).

3 Durchführung der Messungen

3.1 Verwendetes Messsystem und Auswertung

Für die Messung wird ein der Norm DIN EN ISO 11819-2 „Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsrgeräusche – Teil 2: Nahfeldmessverfahren.“ [1] entsprechender, speziell konstruierter Messanhänger verwendet, der mit zwei speziellen Messreifen P1 und H1 ausgerüstet ist. 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 betrugen 6 °C bis 12 °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 sicher zu gehen, 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 12 | -0,9 bis -1,2 |
| Reifen H1 | 7 bis 10 | 6 bis 10 | -0,9 bis -1,2 |

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 0,09 dB/°C gemäß DIN ISO/TS 13471-1 (Entwurf): 2019 verwendet.

Tabelle 2. CPX-Indizes in dB(A) und Standardabweichungen *s* in dB des Abschnitts A94 (temperatur- und geschwindigkeitskorrigiert), Ergebnisse 2019.

| CPX-Index in dB(A) und Standardabweichung <i>s</i> 80 km/h | | | | | | |
|---|-------------------|------------|---------------|--------------------|------------|---------------|
| | Fahrtrichtung Ost | | | Fahrtrichtung West | | |
| | CPXP Sp | CPXH SH | CPXI SCPXI | CPXP Sp | CPXH SH | CPXI SCPXI |
| Abschnitt 1: von km 23,1 bis 26,5 | | | | | | |
| Rechter Fahrstreifen | 97,6 | 97,6 | 97,6 | 97,6 | 97,5 | 97,5 |
| | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| Linker Fahrstreifen | 96,5 | 96,5 | 96,5 | 96,4 | 96,4 | 96,4 |
| | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |
| Abschnitt 2: von km 33,4 bis 55,39 | | | | | | |
| Rechter Fahrstreifen | 96,5 | 99,5 | 98,0 | 96,3 | 99,2 | 97,7 |
| | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,7 |
| Linker Fahrstreifen | 96,5 | 99,7 | 98,1 | 96,2 | 99,1 | 97,7 |
| | 0,6 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |

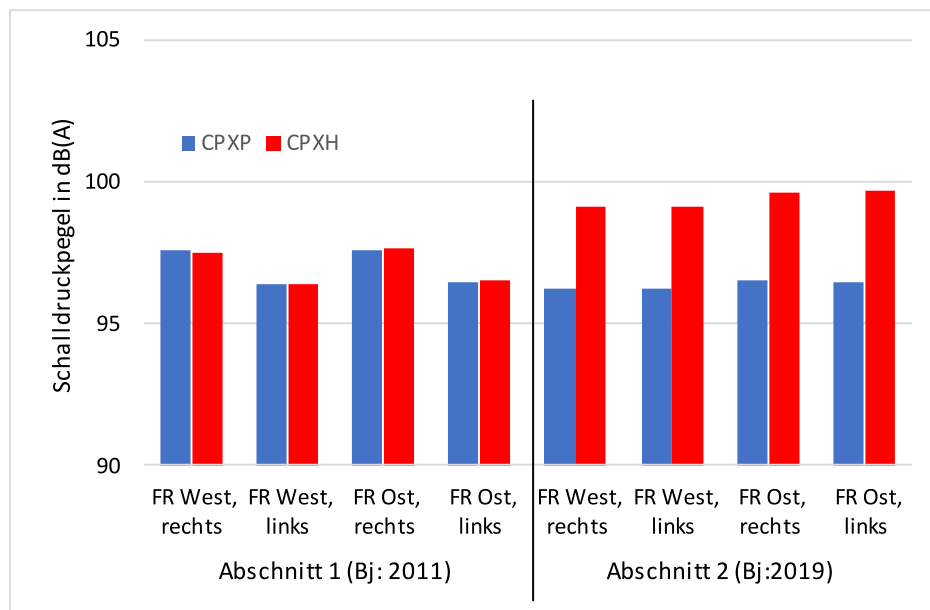


Abbildung 1. Grafische Darstellung der CPXP-Indizes (blau) und CPXH-Indizes (rot) auf beiden Abschnitten.

Die Standardabweichungen s , die ein Maß für die akustische Homogenität des Fahrbahnbelages darstellen, liegen auf Abschnitt 1 (Baujahr 2011) bei 0,2 dB bis 0,4 dB. Auf dem zweiten Abschnitt (Baujahr 2019) liegen die Standardabweichungen zwischen 0,4 dB und 0,8 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 ist die neue Deckschicht auf Abschnitt 2 als homogen einzustufen und die ältere Deckschicht auf Abschnitt 1 als sehr homogen.

Bei dem westlichen (älteren) Abschnitt 1 liegen *CPXP*- und *CPXH*-Indizes auf dem rechten Fahrstreifen bei etwa 97,5 dB(A) und somit ca. 1 dB über den Ergebnissen der linken Fahrstreifen. Dieser Effekt kann im Allgemeinen auf den Schwerverkehr zurückgeführt werden, der hauptsächlich auf dem rechten Fahrstreifen verkehrt und nach und nach die Oberflächentextur des Fahrbahnbelages akustisch negativ beeinflusst.

Der östliche (neue) Abschnitt 2 führt bei dem Lkw-ähnlichen Reifen H1 zu etwas höheren Rollgeräuschpegeln um 99 dB(A) bis 100 dB(A). Die *CPXP*-Pegel liegen auf diesem Abschnitt zwischen 96 dB(A) und 97 dB(A).

4.3 Spektrale Betrachtung

In den Messprotokollen im Anhang A sind die Spektren der gemessenen Reifen-Fahrbahn-Geräusche dargestellt. In Abbildung 2 sind zusätzlich die Spektren der *CPXP*-Indizes der beiden untersuchten Abschnitte gegenübergestellt.

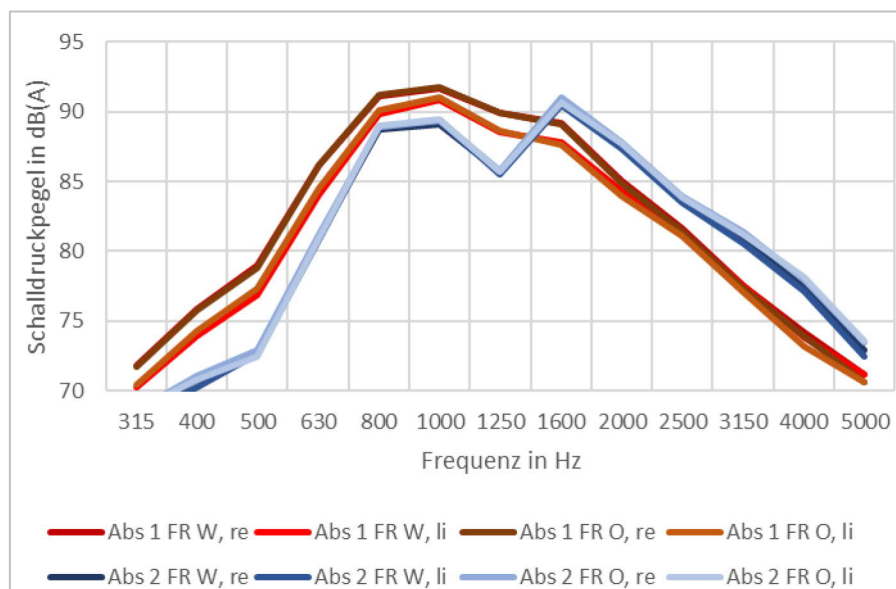


Abbildung 2. *CPXP*-Spektren auf der A94. Rot = Abschnitt 1 (Baujahr 2011), Blau = Abschnitt 2 (Baujahr 2019).

Im Vergleich der Spektren zeigt sich, dass die neue Deckschicht im Abschnitt 2 im Frequenzbereich bis 1,25 kHz zu geringeren Rollgeräuschemissionen führt. In diesem Frequenzbereich sind Reifenschwingungen, die durch die Oberflächentextur angeregt werden in aller Regel die dominante Schallquelle. Demnach weist die Oberflächentextur auf dem neueren Abschnitt 2 also eine Textur auf, die zu geringeren Reifenschwingungen führt, als dies auf dem älteren Abschnitt 1 der Fall ist. Im hochfrequenten Bereich, in dem in aller Regel aerodynamische Geräuschquellen im Reifen-Fahrbahn-Kontakt dominant sind, führt die neue Deckschicht (Abschnitt 2) hingegen zu höheren Schalldruckpegeln als die alte Deckschicht (Abschnitt 1). Da sich im oberen Frequenzbereich ein sehr schmalbandiges lokales Maximum bei 1.600 Hz befindet, vermuten wir, dass es sich um einen sogenannten stick-snap-Effekt handelt. Der stick-snap-Effekt beschreibt ein adhäsives Anhaften der Reifenprofilklötze an der bituminösen Deckschichtoberfläche im Reifen-Fahrbahn-Kontakt und ein plötzliches „Abreißen“ am Reifenauslauf. Dieses Abreißen führt zu einer schmalbandigen Geräuschemission [3].

Falls diese These zutrifft wäre davon auszugehen, dass sich die Reifen-Fahrbahn-Geräusche in den kommenden Monaten noch einmal deutlich verändern könnten. Da die Spektren der *CPXH*-Indizes (vgl. Anhang A), die die akustischen Charakteristika eines typischen Lkw-Reifens nachbilden, neben der typischen Blockeingriffsfrequenz um 800 Hz ebenfalls ein hochfrequentes lokales Maximum bei 1.600 Hz aufweisen, könnten auch die vergleichsweise hohen *CPXH*-Indizes auf dem neueren Abschnitt 2 durch den stick-snap-Effekt beeinflusst sein. Dies könnte ggf. in einer weiteren Messreihe im Frühling, vor der Durchführung der SPB-Messungen geklärt werden.

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, DSH-V 5 (Baujahr 2011) | | |
| Abschnitt 1: von km 23,1 bis 26,5 | 97,0 | (-3 bis -4) \pm 1 |
| Mittelwert beider Fahrstreifen und Fahrtrichtungen | 0,4 | |
| A94, DSH-V 5 Baujahr 2019) | | |
| Abschnitt 2: von km 33,4 bis 55,39 | 96,3 | (-4 bis -5) \pm 1 |
| Mittelwert beider Fahrstreifen und Fahrdichtungen | 0,7 | |

6 Grundlagen

- [1] DIN EN ISO 11819-2: Akustik – Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – 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] P. Andersson: Rapid tyre/road separation: An experimental study of adherence forces and noise generation. Wear, Vol. 266; ISSN: 0043-1648.
- [4] DIN ISO/TS 11819-3:2019-12; DIN SPEC 38453:2019-12 – Entwurf: “Akustik – Messung des Einflusses von Deckschichten auf Verkehrsgeräusche – Teil 3: Referenzreifen”.

Anhang A

Messprotokolle der CPX-Messungen

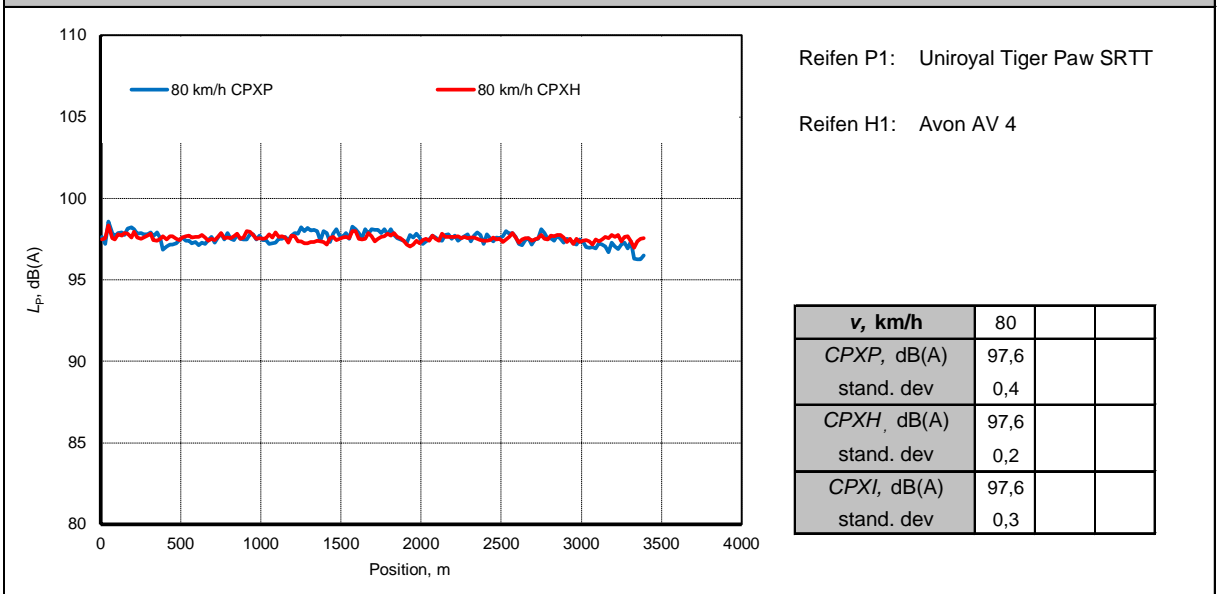
\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

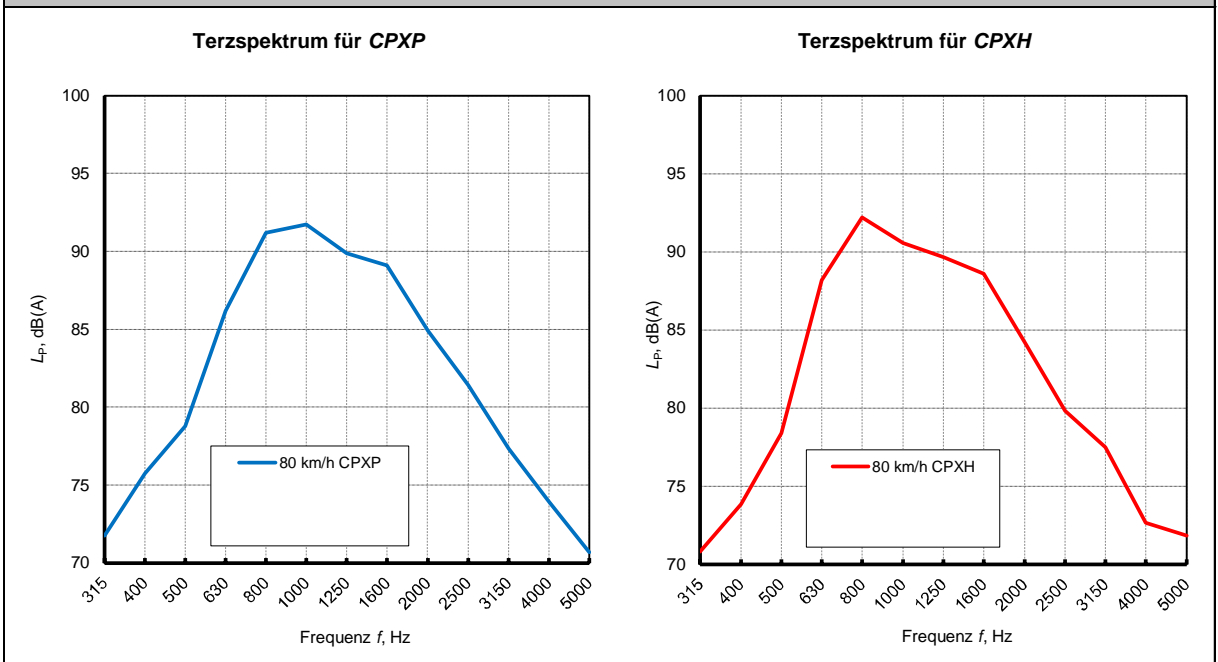
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V | Temperatur Luft, °C | 9 - 10 |
| Länge des Straßenabschnitts | 3,4 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 8 - 11 |
| Richtung | Ost, km 23,1 - 26,5 rechts | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isentalautobahn A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE

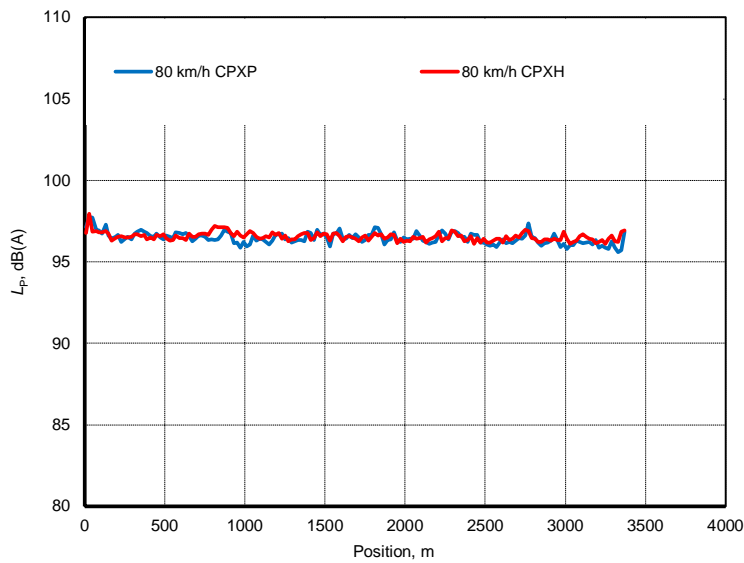


Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V | Temperatur Luft, °C | 8 - 10 |
| Länge des Straßenabschnitts | 3,42 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 8 - 12 |
| Richtung | Ost, km 23,1 - 26,5 links | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isentalautobahn A94 | | |

CPX-WERTE



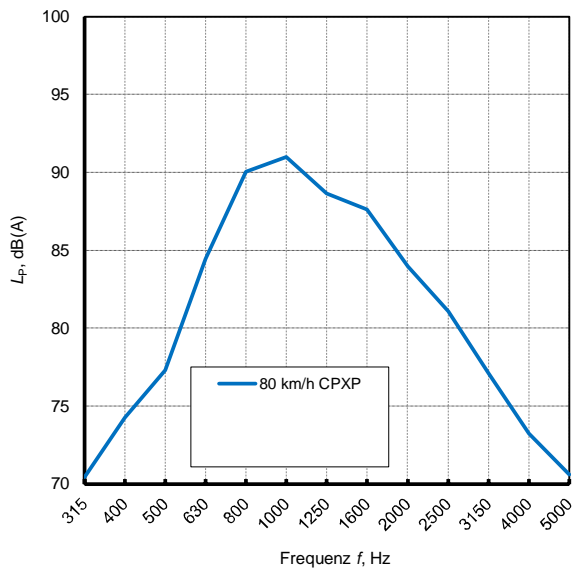
Reifen P1: Uniroyal Tiger Paw SRTT

Reifen H1: Avon AV 4

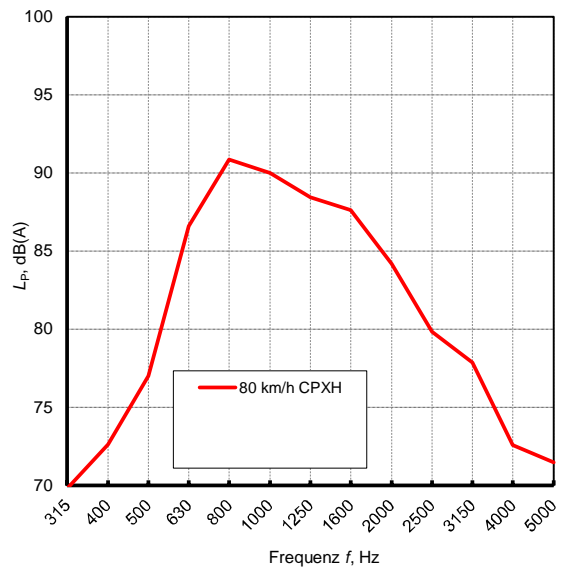
| v, km/h | 80 | | |
|-------------|------|--|--|
| CPXP, dB(A) | 96,5 | | |
| stand. dev | 0,4 | | |
| CPXH, dB(A) | 96,5 | | |
| stand. dev | 0,3 | | |
| CPXI, dB(A) | 96,5 | | |
| stand. dev | 0,3 | | |

FREQUENZ-ANALYSE

Terzspektrum für CPXP



Terzspektrum für CPXH

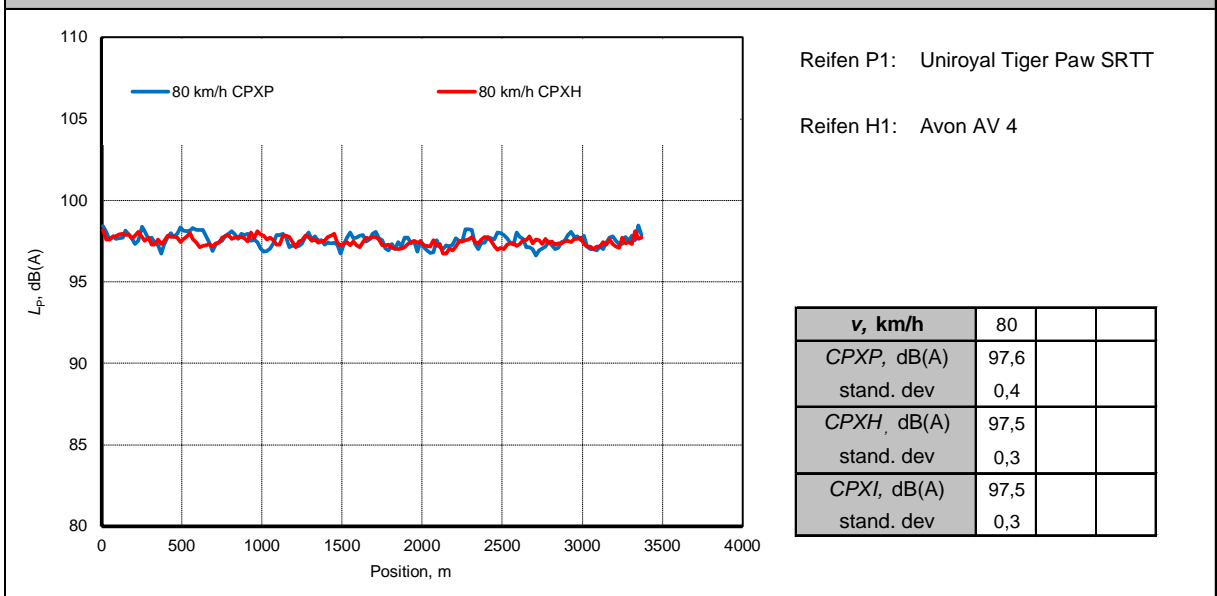


Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

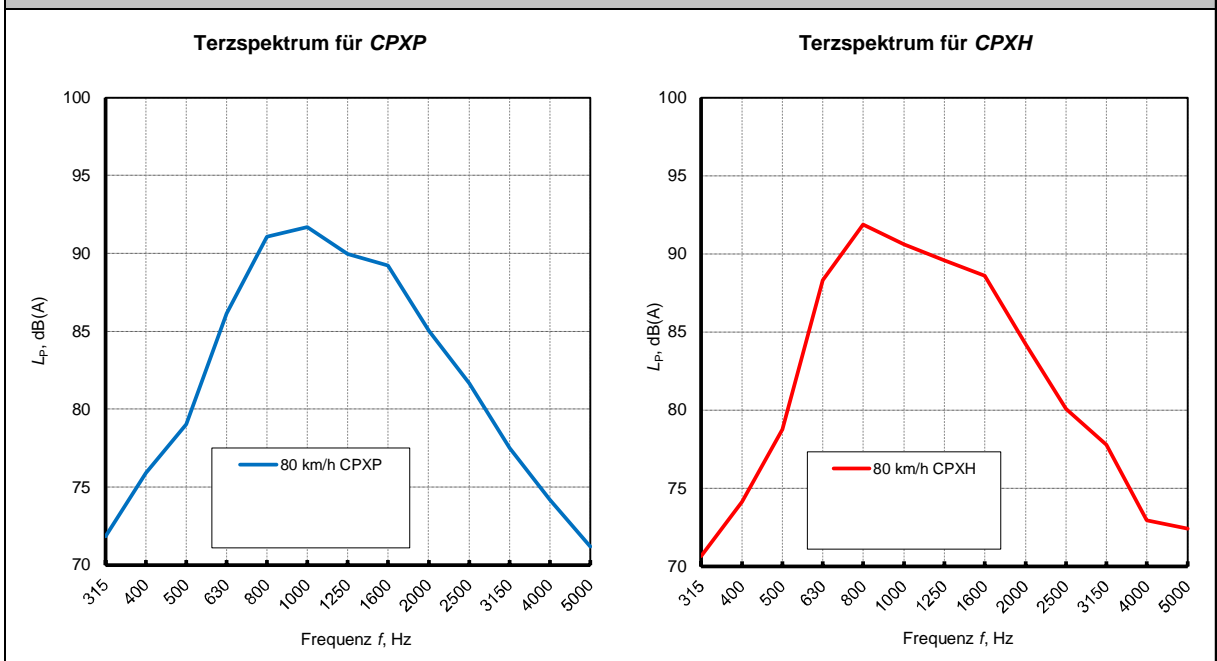
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V | Temperatur Luft, °C | 7 - 9 |
| Länge des Straßenabschnitts | 3,4 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 7 - 10 |
| Richtung | West, km 26,5 - 23,1 rechts | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isentalautobahn A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



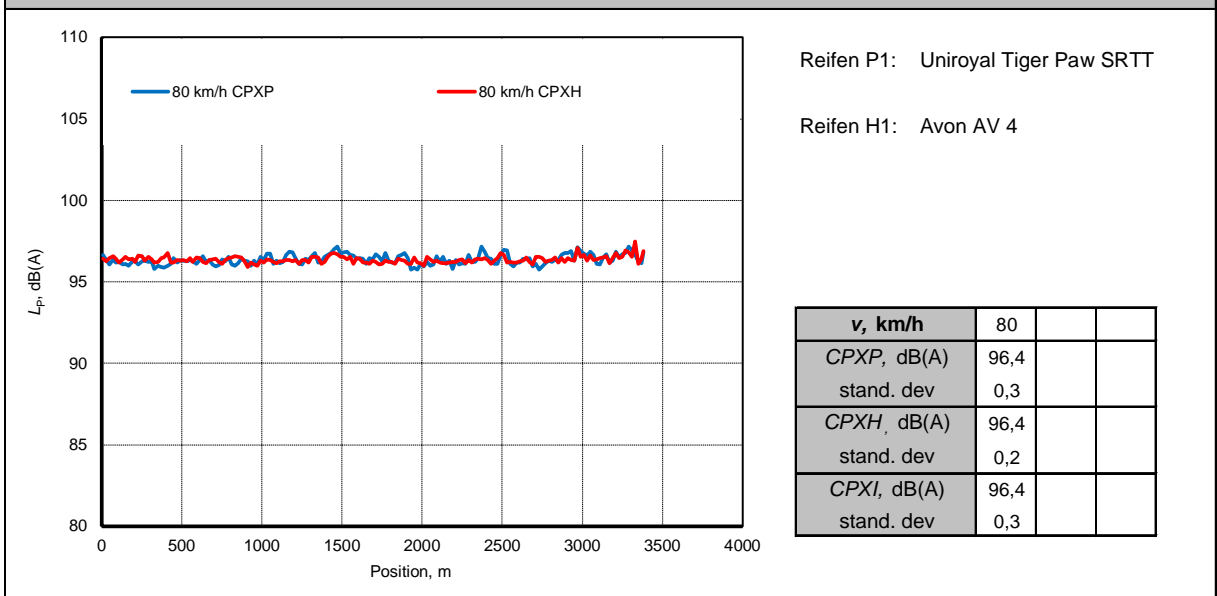
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

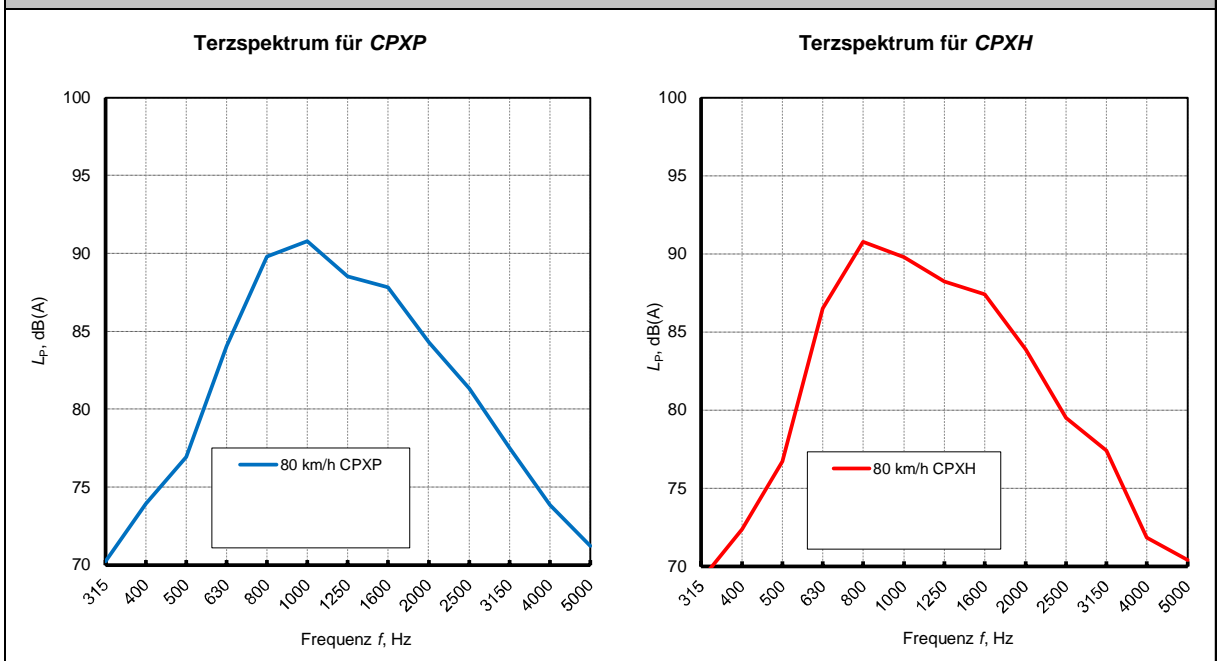
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V | Temperatur Luft, °C | 9 - 10 |
| Länge des Straßenabschnitts | 3,4 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 8 - 11 |
| Richtung | West, km 26,5 - 23,1 links | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isentalautobahn A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



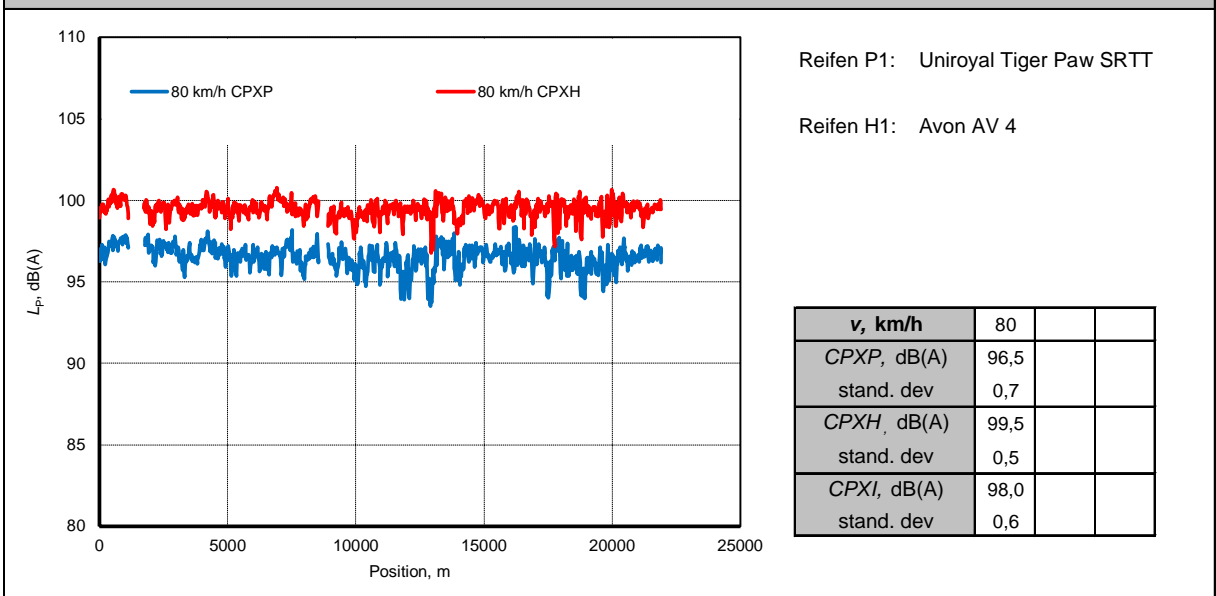
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

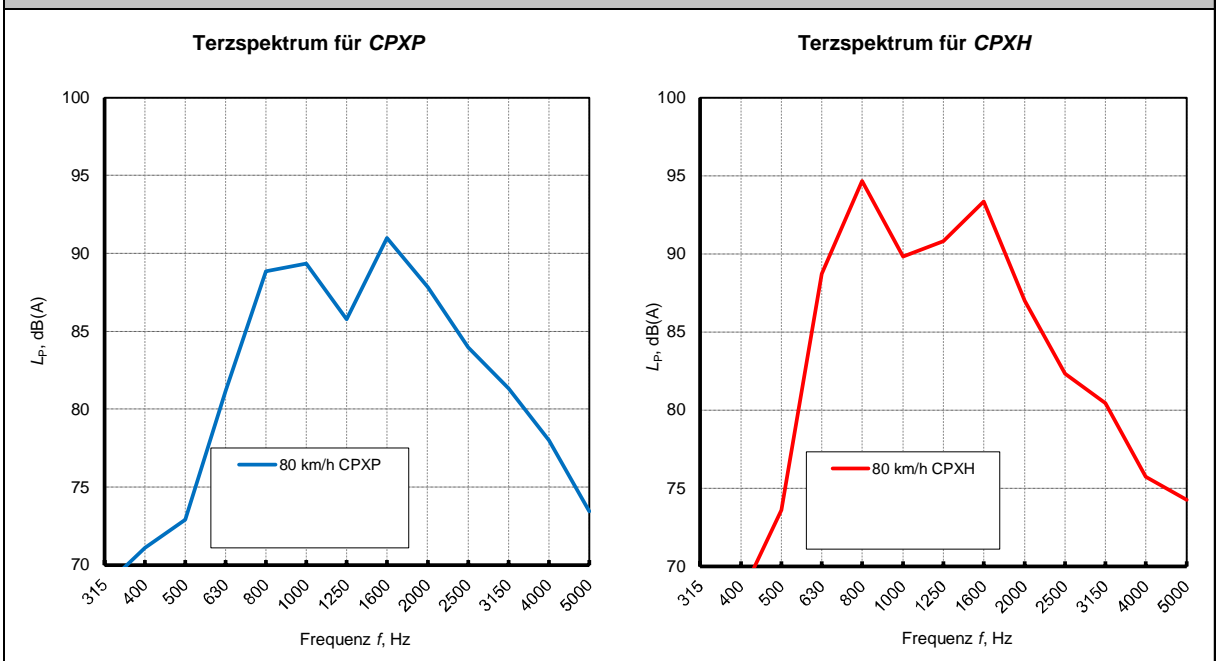
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V 5 | Temperatur Luft, °C | 8 - 10 |
| Länge des Straßenabschnitts | 21,96 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 6 - 12 |
| Richtung | Ost, km 33,4 - 55,4 rechts | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isental A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



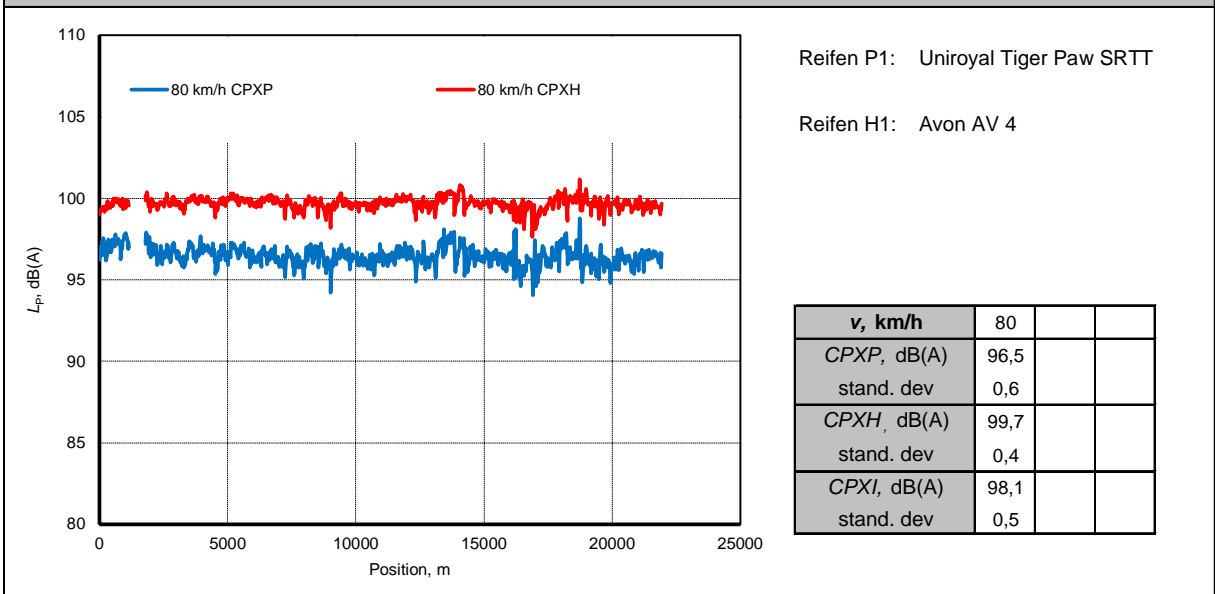
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

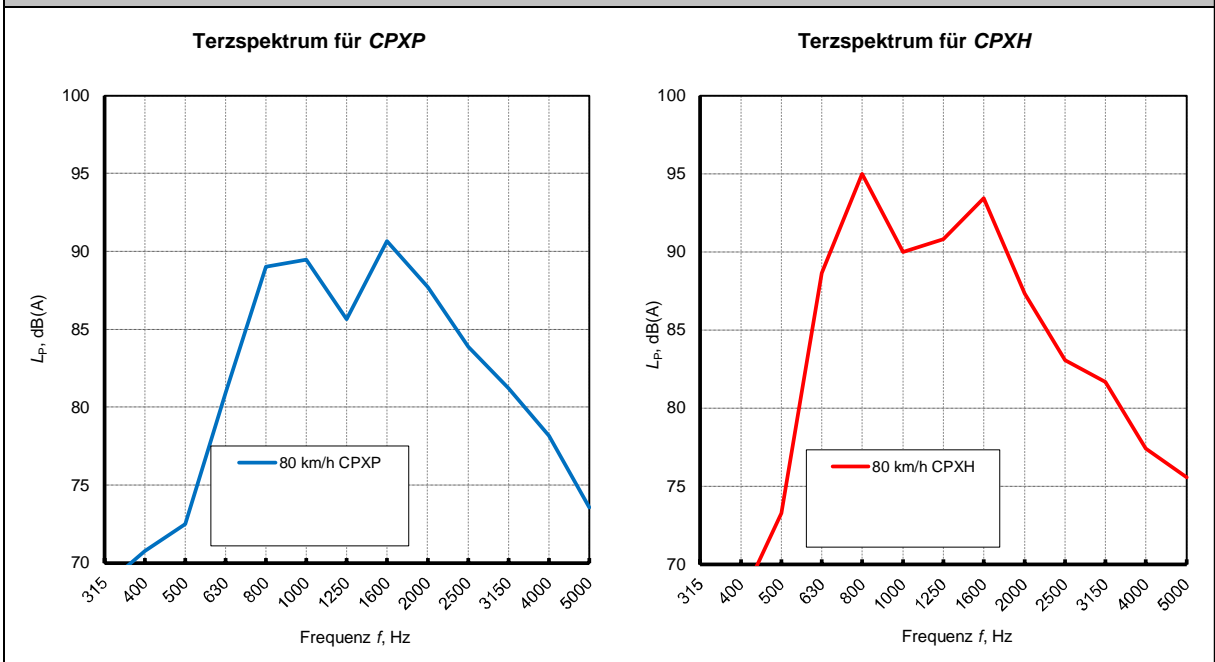
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V 5 | Temperatur Luft, °C | 7 - 10 |
| Länge des Straßenabschnitts | 21,96 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 6 - 12 |
| Richtung | Ost, km 33,4 - 55,4 links | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isental A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



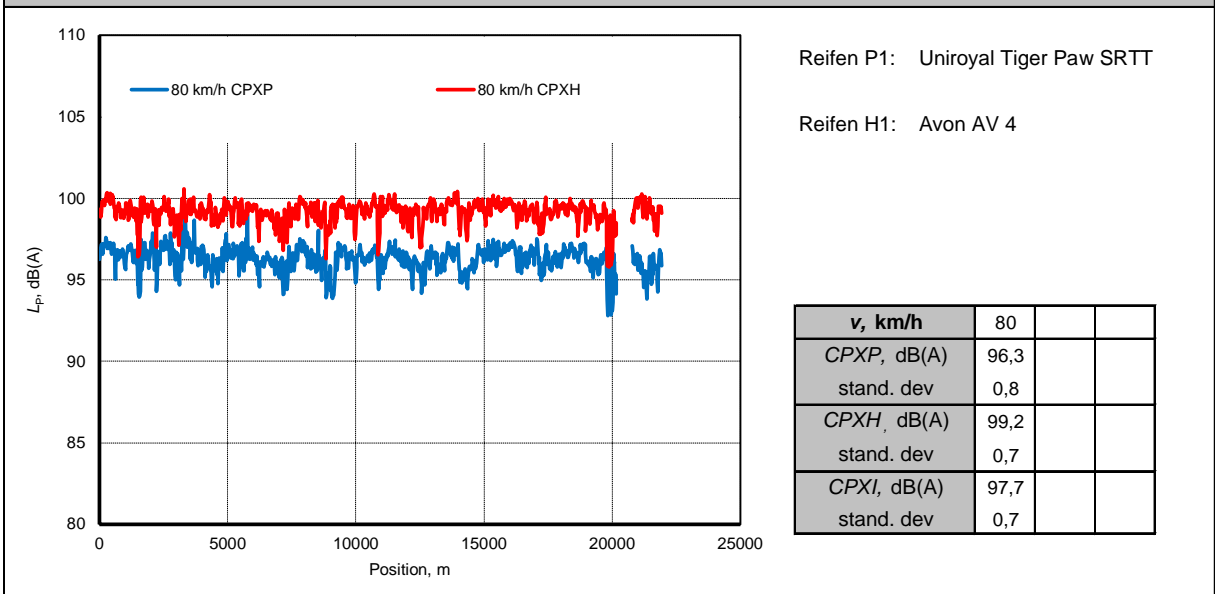
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

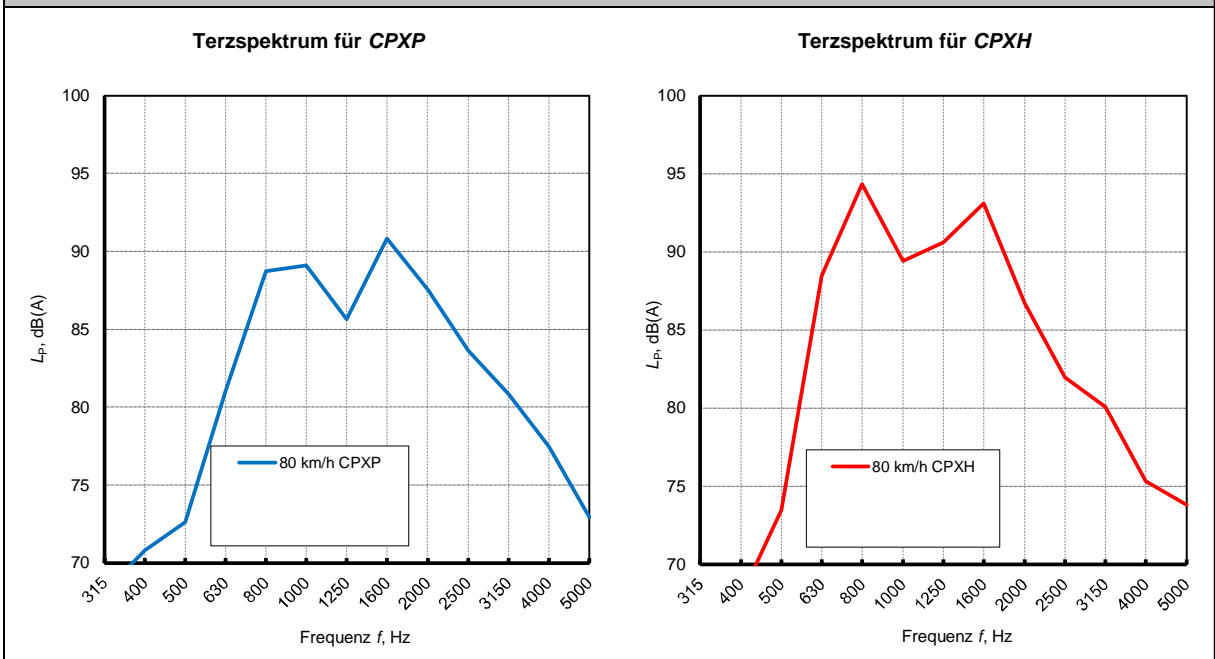
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V 5 | Temperatur Luft, °C | 7 - 8 |
| Länge des Straßenabschnitts | 21,96 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 6 - 10 |
| Richtung | West, km 55,4 - 33,4 rechts | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isental A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



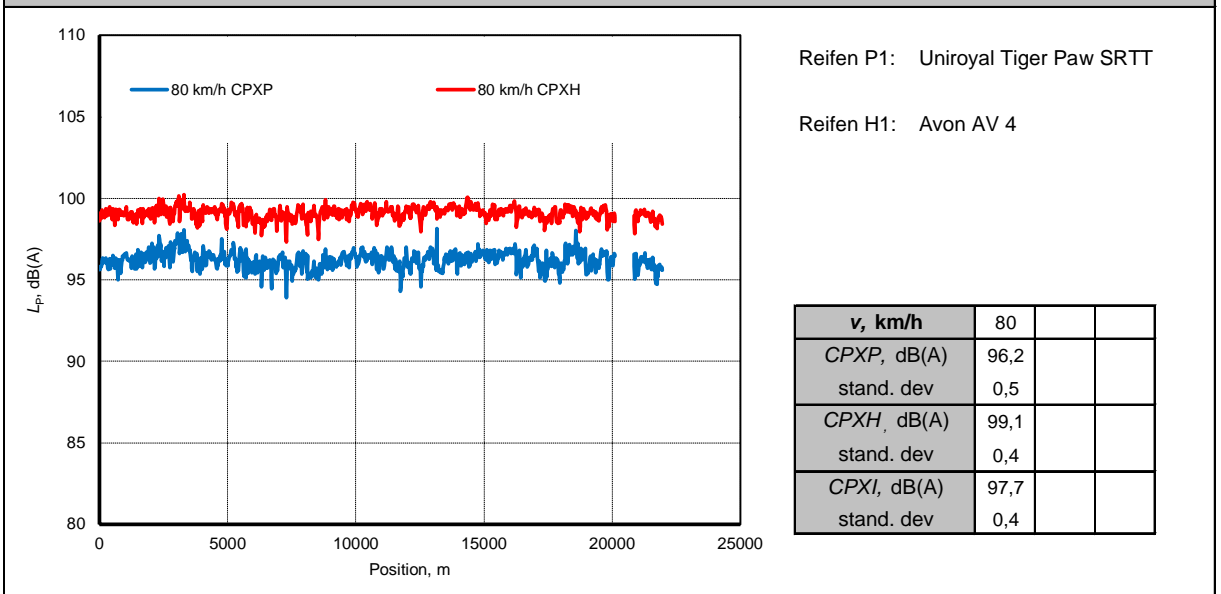
\\S-muc-fs01\allefirmen\MP\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

Close Proximity - Messung nach DIN EN ISO 11819-2

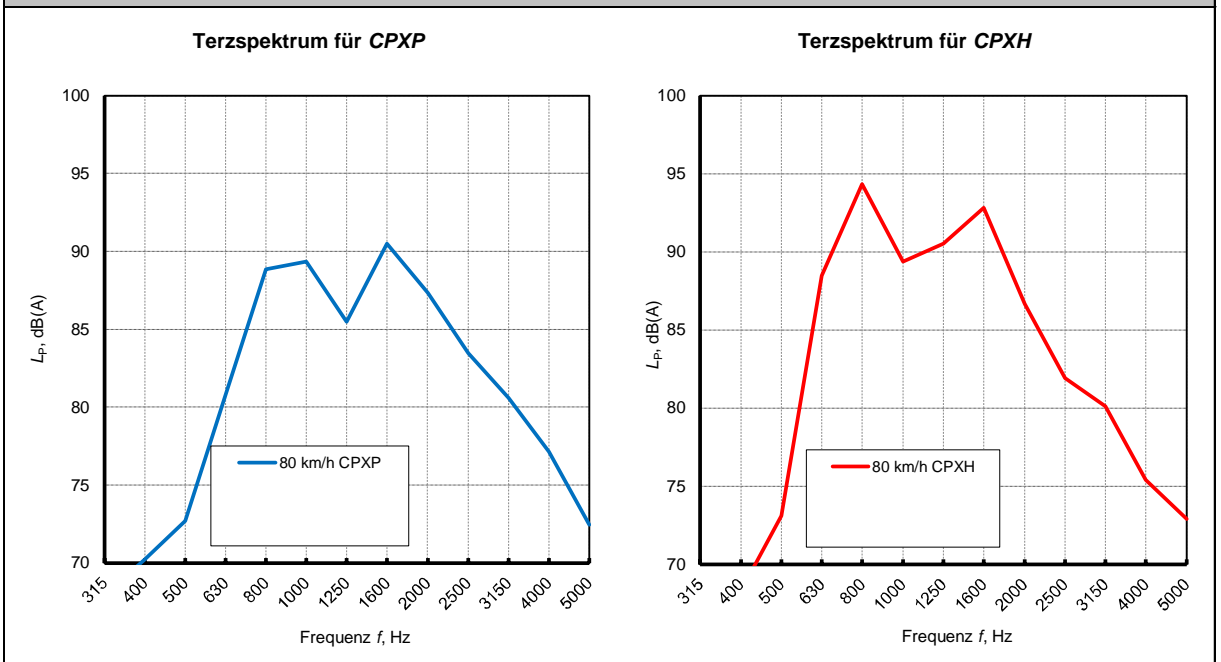
(obligatorische Mikrofonpositionen)

| | | | |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Ort | A94 Isental | Datum | 26. November 2019 |
| Fahrbahnbelag | DSH-V 5 | Temperatur Luft, °C | 7 - 9 |
| Länge des Straßenabschnitts | 21,96 km | Temperatur Fahrbahn, °C | 6 - 12 |
| Richtung | West, km 55,4 - 33,4 links | | |
| Auftraggeber / Bestell-Nr. | ARGE Isental A94 | | |

CPX-WERTE



FREQUENZ-ANALYSE



Anhang B

Beschreibung des CPX-Messverfahrens

\\S-muc-fs01\allefirmen\W\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 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.

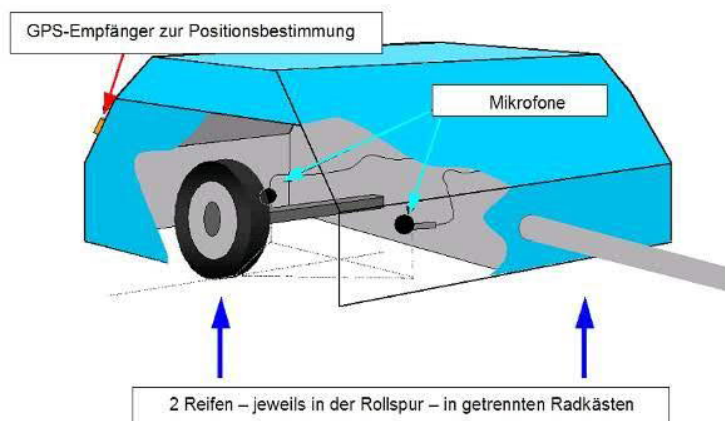


Abbildung 1. Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen mit der Nahfeldmessmethode.



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.

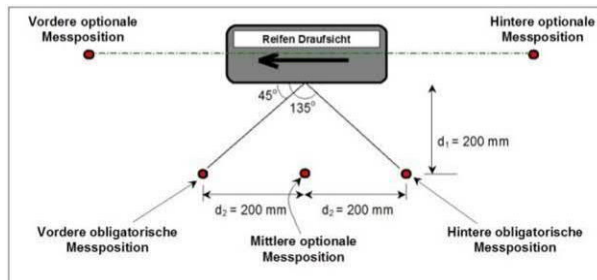


Abbildung 4. Anordnung der Messmikrofone gemäß [CPX1] in der Draufsicht. Die Höhe der Messmikrofone über der Fahrbahnoberkante beträgt 100 mm.

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

$$L_{P, vr, kor} = L_{P, 20 m} + C_T + C_v,$$

$$L_{H, vr, kor} = L_{H, 20 m} + C_T + C_v.$$

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.

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

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

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

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\W\Proj\116\M116966\M116966_04_Ber_1D.DOCX:11. 12. 2019

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 | Mecal | MKII | |
| | Mecal | Mainframe MF02PN | 1005M9430 |
| | Mecal | Controller PQ12WS | 0808M3796 |
| | Mecal | Signalverstärker SC42 | 0706M2702 |
| | Mecal | Messkarte ICPMD422 | 1005M9474 |
| | Mecal | Messkarte ICTMD424 | 0908M4245 |
| | Mecal | Messkarte GPSMD424 | 1205M0616 |
| | Mecal | 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 Prüfnormalen verglichen.

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

20. Februar 2020
M151750/26 Version 1 MNL/DNK

Neubauabschnitte der BAB A94

**Vorabuntersuchung angelehnt an das
SPB-Verfahren vor und nach Installation
eines Tempolimits von 120 km/h**

Bericht Nr. M151750/26

| | |
|------------------------|--|
| Auftraggeber: | Autobahndirektion Südbayern |
| Auftragsnummer: | 4 0007 20 D 121 |
| Bearbeitet von: | Dipl.-Ing. (FH) MBA & Eng. Manuel Männel Dipl. Ing. Ronny Schreiter Dipl.-Ing. (FH) Stefan Schubert |
| Berichtsumfang: | Insgesamt 34 Seiten, davon 15 Seiten Textteil, 5 Seiten Anhang A, 5 Seiten Anhang B, 7 Seiten Anhang C und 2 Seiten Anhang D. |

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