



Leitfaden Strassenlärm - Vollzugshilfe für die Sanierung - Stand: Dezember 2006

Anhang 1c

Version: 11.12.2013

> **Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen**



1. Ziel

Das vorliegende Merkblatt bezweckt die Vereinheitlichung akustischer Belagsgütemessungen an Strassen. Im Vordergrund stehen 3 Ziele:

- a. die Ermittlung der akustischen Belagsgüte im Vergleich zum Referenz-Emissionsmodell für Strassenlärm StL-86+ sowie zum Modell Empa 97.
- b. die Vergleichbarkeit der akustischen Belagsgüte über längere Zeiträume (Alterungsverhalten), und
- c. die Praktikabilität der Messungen sowohl situativ als auch bezüglich personeller und messtechnischer Voraussetzungen.

Das Merkblatt wird periodisch den neuesten Erkenntnissen angepasst.

2. Messverfahren

Nachfolgend werden 3 Messverfahren beschrieben:

- Das Verfahren mittels statistischer Vorbeifahrtmessungen (Statistical Pass-By) nach ISO 11819, kurz SPB (Kapitel 3).
- Das Verfahren mittels Stichproben – Emissions - Messungen (fahrbahnahe Gesamtstrassenlärm-Messung), kurz SEM (Kapitel 4)
- Das Verfahren mittels einer kontinuierlichen Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche (Close Proximity) nach ISO/DIS 11819-2 (noch in Bearbeitung), kurz CPX (Kapitel 5).

Das SPB-Verfahren ist genormt und ergibt präzise Resultate separat für PW's und LW's für eine einzelne Fahrspur. Die Durchführung der Messungen bei Autobahnen ist oft aufwändig, da die Anforderungen an die Messbedingungen hoch sind und bei stark befahrenen Strassen der Pegel einzelner Fahrzeuge schwierig oder nur in Zeiten mit geringem Verkehr (Nacht) zu erfassen ist.

Das SEM-Verfahren ist ein vereinfachtes, nicht normiertes Verfahren. Die Aussagekraft hinsichtlich der akustischen Belagsgüte ist geringer als jene des SPB-Verfahrens. Das Verfahren eignet sich daher nicht für die Feststellung der akustischen Belagsalterung im Rahmen eines Langzeitmonitorings, es eignet sich jedoch zur Erhebung der Gesamtemissionen, sowie der akustischen Wirkung eines Belages unter Berücksichtigung quellennaher Schallausbreitungseffekte. Erfasst und ausgewertet werden die Emissionen des Mischverkehrs (PW und LW zusammen) des gesamten Strassen-Querschnitts (alle Fahrspuren).

Das CPX-Verfahren wird zurzeit normiert. Die ISO-Normentwurf 11819-2 hatte seit dem Jahr 2000 den Status eines Committee Draft (CD). Im Jahr 2011 hat sie dann den Status Draft International Standard (DIS) erhalten. Dieses Dokument ist noch in Bearbeitung. Mit dem Verfahren wird die akustische Belagsgüte für PW's und LW's auf einer Fahrspur flächendeckend erfasst. Mittels Regressionsmodellen werden die gemessenen Pegel in das in der Schweiz gültige Referenz-Emissionsmodell StL-86+ umgerechnet.



Die beiden Verfahren SPB und SEM sind für normale Verhältnisse an Autobahnen (4-spurig) bzw. Innerortsstrecken (2-spurig) ausgelegt. Besondere Verhältnisse (z.B. andere Spurenanzahl, akustisch stark unterschiedliche Beläge je Fahrspur, besondere Verkehrsverhältnisse, aufgrund situativer Gegebenheiten geänderter Mikrofonstandort usw.) sind zu beschreiben und die Messresultate entsprechend zu interpretieren. Das CPX-Verfahren kann in diesen Fällen durch die fahrspurgetrennte und kontinuierliche Erfassungsmethode zusätzliche Erkenntnisse liefern.

Das Messprotokoll für alle auf den Nationalstrassen im Auftrag des ASTRA realisierten SEM, SPB und CPX Messungen muss der betreffenden Filiale des ASTRA in elektronischer Form bis spätestens am 15. November des laufenden Jahres übermittelt werden.



3. Statistische Vorbeifahrtsmethode (SPB)

SPB

3.1 Allgemeines

Die Methode richtet sich im Wesentlichen nach ISO 11819-1. Gemessen wird der L_{max} und der Leq (SEL: Ereignispegel) einzelner ungestörter Fahrzeug-Vorbeifahrten des normalen Verkehrs.

3.2 Auswahl des Messortes

Die Wahl des Messortes richtet sich nach den Vorgaben von ISO 11819-1.

- Die Länge des zu prüfenden Strassenabschnitts beträgt beidseitig des Messquerschnitts mindestens 50m bei Autobahnen und mindestens 30m bei allen anderen Strassentypen.
- Die Strassenoberfläche muss auf dem zu prüfenden Strassenabschnitt homogen sein.
- Im Umkreis von 10m ab der senkrechten Achse zwischen Mikrophon und zu prüfendem Messfahrstreifen dürfen keine grossen reflektierenden Flächen vorhanden sein (Verkleidung mit Absorptionsmaterial ist möglich).
- Zwischen der Lärmquelle (Prüfstrecke ca. 60m bei Kantonsstrassen, ca. 100m bei Autobahnen) und dem Mikrofonstandort darf kein Hindernis vorhanden sein. Messquerschnitte mit Leitplanken sind wenn möglich zu vermeiden.
- Die Steigung der Strasse sollte unter 1% liegen. Bei grösseren Längsgefällen sind die Messresultate entsprechend zu interpretieren.
- Die Fahrzeuge müssen mit konstanter Geschwindigkeit fahren (kein Beschleunigen / Abbremsen wegen Einfahrten, Ausfahrten, Geschwindigkeitsbeschränkungen usw.).

3.3 Mikrophonposition

Für die L_{max} -Messung muss der Abstand zwischen Mitte des zu messenden Fahrstreifens und dem Mikrophon 7.5 m, die Mikrophonhöhe 1.2 m über Fahrbahn betragen. Für die Leq -Messung beträgt der entsprechende Abstand 5.0 m, die Mikrofonhöhe 1.5 m.

Bei Messquerschnitten mit Leitplanken zwischen dem Mikrophon und der Quelle ist für L_{max} und Leq in 2.5m Höhe über Fahrbahn zu messen.

3.4 Anzahl Fahrzeuge

Es sind 100 einzelne PW-Vorbeifahrten und 30 einzelne LW-Vorbeifahrten zu messen. Die Vorbeifahrten müssen repräsentativ sein (keine untypischen Vorbeifahrten).

3.5 Geschwindigkeitsmessung

Die Fahrzeuggeschwindigkeit ist auf Höhe des Mikrophonstandorts mit einem Radargerät zu messen.

3.6 L_{max} -Messung

Von jeder Vorbeifahrt ist der maximale A-bewertete Geräuschpegel mit der Zeitkonstante "Fast" zu messen.

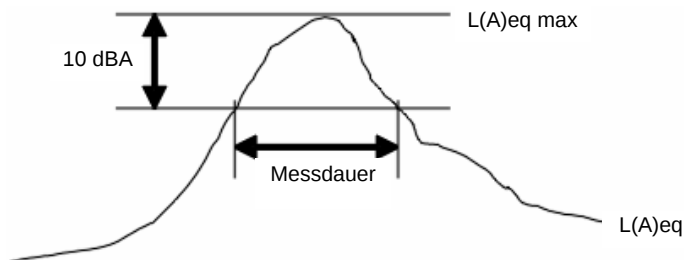
Im Maximum des A-bewerteten Geräuschpegels der Fahrzeugvorbeifahrt sind zusätzlich die Terzspektren mit der Zeitbewertung "Fast" aufzuzeichnen.

3.7 Leq - (SEL) Messung

Gleichzeitig mit der L_{max} -Messung ist von jeder Vorbeifahrt der A-bewertete lärmäquivalente Mittelungspegel Leq in dBA (Fast) resp. der Ereignispegel (SEL) zu messen. Die



Messdauer der einzelnen Leq-Messung umfasst den Zeitabschnitt bis 10 dBA unter den maximalen Pegelwert. Der gemessene Zeitabschnitt darf keine Fremdgeräusche enthalten.



3.8 Tonaufzeichnung

Nach Bedarf kann von jeder gemessenen Vorbeifahrt eine digitale Tonaufnahme (z.B. wav-Datei) erstellt werden, welche nachträgliche Auswertungen zu speziellen Fragestellungen erlaubt. Die Tonaufzeichnung ist fakultativ.

3.9 Messprotokoll

Folgende Daten sind zu dokumentieren und dem Auftraggeber in elektronischer Form abzugeben:

Standortangaben

- Gemeinde, Strassenname/Strassennummer, Strasseneigentümer
- Bezugsnummer RBBS auf der Strasse und Distanz ab Bezugspunkt
- XY-Koordinaten des Mikrofonstandortes
- Genaue Standortbeschreibung (in Worten)
- Belagstyp inkl. Körnung, z.B. MR 8, PA 11
- Einbaujahr des Belags
- Foto der Belagsoberfläche (mit erkennbarem Massstab)

Angaben zur Messung

- Datum
- Zeit Messbeginn und Zeit Messende
- Aufzeichnung der Lufttemperatur und der Belagstemperatur bei Messbeginn und Messende, sowie bei stark ändernden Temperaturen zusätzlich alle 15 Minuten [°C]
- Abstand zwischen Mikrofon und Messfahrbahn/Messfahrestreifen [m]
- Höhe des Mikrofons über Fahrbahn [m]
- Verantwortlicher für die Messung
- Bemerkungen: z.B. von den Anforderungen abweichende Gegebenheiten
- Radargerät: Typ (z.B. Radarpistole, Seitenradar), Modell, Präzision (in % oder km/h)
- Schallpegelmessgerät: Modell, Kalibrator und Mikrofon



Messwerte

- Fahrzeugtyp [N1 oder N2]
- Anzahl der gemessenen Fahrzeugvorbeifahrten, N1 und N2
- Geschwindigkeit [km/h]
- $L(A)_{eq}$ [dBA]
- Messdauer $L(A)_{eq}$ [s]
- $L(AF)_{max}$ [dBA]
- Allenfalls Terzspektren von $L(AF)_{max}$ zwischen 20 und 5000 Hz [dB]

3.10 Datenauswertung

Auswertung mit STL86+ und Empa 97

Die akustische Belagsgüte wird als mittlere Abweichung der Messdaten gegenüber einem Referenzmodell (STL86+ für den L_{eq} , Empa 97 für den L_{max}) ermittelt. Das Ergebnis ist eine Differenz zum Modellwert in dBA.

Abweichung gegenüber STL86+:

Die gemessenen SEL resp. L_{eq} -Werte werden in einen L_{eq} -Stundenwert umgerechnet. Für jede einzelne Vorbeifahrt wird eine Abweichung gegenüber dem Modellwert STL86+ (L_{eq} pro Stunde für gemessene Geschwindigkeit des Fahrzeugs) berechnet. Als Schlussresultat wird die mittlere Abweichung (arithmetisch) gegenüber dem Modell sowie die mittlere Geschwindigkeit getrennt für jede Fahrzeugkategorie angegeben.

Abweichung gegenüber EMPA 97:

Bei der Auswertung mit Empa 97 ist keine Zeitkorrektur notwendig, da L_{max} -Werte zeit-unabhängig sind. Die L_{max} -Vorbeifahrtsspiegel werden einzeln bei der gemessenen Geschwindigkeit mit dem Modell Empa 97 verglichen. Als Schlussresultat wird die mittlere Abweichung gegenüber dem Modell getrennt für jede Fahrzeugkategorie angegeben.

Strassenbeläge werden bei höherer Temperatur leiser. Deshalb wird die mittlere Abweichung gegenüber dem Modell separat für N1 und N2 mit den nachstehenden Werten auf eine Belagstemperatur von 20°C temperaturkorrigiert. Die massgebliche Belagstemperatur wird aus dem Mittelwert der während der Lärmmessung ermittelten Belagstemperaturen ermittelt.

Temperaturkorrektur	N1	N2
	[dBA/°C]	[dBA/°C]
Drainbeläge	-0.050	-0.030
dichte Beläge	-0.030	0
Betonbeläge	-0.010	0

Berechnung:

Modellabweichung (temperaturkorrigiert) = Modellabweichung + (20 - mittlere Belagstemperatur) * Temperaturkorrektur

SPBI-Index nach ISO-Norm 11819-1

Um die Ergebnisse mit jenen der Nachbarländer vergleichen zu können muss parallel zu obiger Auswertung auch eine Auswertung nach der ISO-Norm 11819-1 erfolgen. Danach wird nur der L_{max} ausgewertet. Es werden die 3 Fahrzeugkategorien Personenwagen, zweiachsige LKW und mehrachsige LKW unterschieden. In der Praxis reicht die Berücksichtigung der 2 Kategorien Personenwagen und Lastwagen. Für die Auswertung wird auf die ISO Norm verwiesen.



4. Stichproben-Emissionsmessungen (SEM)

SEM

4.1 Allgemeines

Die vereinfachte Ermittlung der akustischen Belagsgüte mittels Stichproben-Emissions-Messungen kann vor allem dort zur Anwendung kommen, wo das SPB-Verfahren aus Kosten / Nutzengründen nicht angebracht ist oder wegen situativer Gegebenheiten nicht durchgeführt werden kann.

Gemessen wird strassennah der Leq der auf allen Fahrspuren verkehrenden Fahrzeuge, bei gleichzeitiger Verkehrszählung.

4.2 Auswahl des Messortes

Der Messort muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Die Länge des zu prüfenden Strassenabschnitts beträgt beidseitig mindestens 130m bei Autobahnen und mindestens 80m bei allen anderen Strassentypen
- Die Strassenoberfläche muss auf dem zu prüfenden Strassenabschnitt homogen sein.
- Keine reflektierenden Hindernisse auf der dem Messpunkt gegenüberliegenden Seite bis 40 m Entfernung ab Fahrbahnrand (Fahrbahnrand = Belagsende).
- Kein Hindernis zwischen Messpunkt und Quelle.
- Die Steigung der Strasse sollte unter 1% liegen. Bei grösseren Längsgefällen sind die Messresultate entsprechend zu interpretieren.
- Die Fahrzeuge müssen mit konstanter Geschwindigkeit fahren (kein Beschleunigen oder Abbremsen z.B. infolge Kreuzungen, Einfahrten, Ausfahrten, Geschwindigkeitsbeschränkungen usw.).

4.3 Mikrophonposition

Bei Autobahnen beträgt der Abstand zwischen Fahrbahnmitte (Mitte aller Fahrstreifen) und Mikrophon 20 m. In der Praxis kann dieser Abstand aus Sicherheitsgründen nicht immer direkt vor Ort gemessen werden. Bei der Messvorbereitung ist der Abstand Fahrbahnmitte-Fahrbahnrand anhand von Plangrundlagen zu ermitteln und vor Ort der Abstand Fahrbahnrand-Messpunkt abzumessen. Die Mikrophonhöhe beträgt 4 m über Fahrbahn.

Bei Innerortsstrecken beträgt der Abstand zwischen Fahrbahnmitte (Mitte aller Fahrstreifen) und Mikrophon 10 m. Falls dies wegen situativer Gegebenheiten nicht möglich ist, kann der Abstand bis auf 7.5 m verringert werden. Die Mikrophonhöhe beträgt 2 m.

4.4 Anzahl Fahrzeuge und Fahrzeugtypen

Während der Messung ist die Anzahl der vorbeifahrenden Fahrzeuge für jede Fahrtrichtung nach folgenden Kategorien zu erheben:

Fahrzeugkategorie	Fahrzeugtypen
N1	PW (Personenwagen) Kleinbus
N2	Lieferwagen LW (Lastwagen) Car Sattelschlepper Motorräder



Der Anteil der Fahrzeugkategorie N2 während der Messung soll repräsentativen Verhältnissen während der Tagperiode entsprechen. Bei Autobahnen liegen diese Werte in der Regel im Bereich von 10% bis 20%. Bei Kantonsstrassen liegt der N2-Anteil üblicherweise bei 5% bis 10%.

4.5 Leq-Messung

Der lärmäquivalente Mittelungspegel Leq in dBA (Fast) wird während 30 Minuten gemessen. Bei geringem Verkehr (unter 1'000 Fz/h) ist die Messzeit angemessen zu erhöhen.

4.6 Messprotokoll

Folgende Daten sind zu dokumentieren und dem Auftraggeber in elektronischer Form abzugeben:

Standortangaben

- Gemeinde, Strassenname/Strassennummer, Strasseneigentümer
- Bezugsnummer RBBS auf der Strasse und Distanz ab Bezugspunkt
- X/Y-Koordinaten des Mikrofonstandortes
- Genaue Standortbeschreibung (in Worten)
- Belagstyp inkl. Körnung, z.B. MR 8, PA 11
- Einbaujahr des Belags
- Foto der Belagsoberfläche (mit erkennbarem Massstab)

Angaben zur Messung

- Datum
- Zeit Messbeginn und Zeit Messende
- Aufzeichnung der Lufttemperatur und der Belagstemperatur bei Messbeginn und bei Messende [°C]
- Abstand zwischen Mikrofon und Messfahrstreifen [m]
- Höhe des Mikrofons über Fahrbahn [m]
- Verantwortlicher für die Messung
- Bemerkungen: z.B. von den Anforderungen abweichende Gegebenheiten
- Schallpegelmessgerät: Modell, Kalibrator, Mikrofon

Messwerte

- Verkehrsmenge pro Fahrzeugkategorie und Fahrtrichtung
- Messdauer [s]
- Signalisierte Geschwindigkeit [km/h]
- Leq in [dBA Fast]

4.7 Datenauswertung und Beurteilung

Für die Beurteilung wird der gemessene Immissionspegel mit dem nach EMPA-Modell STL-86+ zu erwartenden Immissionspegel verglichen. Im Modell werden die während der Messung erhobenen Verkehrsmengen und die signalisierte Geschwindigkeit eingesetzt. Weicht die effektive Geschwindigkeit offensichtlich, nachweislich und wesentlich von der signalisierten Geschwindigkeit ab, wird die effektive Geschwindigkeit eingesetzt.



5. Close Proximity Methode (CPX)

CPX

5.1 Allgemeines

Mit einem normgerechten Messsystem werden die akustischen Belageigenschaften auf der gesamten Länge eines Strassenabschnittes ermittelt. Die Methode richtet sich im Wesentlichen nach dem Normentwurf ISO/DIS 11819-2. Um die Genauigkeit und die Wiederholbarkeit der Messungen zu erhöhen, wurden die im Normentwurf aufgestellten Anforderungen an das Messsystem, an die Durchführung der Messung sowie an die Datenauswertung nötigenfalls erweitert und verschärft. Eine einheitliche Beurteilung der akustischen Belageigenschaften soll mittels zusätzlicher Vorgaben für die Datenauswertung und für die Gegenüberstellung mit den in der Schweiz verwendeten Emissionsmodellen gewährleistet werden.

5.2 Auswahl der Messstrecke

Folgende Aspekte sind bei der Auswahl der Messstrecke und gegebenenfalls bei der Interpretation der Messresultate zu beachten:

- Die Länge des zu prüfenden Strassenabschnitts beträgt mindestens 100 m. Falls der zu prüfende Abschnitt eine Länge von lediglich 20 – 100 m aufweist, ist die Anzahl der Messfahrten aus Gründen der Reproduzierbarkeit entsprechend zu erhöhen. Die Gesamtlänge der ausgewerteten Messfahrten auf dem zu prüfenden Strassenabschnitt hat mindestens 200 m zu betragen.
- In einem seitlichen Abstand zu den Messreifen von mindestens 0.5 m hat die Strassenoberfläche wenn möglich gleiche oder ähnliche akustische Eigenschaften aufzuweisen, wie die zu prüfende Reifenspur.
- Kurvenfahrten können gegenüber Geradeausfahrten zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen. Bei Kurvenradien von über 250 m bei 50 km/h und von über 500m bei 80 km/h sind keine wesentlichen Beeinflussungen der Messergebnisse zu erwarten. Bei der Interpretation der Messergebnisse sind allfällige kurvenbedingte Verfälschungen der Messergebnisse entsprechend zu berücksichtigen.
- Eine Beeinflussung der Messresultate durch externe Störgeräusche ist während den Messungen zu markieren und wenn möglich von der Beurteilung auszuschliessen. Gegebenenfalls ist die Messfahrt zu wiederholen.

5.3 Anforderungen an das Messsystem

Das Messsystem hat den in der ISO/DIS 11819-2 festgelegten Eigenschaften betreffend Layout, Achsenlast und Reifeninnendruck zu genügen. Grundsätzlich sind geschlossene 2-Rad-Anhänger-Messsysteme zu verwenden. Selbstfahrende Messsysteme und einrädri-ge Messsysteme sind nicht zugelassen. Die Verwendung von offenen 2-Rad-Anhänger-Messsystemen ist einzig unter folgenden Bedingungen zulässig:

- Die Messstrecke wurde für den freien Verkehr abgesperrt.
- Eine Beeinflussung der Messergebnisse durch andere Störgeräusche, wie zum Beispiel Fluglärm oder Baustellenlärm, kann ausgeschlossen werden.
- Eine Beeinflussung der Messergebnisse durch messsystemeigene Störgeräusche kann ausgeschlossen werden (der Nachweis hierfür ist mit dem unten beschriebenen Test „Einfluss messsystemeigener Störgeräusche“ zu vollbringen).

Das verwendete Messsystem hat ausserdem die in der ISO/DIS 11819-2 beschriebenen Kriterien betreffend Beeinflussung der Messergebnisse durch geräteeigene Schallreflexionen sowie durch interne und externe Störgeräusche zu erfüllen. Die hierzu durchzuführenden Tests sind im erwähnten Dokument beschrieben. Die Ergebnisse folgender Tests sind zusammen mit detaillierten Angaben über die verwendeten Geräte und den ange-



wandten Verfahren dem Messbericht beizulegen:

- Test für den Einfluss geräteeigener Schallreflexionen (gegenüber der Messung im freien Feld): Der Einfluss geräteeigener Schallreflexionen wird hierbei für die Terzbänder 315Hz bis 4000Hz einzeln ermittelt. Um die Vergleichbarkeit zwischen Messergebnissen unterschiedlicher Messsysteme zu gewährleisten, darf dieser Einfluss maximal 3.0 dB pro Terzband betragen. Die mit einem Messsystem gemessenen Schalldruckpegel sind entsprechend pro Terzband zu korrigieren. Korrigiert werden Abweichungen ab 0.1 dB.
Der Test für den Einfluss geräteeigener Schallreflexionen hat mindestens einmal jährlich zu erfolgen, die Korrekturen für die einzelnen Terzbänder sind entsprechend anzupassen.
- Test für den Einfluss messsystemeigener Störgeräusche (nur bei der Verwendung von offenen Anhänger-Messsystemen durchzuführen): Um die Vergleichbarkeit zwischen Messergebnissen unterschiedlicher Messsysteme zu gewährleisten, darf dieser Einfluss maximal 1.0 dB (Terzbänder 315Hz bis 4000Hz) zu betragen.
- Test für Empfindlichkeit gegenüber Störgeräuschen des übrigen Strassenverkehrs. Dieser Einfluss darf maximal 1.0 dB (Terzbänder 500Hz bis 4000Hz), respektive 2.0 dB (Terzbänder 315Hz bis 400Hz) betragen.

5.4 Testreifen

Die Standards für die Testreifen wurden in der zuständigen ISO Normenkommission überarbeitet (Reduktion der Anzahl Testreifen von vier Testreifen auf zwei Testreifen). Die ISO empfiehlt die Verwendung folgender Testreifen:

- Uniroyal Standard Reference Test Tyre (Tigerpaw SRTT) 225/60-R16 (Testreifen für Personenwagen)
- Avon AV4 195-R14C (Testreifen für schwere Fahrzeuge).

Diese Reifen sind auf Felgen mit einer Breite von 5 ½ Inch (139.5 mm) zu montieren.

Reifen altern aufgrund physikalischer und chemischer Prozesse, dadurch ändert sich die Gummihärte. Da die Gummihärte einen wesentlichen Einfluss auf die gemessenen Schallpegel hat, sind für die Messungen möglichst fabrikneue Reifen zu verwenden. Diese Reifen sind vor dem ersten Messeinsatz über eine Distanz von mindestens 100 km einzufahren. Um die Reifenalterung zu minimieren, sind die Testreifen auf folgende Weise zu lagern:

- In einem trockenen und kühlen, mässig belüfteten Lagerraum (0-15 °C),
- vor Licht und Sonne geschützt (geschützt vor UV-Strahlung),
- keine ozonbildenden Geräte wie z.B. Leuchtstoffröhren, Quecksilberdampflampen, Elektromotoren dürfen im Lagerraum vorhanden sein,
- aufrechte Lagerung der Reifen z.B. in Regalen, durch regelmässiges drehen der Reifen kann Deformation verhindert werden.

Spätestens zwei Jahre nach Ingebrauchnahme müssen die Testreifen ersetzt werden. Produktionsjahr, Kaufdatum, Gebrauchsdauer und Lagerung der eingesetzten Reifen sind in jedem Fall zu deklarieren.

5.5 Mikrofonpositionen

Für die Ausrichtung der Mikrofone wird auf den Normentwurf ISO/DIS 11819-2 verwiesen. Es sind die darin beschriebenen inneren Mikrofonpositionen (obligatorischen Mikrofonpositionen) zu verwenden.

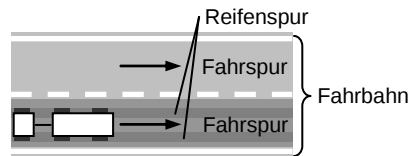
Für die Messungen sind Mikrofone der Klasse 1 zu verwenden. Während den Messungen sind die Mikrofone mit einem Windschutz zu versehen. Die Mikrofonpositionen sind in



regelmässigen Abständen zu überprüfen und mindestens nach jedem Reifenwechsel oder nach jeder Mikrofonkalibrierung neu einzustellen.

5.6 Messvorgang

Grundsätzlich ist jede Reifenspur mit den Teststreifen für Personenwagen und für schwere Fahrzeuge je mindestens einmal zu befahren. Je nach Fragestellung und Genauigkeitsanspruch wird die Anzahl Befahrungen entsprechend erhöht. Für Forschungsfragestellungen werden mindestens zwei Befahrungen, für Messungen im Innerortsbereich mindestens eine Befahrung je Teststreifen und Reifenspur empfohlen. Auf Autobahnen kann unter Annahme von Homogenität im Fahrspurquerschnitt auf eine vollständige Erhebung beider Reifenspuren verzichtet werden. Die Messwerte für Personenwagen und schwere Fahrzeuge werden demnach je nur in einer einzelnen Reifenspur erhoben.



Die Messung hat bei konstanten Geschwindigkeiten von 50 km/h oder 80 km/h zu erfolgen, nachfolgend Referenzgeschwindigkeiten genannt. Während den Messungen ist wann immer möglich die Referenzgeschwindigkeit präzise einzuhalten. In Ausnahmesituationen (z.B. im Beschleunigungs- bzw. Abbremsbereich bei Kreuzungen, bei Kurvenfahrten innerorts und dergleichen) sind Abweichungen von der Referenzgeschwindigkeit von maximal $\pm 20\%$ gestattet. Ausserhalb dieses Toleranzbereiches dürfen keine Messwerte (auch keine geschwindigkeitskorrigierten Messwerte) ausgegeben werden.

Um die Beeinflussung der Messresultate durch Temperatureffekte zu minimieren, ist die für die Messungen zulässige Lufttemperatur auf minimal 5 °C und maximal 30 °C beschränkt. Optimalerweise werden Messungen bei einer Lufttemperatur um 20 °C durchgeführt.

Um die Wiederholbarkeit von Messungen nicht durch Fehler bei der Georeferenzierung der Messwerte zu beeinträchtigen, sind die einzelnen Messwerte mit einem GPS Signal zu versehen. Bei Messstrecken mit einer Länge von unter 700 m ist die Georeferenzierung der Messwerte mittels Triggerung (am Anfang und am Ende der Messstrecke) und Fahrgeschwindigkeit erlaubt.

Alle Messsegmente welche von Störgeräuschen beeinflusst sind, sind wann immer möglich aus den Messergebnissen zu entfernen.

Vor der eigentlichen Messung müssen die Teststreifen auf Betriebstemperatur gebracht werden. Empfohlen wird eine Einfahrzeit von mindestens 15 Minuten.

5.7 Geschwindigkeitsmessung

Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt in der Regel mittels Aufzeichnung des Geschwindigkeitssignals aus dem CAN-Bus-System des Zugfahrzeugs und ist mittels eines Zweitverfahrens zu überprüfen und zu kalibrieren. Der maximal erlaubte Fehler für die Geschwindigkeitsmessung beträgt $\pm 2\%$.

5.8 Temperaturmessungen

Das Erfassen der Lufttemperatur während den Messungen ist zwingend, da die Lufttemperatur für die Korrektur der Messergebnisse verwendet wird. Empfohlen wird das kontinuierliche Erfassen der oberflächenunbeeinflussten Lufttemperatur mit dafür geeigneten Temperatursensoren und Datenloggern. Optional ist das zusätzliche Erfassen der Belags- und Reifentemperatur mittels einer berührungslosen Infrarotmessung. Der maximal erlaubte Fehler für die Temperaturmessung beträgt ± 1 °C.



5.9 Schallpegel-Messung

Die Messung der A-bewerteten Geräuschpegel und Terzspektren (Frequenzbereich zwischen 315 Hz und 4000 Hz), sowie deren Geschwindigkeitsnormalisierung und Aggregation über Mikrofonpositionen, Messsegmente und Messstrecken hat nach den im Normentwurf ISO/DIS 11819-2 beschriebenen Verfahren zu erfolgen.

Die Messung der Geräuschpegel hat mit einem dafür geeigneten Messgerät der Klasse 1 zu erfolgen. Vor Beginn der Messungen sind die Messmikrofone mit einem Akustikkalibrator der Klasse 1 zu kalibrieren. Nach längeren Messpausen und bei erhöhten Genauigkeitsansprüchen ist die Kalibrierung entsprechend zu wiederholen.

5.10 Datenauswertung im Bezug zum Modell StL-86+

Um die akustische Güte der Beläge als Abweichung gegenüber dem Referenzbelag des schweizerischen Referenz-Emissionsmodells StL-86+ angeben zu können, wurden die mit dem CPX-Verfahren erhobenen Werte mit dem SPB-Verfahren (statistical-pass-by) korreliert. Die für die Umrechnung erstellten Regressionsmodelle wurden für die Fahrzeugkategorien PW (N1) und LKW (N2), sowie für die CPX-Referenzgeschwindigkeiten 50 km/h und 80 km/h separat erhoben und basieren je auf mindestens 25 SPB-Messungen, die gemäss Kapitel 3 durchgeführt worden sind. Diese Leq-basierten SPB-Messungen wurden auf Strassenabschnitten auf in der Schweiz repräsentativen Belägen bei üblichen Geschwindigkeitsregimes durchgeführt.

Die Umrechnung der CPX-Indexwerte CPX_P und CPX_H in StL-86+ Werte hat mit folgenden Regressionsgleichungen zu erfolgen:

CPX-Referenzgeschwindigkeit 50 km/h:

$$- \text{PW (N1):} \quad KB_{50 \text{ km/h, PW}} = 1.2468 \cdot CPX_P - 112.30 \quad (1.5.2012)$$

$$- \text{LKW (N2):} \quad KB_{50 \text{ km/h, LKW}} = 1.3617 \cdot CPX_H - 126.16 \quad (1.5.2012)$$

CPX-Referenzgeschwindigkeit 80 km/h:

$$- \text{PW (N1):} \quad KB_{80 \text{ km/h, PW}} = 1.5268 \cdot CPX_P - 148.31 \quad (1.5.2012)$$

$$- \text{LKW (N2):} \quad KB_{80 \text{ km/h, LKW}} = 1.3954 \cdot CPX_H - 135.86 \quad (1.5.2012)$$

mit:

KB = Korrektur Belageinfluss gegenüber dem Referenz-Emissionsmodell StL-86+ in Abhängigkeit der Fahrzeugkategorie und CPX Referenzgeschwindigkeit

CPX_P = CPX-Indexwert für Personenwagen (passenger cars)

CPX_H = CPX-Indexwert für schwere Fahrzeuge (heavy vehicles)

Die Gültigkeit der zur Umrechnung verwendeten Regressionsmodelle wurde statistisch überprüft. Die Ermittlung der Modelle ist im Anhang 1d erklärt und dokumentiert.

Die Bestimmtheitsmasse (R^2) der Umrechnungsmodelle für die CPX-Referenzgeschwindigkeit 50 km/h (Stichprobengrösse $n=67$ für PW und $n=35$ für LKW) betragen 94% für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (N1) und 64% für die Fahrzeugkategorie LKW (N2). Für die CPX-Referenzgeschwindigkeit 80 km/h (Stichprobengrösse $n=37$ für PW und LKW) betragen die Bestimmtheitsmasse (R^2) 87% für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (N1) und 89% für die Fahrzeugkategorie LKW (N2).

Das 95%-Vertrauensintervall der Umrechnungsmodelle für die CPX-Referenzgeschwindigkeit 50 km/h liegt zwischen ± 0.2 und ± 0.8 dBA für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (N1) und zwischen ± 0.3 und ± 1.4 dBA für die Fahrzeugkategorie



LKW (N2). Das 95%-Vertrauensintervall der Umrechnungsmodelle für die CPX-Referenzgeschwindigkeit 80 km/h liegt zwischen ± 0.5 und ± 1.2 dBA für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (N1) und zwischen ± 0.3 und ± 0.9 dBA für die Fahrzeugkategorie LKW (N2).

Die verwendeten Verfahren und Ergebnisse hierzu werden im Anhang 1d näher erläutert.

Um die Güte der Regressionsmodelle zu erhöhen und mögliche Veränderungen des Fahrzeugmixes zu berücksichtigen, werden diese Regressionsmodelle in zeitlich regelmässigen Abständen mit zusätzlichen Wertepaaren ergänzt. Die Regressionsgleichungen der erweiterten Umrechnungsmodelle werden jeweils an dieser Stelle aktualisiert.

Umrechnung der CPX-Werte auf einen SPB Messwert

Um die Messresultate der beiden Verfahren SPB und CPX an einem bestimmten Fahrbahnquerschnitt einander gegenüber stellen zu können, muss am entsprechenden Punkt basierend auf den CPX-Indexwerten ein Prognosewert für eine Leq-basierte SPB Messung berechnet werden. Bei der Berechnung des SPB Prognosewertes sollten aufgrund der im Vergleich zur CPX Messung grösseren Distanz des Mikrofons zur Schallquelle, neben dem direkt am Fahrbahnquerschnitt liegenden CPX Messsegment mindestens die zwei benachbarten 20m-Messsegmente mitberücksichtigt werden.



5.11 Messprotokoll

Folgende Daten sind zu dokumentieren und dem Auftraggeber in elektronischer Form abzugeben:

5.11.1 Dokumentation der Messwerte

Standortangaben

- Gemeinde(n), Strassenname(n), Strasseneigentümer
- Karte der geografische Lage der Messstrecke(n)
- Länge der Messstrecke(n)

Angaben zur Messung

- Datum
- Zeit Messbeginn und Zeit Messende
- Verantwortlicher für die Messung
- Angaben zu den eingesetzten Messreifen (Typ, Produktionsjahr, Kaufdatum, Gebrauchsdauer, Lagerung)
- Belagstyp inkl. Körnung und Einbaujahr des Belages (falls Messung auf einem einzelne Belagsabschnitt erfolgte)
- Aufzeichnung der Lufttemperatur und der Belagstemperatur als Mittelwert über die Messung
- Bemerkungen: z.B von den Anforderungen abweichende Gegebenheiten
- Liste der verwendeten Messgeräte
- Prüfberichte zum Messsystem (siehe Abschnitt 5.3)

Messwerte (pro 20m-Messsegment)

- die messsystemkorrigierten und geschwindigkeitsnormierten Pegel (A-bewertet), sowie die Pegel für die Terzbänder 315Hz bis 4000Hz, pro Testreifen/Fahrzeugtyp und pro Reifenspur.
- die messsystemkorrigierten und geschwindigkeitsnormierten CPX-Indexwerte CPX_P (passenger cars / Personenwagen) und CPX_H (heavy vehicles / schwere Fahrzeuge), mit und ohne Temperaturkorrektur (Temperaturkorrekturfaktor $-0.05 \text{ dBA/}^\circ\text{C}$, falls keine genaueren Werte vorliegen);
- die für die Geschwindigkeitskorrektur massgebende Fahrgeschwindigkeit;
- die für die Temperaturkorrektur massgebende Lufttemperatur.
- Anfangs- und Endkoordinaten (Koordinatensysteme WGS 84 oder CH1903+)

5.11.2 Dokumentation der Messresultate zum Modell StL-86+

Resultate der Auswertung (pro 20m-Messsegment)

- die mittels Regressionsmodellen umgerechneten akustischen Belagsgütwerte für die Fahrzeugkategorien Personenwagen (N1) und LKW (N2) als Abweichung zum StL-86+ Modell (Umrechnung ist oben beschrieben), mit und ohne Temperaturkorrektur, mit und ohne Geschwindigkeitskorrektur;
- die akustischen Belagsgütwerte für den Mischverkehr (optional);
- die Standardabweichung für die Messpegel innerhalb eines Strassenabschnittes zwecks Beurteilung der akustischen Homogenität (optional).