



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

Dokumentation

Ausgabe 2017 V1.00

CPX-Messungen auf Nationalstrassen

Durchführung, Auswertung und Verwendung

ASTRA 88010

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Autor(en) / Arbeitsgruppe

Yves Pillonel	(ASTRA SSI, Vorsitz)
Marguerite Trocmé	(ASTRA SSI)
Erik Bühlmann	(Grolimund + Partner AG, Bern)
Tina Saurer	(Grolimund + Partner AG, Bern)
Sebastian Egger	(Grolimund + Partner AG, Bern)

Begleitkommission

Frank Abbühl	(ASTRA, FU)
Maria Balmer	(ASTRA, FU)
Patrick Lochmatter	(ASTRA, EP. F2)
Michael Gerber	(BAFU)
Laurent Graber	(B+S AG)

Übersetzung (Originalversion in Deutsch)

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards und Sicherheit der Infrastruktur SSI
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch herunter geladen werden.

© ASTRA 2017

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
1	Einleitung	5
1.1	Kontext & Problemstellung	5
1.2	Zweck des Dokuments	5
1.3	Geltungsbereich	6
1.4	Normen und Grundlagendokumente	6
1.5	Adressaten	7
1.6	Inkrafttreten und Änderungen	7
2	Forschungsstand	8
3	Fragestellungsabhängiges Vorgehen	10
4	Ermittlung akustischer Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten	11
4.1	Durchführung der Messung	11
4.2	Datenauswertung und Umrechnung zu StL-86+	12
4.3	Datenaufbereitung und Abgabe	14
4.3.1	Berechnung akustischer Belagsgütewerte Mischverkehr	16
4.3.2	Farbliche Darstellung 20m Segmente	16
4.3.3	Bildung akustisch homogener Abschnitte	17
4.3.4	Berechnung Differenz zwischen Richtungsfahrbahnen	19
4.3.5	Datenabgabe	20
4.4	Anwendung in der Praxis	20
5	Monitoring Belag	21
5.1	Durchführung der Messungen	21
5.2	Empfohlenes Messprogramm	22
5.3	Datenauswertung	22
5.4	Datenaufbereitung und Abgabe	24
	Anhänge	27
	Glossar	43
	Literaturverzeichnis	45
	Auflistung der Änderungen	47

1 Einleitung

1.1 Kontext & Problemstellung

Mit der CPX-Methode (close proximity) werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche im Nahfeld ermittelt. Die Messungen kommen beim ASTRA mehrheitlich im Rahmen von Lärmschutzprojekten, bei schalltechnischen Monitoring zur Überprüfung der akustischen Güte des Strassenbelages sowie bei Forschungsprojekten zu lärmarmen Strassenbelägen zur Anwendung.

Im Zuge der Aktualisierung des Leitfadens Strassenlärm wurde die Methode zur Durchführung von CPX-Messungen beschrieben (Anhang 1c, erstellt im Jahr 2009, Version 31.7.2013 [1]). Dieses Dokument beruht auf dem damaligen Stand der Normierung (ISO CD 11819-2:2000 [5]). Unterdessen sind zum CPX-Verfahren neue Normen erschienen (ISO FDIS 11819-2:2016 [6], ISO/TS 11819-3:2016 [7], ISO/DTS 13471:2016 (E) [8]). Zudem wurden im Auftrag des ASTRA diverse Projekte durchgeführt, die einzelne Aspekte zur Datenerhebung und Datenauswertung (ASTRA 2010/014 Forschungsprojekt EP 5 [11]), Datenaufbereitung und Präsentation (Projekt Lärmschutzprojekte ASTRA Filialen - Projektbegleitende Forschung Akustik [12]) untersuchten. Dementsprechend weisen die bisherigen Dokumente/Leitfäden und die neuen Normen Unterschiede auf.

CPX-Daten wurden bereits in vielen Projekten zur Bestimmung der Emissionen und Festlegung von Belags- und Modellkorrekturen verwendet. Dabei kamen unterschiedliche Datenaufbereitungsmethoden zur Anwendung, z.B. die Bildung von 100m-Datensegmenten mit klassierten Werten, die Bildung von akustisch homogenen Abschnitten mittels statistischen Verfahren wie SNHT (Merki et al., 2014 [13]) oder Medianglättung. Die Herausforderung bei der Datenaufbereitung ist, dass die Daten für eine einfache Handhabung bei der Lärmemissionsmodellierung möglichst stark aggregiert und gleichzeitig die akustische Variabilität der Strassenbeläge mit berücksichtigt werden sollte. Zudem wird ein einheitliches Verfahren zur Aggregation der Daten über verschiedene Fahrspuren und Richtungsfahrbahnen benötigt. Weiterhin fehlt ein Standard wie Daten für unterschiedliche Fragestellungen zu erheben und zu verwenden sind.

Zusammenfassend ergeben sich die drei folgenden Problemstellungen:

- (1) Es ist eine Diskrepanz zwischen den bisherigen Dokumenten/Leitfäden und den neuen Normen entstanden;
- (2) In den neuen Normen wurden einige Aspekte zum Messverfahren offen gelassen, so dass eine Anleitung zur einheitlichen Durchführung von Messungen auf Nationalstrassen derzeit fehlt;
- (3) Momentan fehlen Spezifikationen für die Aufbereitung von Messergebnissen, was eine Voraussetzung für eine einheitliche Verwendung von Messdaten in Projekten darstellt.

1.2 Zweck des Dokuments

Das vorliegende Dokument führt die neuen Erkenntnisse zusammen und legt die Methode zur Durchführung und Auswertung von CPX-Messungen auf Nationalstrassen fest. Die Dokumentation stellt sicher, dass CPX-Messungen und deren Auswertungen auf eine einheitliche und standardisierte Art und Weise erfolgen. Zudem wird eine fragestellungsspezifische Handhabung zur Datenaufbereitung und Datenabgabe empfohlen.

Das vorliegende Dokument ist kochbuchartig aufgebaut. Je nach Fragestellung kann direkt auf das entsprechende vollständige Kapitel zugegriffen werden (siehe Kapitel 3).

(1) Ermittlung akustischer Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten

Ziel: Empfehlung zur einheitlichen Durchführung, Auswertung und Aufbereitung von CPX-Messungen zur Verwendung in Projekten. Die Daten sollen so aufbereitet und aggregiert werden, dass die Ergebnisse als Hilfe für die Bestimmung von Belagskorrekturen im Rahmen der Lärmermittlung verwendet werden können. Eine detaillierte Anleitung für Ingenieurbüros zur Bestimmung und Verwendung der KB-Werte wird nicht angestrebt. Diese ist dem Fachhandbuch Trasse / Umwelt [10] und dem Leitfaden Strassenlärm [2] zu entnehmen.

(2) Monitoring Belag

Ziel: Empfehlung zur einheitlichen Durchführung und Auswertung von CPX-Messungen zur detaillierten Bestimmung akustischer Eigenschaften von Belägen und deren Veränderungen über Zeit. Die Dokumentation enthält ebenfalls einen Vorschlag für ein sinnvolles mehrjähriges Programm von CPX-Messungen für herkömmliche und neuartige Bauweisen.

1.3 Geltungsbereich

Die im Dokument ausgewiesenen Empfehlungen gelten für die Durchführung und Auswertung von CPX-Messungen auf Nationalstrassen. Grundsätzlich können diese Empfehlungen bei CPX-Messungen auf anderen Strassen genutzt werden, unterliegen dann jedoch der Verantwortung von Kantonen und Gemeinden. Eine detaillierte Auflistung der Vor- und Nachteile sowie der spezifischen Eignung der verschiedenen Messverfahren CPX, SPB (statistical pass-by) und SEM (Stichprobenemissionsmessungen) zur Beantwortung der unterschiedlichen Fragestellungen ist dem Anhang IV zu entnehmen.

1.4 Normen und Grundlegendokumente

Grundsätzlich ist bei Normen jeweils die aktuelle Version anzuwenden. Sämtliche unten aufgeführten Normen können unter bei den jeweiligen Institutionen bestellt werden.

Abb. 1.1 Normen und Grundlegendokumente

Dokument	Publikationsjahr	Thema	Inhalte
ISO/FDIS 11819-2 [6]	2016	CPX-Norm	Anforderungen Messsysteme, Anforderungen Messverfahren und Messablauf, Korrekturverfahren, Unsicherheitsabschätzung
ISO/TS11819-3 [7]	2016	CPX Spezifikation Teststreifen	Anforderungen Inbetriebnahme, Lagerung und Nutzungsdauer, Anforderungen an Dokumentation, Shore-Härtekorrektur
ISO/DTS 13471-1 [8]	2016	CPX Temperaturkorrektur	Belagskategorie- und geschwindigkeitsabhängige Temperaturkorrektur
Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c [1]	2013	Umrechnung CPX-SPB	Umrechnungsmodell CPX Referenzgeschwindigkeit 50 km/h und 80 km/h Fahrzeugkategorien Personewagen (N1) und LKW (N2)

1.5 Adressaten

Die vorliegende Dokumentation richtet sich an alle AnwenderInnen, unabhängig von der Erfahrung im Umgang mit belagsakustischen Erhebungen und Auswertungen. Dies sind einerseits das ASTRA (Erhaltungsplaner und Projektleiter) und andererseits die Ingenieurbüros, welche Lärmmessungen durchführen und Lärmprojekte bearbeiten.

1.6 Inkrafttreten und Änderungen

Dieses Dokument tritt am 20.09.2017 in Kraft. Die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 47 dokumentiert.

2 Forschungsstand

Die Normenkommission ISO TC43/SC1/WG33 beschäftigt sich seit den 90er Jahren mit der Normierung des CPX-Verfahrens. Das im Jahre 2000 verfasste kommissionsinterne Dokument (ISO 3rd CD 11819-2 [5]) galt lange als massgebender Standard für CPX-Messungen, obwohl es nie offiziell publiziert wurde. Kurz vor der geplanten Veröffentlichung des Normentwurfs verschwanden die in der Norm vorgesehenen Messreifen vom Markt. In der Folge richtete sich die Arbeit der Kommission auf die Auswahl neuer, langfristig verfügbarer Messreifen (z.B. Schwanen et al. (2007) [14]). Als das CPX-Messverfahren ab 2008 auch vermehrt in der Schweiz zur Anwendung kam, konnte bereits auf die neuen Messreifen zurückgegriffen werden. Der im Jahre 2013 revidierte Anhang 1c zum Leitfaden Strassenlärm [1] basiert zwar auf der 2000 verfassten ISO 3rd CD 11819-2, legt aber die von der Kommission neu ausgewählten Messreifen als Standard in der Schweiz fest. Die Normenkommission ISO TC43/SC1/WG33 hat aufgrund der unterdessen gesammelten Erfahrungen die Messmethode weiter präzisiert und nach einem längeren Revisionsprozess im Jahr 2016 umfassende Normendokumente veröffentlicht (ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/CD TS11819-3 [7], ISO/DTS 13471-1 [8]). Aufgrund des langen Veröffentlichungsprozesses und der, seit den 90er-Jahren im Hinblick auf die CPX-Methode gewonnen umfassenden Erkenntnisse, existiert eine Diskrepanz zwischen den alten Dokumenten und den neu veröffentlichten Normen.

Die Vielfalt unter den Messsystemen ist trotz der Normierung der wichtigsten technischen Aspekte international gross. Es gibt offene und geschlossene Anhängersysteme mit Zugfahrzeug sowie Systeme bei denen die Messung direkt am Fahrzeug erfolgt. Eine wichtige Prämisse für jedes System ist, es bestmöglich vor externen Störgeräuschen, messsystemeigenen Antriebsgeräuschen oder Windgeräuschen abzuschirmen und einen Einfluss auf die Messresultate zu verhindern. Bei offenen Anhängern und selbstfahrenden Systemen werden durch Windgeräusche zwar mehrheitlich keine Probleme registriert (Tonin et al. (2015) [15], Anfosso-Lédée & Kragh (2013) [16]), allerdings ist bei Messungen unter freiem Verkehr – wie auf Nationalstrassen üblich – mit Störeinflüssen zu rechnen. Um Störgeräusche zu vermeiden, wird deshalb empfohlen unter freiem Verkehr geschlossene Systeme zu verwenden (ISO/FDIS 11819-2 [6]). Die Wahl der Messreifen und die Anwendung der Norm ISO/CD TS11819-3 [7] zur Korrektur von Einflüssen durch Temperatur und Gummihärtigkeit ist zwar freiwillig, bei der Durchführung des CPX-Verfahrens jedoch von zentraler Bedeutung, da grosse Unterschiede zwischen unterschiedlichen Reifen festgestellt wurden (Hammer et al. (2016) [17], Bühlmann et al. (2013) [18], Sandberg & Ejsmont (2007) [19], Sandberg & Glaeser (2008) [20]). In der ISO/FDIS 11819-2 [6] wird daher die Anwendung der Norm ISO/CD TS11819-3 empfohlen, welche für die dort spezifizierten Referenzmessreifen Korrekturen für Auswirkungen von Gummihärtigkeit- und Temperatureffekten bereitstellt. Unkorrigiert, bilden diese Einflüsse eine wesentliche Fehlerquelle bei Messungen mit dem CPX-Verfahren (z.B. Bühlmann et al. (2013) [18], Bühlmann & Ziegler (2011) [21], Bühlmann & van Blokland (2014) [22]). Ausserdem wird angenommen, dass die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen in der Lateralposition je nach Fahrspurwahl variieren können. Zum Erreichen der grösstmöglichen Genauigkeit und Repräsentativität empfiehlt die aktuelle Norm ISO/FDIS 11819-2 [6] daher die Durchführung der Messung in den beiden Radspuren. Um die Vergleichbarkeit von CPX-Messungen auf Nationalstrassen zu gewährleisten, sollten diese Aspekte zum Messsystem, Messprozedur und Datenauswertung präzisiert werden.

Ein weiterer Bedarf zur Präzisierung betrifft die Umrechnung der CPX-Nahfeldpegel in Werte, die den Bezug zu nationalen Emissionsmodellen herstellen. Üblicherweise wird dazu eine Korrelation zwischen den beiden Belagsgütemessverfahren CPX und SPB angestrebt. Die SPB-Methode eignet sich dafür besonders gut, weil sie einen relativ hohen Standardisierungsgrad aufweist [21] und den statistischen Belageinfluss für Vorbeifahrten abbildet. In den meisten Fällen werden lineare Umrechnungsmodelle verwendet (z.B. Dänemark, Frankreich, Italien, Niederlande, USA, Polen, Schweden, GB, Schweiz) deren Güte im Allgemeinen als gut eingestuft wird (z.B. Bendtsen et al. (2013) [23], van Beck &

Hooghwerff [24], Skov (2016) [25], Licitra et al. (2007) [26] und (2016) [27], Morgan et al. (2009) [28], Donavan & Lodico (2009) [29], Anfosso-Lédée et al. (2014) [30]). Da nicht auf jeder Belagsklasse vom gleichen linearen Zusammenhang ausgegangen werden kann, wurde vom ASTRA eine Studie zur Ausarbeitung eines spektralen Zusammenhangs in Auftrag gegeben, deren Ergebnisse im Bericht MBBM 2016 [12] festgehalten sind. Für die Etablierung der neuen Methode werden jedoch weitere unabhängige Datensätze zur Validierung empfohlen.

3 Fragestellungsabhängiges Vorgehen

Je nach Fragestellung sind verschiedene Vorgehensweisen zur Erhebung und Auswertung von CPX-Daten empfohlen.

Sollen *akustische Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten* ermittelt werden, können CPX-Messungen herangezogen werden. Dabei wird flächendeckend der aktuelle akustische Zustand der Strassenoberfläche gemessen und beurteilt. Die Daten werden so aufbereitet, dass eine einfache Handhabung bei der Lärmemissionsmodellierung ermöglicht wird. Sollen mittels CPX-Messungen die detaillierten akustischen Eigenschaften eines Belags und deren Veränderung über Zeit ermittelt werden, ist die Methodik *Monitoring Belag* anzuwenden.

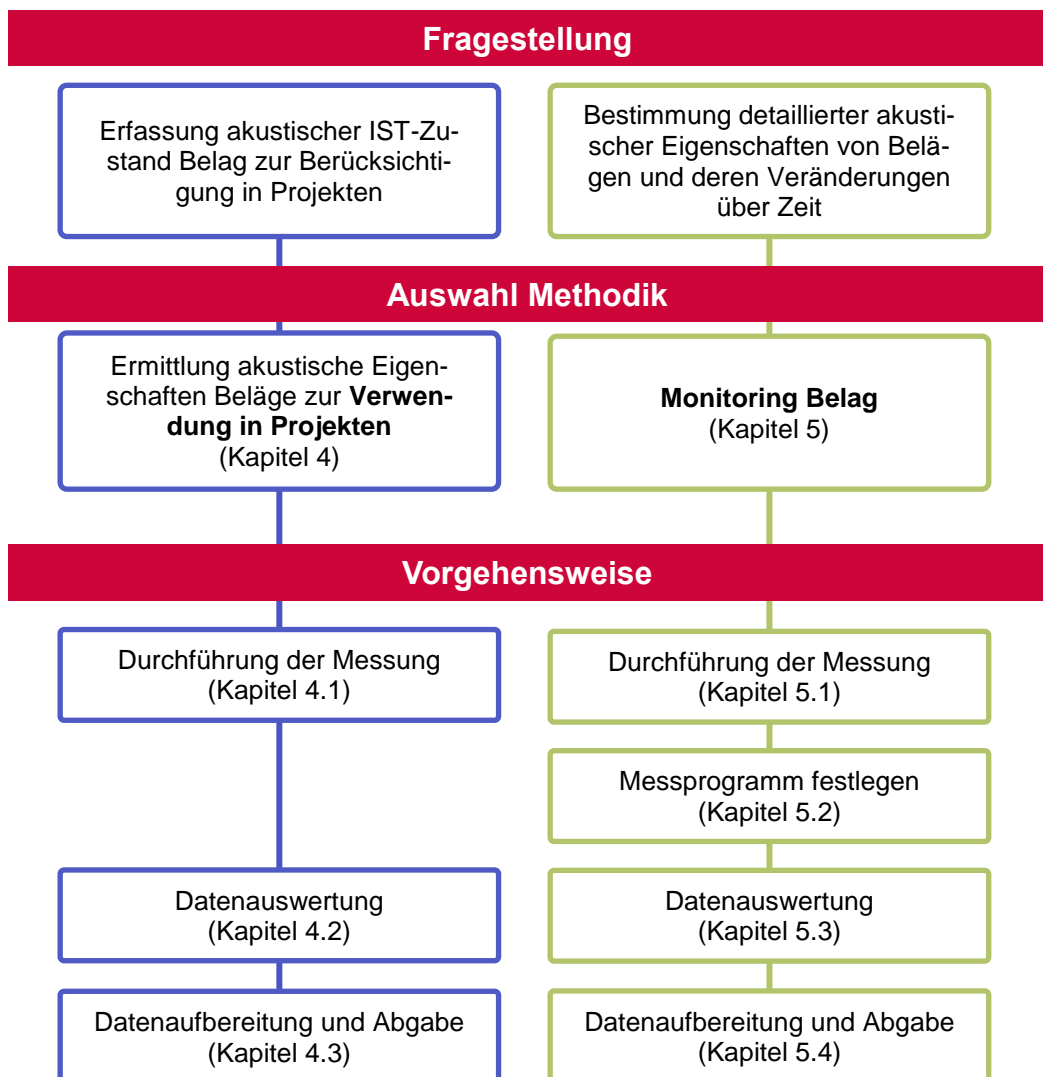


Abb. 3.1: Schema für das fragestellungsabhängige Vorgehen bei CPX-Messungen.

Die Struktur des vorliegenden Dokuments richtet sich nach den oben genannten Fragestellungen. Je nach Fragestellung und Ziel der CPX-Messungen kann direkt auf die jeweiligen vollständigen Kapitel zugegriffen werden.

4 Ermittlung akustischer Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten

Werden zur Ermittlung von Belagskorrekturen im Rahmen der Lärmermittlung CPX-Messungen durchgeführt, wird der aktuelle akustische Zustand der Strassenoberfläche meist für ganze Strassennetzabschnitte flächendeckend gemessen, beurteilt und dargestellt.

4.1 Durchführung der Messung

Das für die CPX-Messungen verwendete Messsystem und der praktische Messablauf inklusive Messvorbereitung und Dokumentation muss die Anforderungen der gültigen Norm erfüllen [1]. Erfolgen Messungen unter freiem Verkehr, ist ein geschlossenes Anhängersystem zu verwenden. Die Verwendung der in ISO/CD TS11819-3 [7] spezifizierten Reifen und Korrekturverfahren ist obligatorisch. In der nachfolgenden Tabelle sind die zentralen Anforderungen an die Durchführung der Messungen aufgelistet.

Abb. 4.1: Anforderungen an die Durchführung von CPX-Messungen

Normen, Grundlagen und Korrekturen	ISO/FDIS 11819-2 [6] ISO/TS 11819-3 [7],
Messgeschwindigkeit	80 km/h*
Toleranzbereich Messgeschwindigkeit	±15 %. (für einzelne Messsegmente)
Perimeter	Fahrspuren, welche die Emissionen im Projektperimeter beeinflussen
Messtemperatur (Luft)	5°C bis 30°C
Anzahl Messfahrten	1 Messfahrt pro Fahrspur PW-Reifen beidseitig montiert 1 Messfahrt pro Fahrspur LKW-Reifen beidseitig montiert
Gemessene Fahrspuren	Messungen immer in der Radspur
Lagecode	ASTRA 10001 [3] Bei richtungstrennten Fahrbahnen wird für jede Fahrbahn eine Achse gemäss Identifikationsschlüssel RBBS definiert. Lagecode „+“ bedeutet: Fahrtrichtung = Achsrichtung Lagecode „-“ bedeutet: Fahrtrichtung ≠ Achsrichtung
Messablauf bei mehreren Fahrspuren	Erste Fahrt immer auf der nächstgelegenen Fahrspur zur Mittelleitplanke (siehe Abb. 4.2 und Abb. 4.3), die immer durchgehend sein muss. Jede weitere Spur ist parallel dazu zu erheben.
Kennzeichnungen, elektronische Markierung zu den akustischen Signalen	Anfang/Ende der Messstrecke, Störgeräusche, Spurverschiebungen, Brücken, Tunnel, Baustellen
Messfahrten sind solange zu wiederholen bis valide Messungen durchgeführt werden konnten	z.B. bei hohem Verkehrsaufkommen am Tage, können die Messungen in die Abend-/Nachtstunden verschoben werden

* bei signalisierter Geschwindigkeit <80 km/h wird eine Messgeschwindigkeit von 50 km/h empfohlen

Um eine eindeutige Zuweisung von Fahrspuren zu ermöglichen, sollten diese analog zu den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 4.2 und Abb. 4.3) bezeichnet werden. Grundsätzlich gilt, dass die Fahrspuren im Ablauf stets von innen (nahe der Mittelleitplanke) nach aussen (hin zur Normalspur bzw. Ein-/Ausfahrt) gemessen werden. Die Fahrspuren werden entlang der gerichteten RBBS-Achse mit "+" (entlang der Achsrichtung) und "-" (entgegen der Achsrichtung) bezeichnet [3]. Dabei wird die innerste Fahrspur mit ±1 und alle weiteren Fahrspuren mit zunehmendem Abstand zur Mittelleitplanke aufsteigend mit ganzen Zahlen bezeichnet.

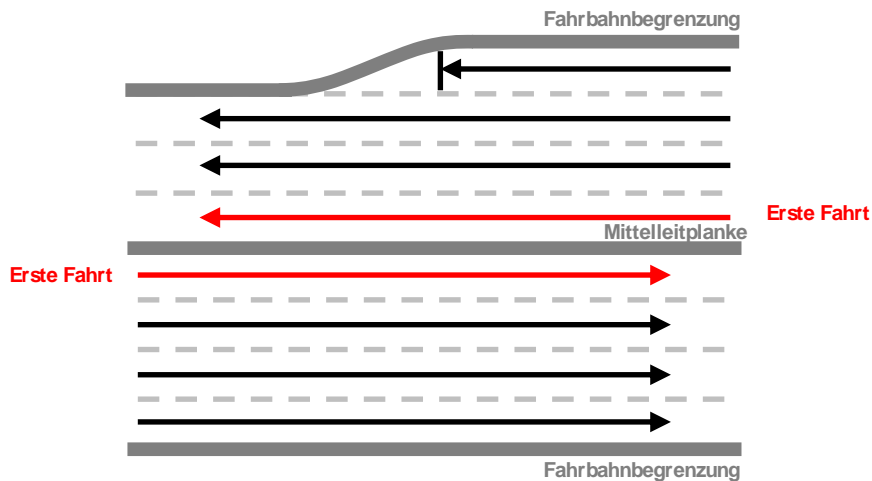


Abb. 4.2 Messablauf bei mehreren Fahrspuren und nicht-durchgehender äusserer Fahrspur.

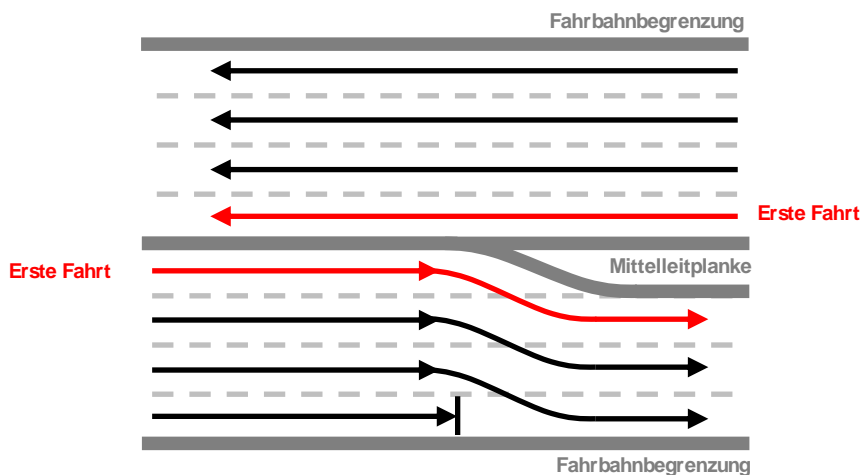


Abb. 4.3 Messablauf bei mehreren Fahrspuren und nicht-durchgehender innerer Fahrspur.

Im Fall einer Integration in MISTRA TRASSEE muss die Nummerierung und die Zuweisung der Fahrspuren gemäss dem Datenerfassungshandbuch MISTRA TRASSEE [31] erfolgen.

4.2 Datenauswertung und Umrechnung zu StL-86+

Nach der erfolgreichen Durchführung einer Messung mit der CPX-Methode liegen die Messresultate gemäss ISO/FDIS 11819-2 [6] als Nahfeldpegel pro Mikrofon in Achtelsekunden vor. Bei der Datenauswertung werden diese Rohdaten mithilfe der in-situ erhobenen GPS-Koordinaten zunächst geografisch verortet (d.h. georeferenziert). Dann werden die Rohdaten hinsichtlich geräteeigener Schallreflexionen und Abweichungen der Geschwindigkeit, Temperatur und der Reifengummi Härte korrigiert und auf Normsegmente von 20m energetisch aggregiert. Fanden mehrere Messfahrten auf demselben Streckenabschnitt statt, fliessen alle Messfahrten gleichermassen in die Berechnung eines 20m Segments ein (arithmetische Mittelung). Die Datenauswertung ist detailliert in [6] [7] [8] geregelt womit eine internationale Vergleichbarkeit von Daten aus CPX Messungen angestrebt wird. Abschliessend werden die 20m CPX Segmente zur Anwendung in der Lärmberechnung in länderspezifische Lärmemissionsmodellwerte umgerechnet. In der Schweiz erfolgt diese Umrechnung anhand des Leitfadens Strassenlärm Anhang 1c. Als Ergebnis resultieren Werte, welche die akustische Eigenschaft des Belags in Abweichung zum

Schweizer Lärmemissionsmodell StL-86+ [1] beschreiben. Der Ablauf der Datenauswertung ist in Abb. 4.4 dargestellt.



Abb. 4.4 Schema zum Vorgehen bei der Datenauswertung von CPX-Messungen.

Abb. 4.5 Anforderungen an die Datenauswertung von CPX-Messungen

Normen und Grundlagen	ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/TS 11819-3 [7], ISO/TS 13471-1 [8]
Georeferenzierung	Fahrspuren parallel zur Mittelleitplanke
CPX-System-Korrektur	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Geschwindigkeitskorrektur	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Temperaturkorrektur	ISO/TS 13471-1 [8]
Gummihärtekorrektur	ISO/TS 11819-3 [7]
20m Segmente	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Umrechnungsmodell CPX-Werte auf StL-86+	Leitfaden Strassenlärm, Anhang 1c [1]
Ausschliessen von Segmenten mit nicht normkonformen Messergebnissen (falls nötig) und Dokumentation	z.B. Geschwindigkeitsabweichungen, Galerien, Wildtierüberführungen, Tunnelabschnitte etc.

4.3 Datenaufbereitung und Abgabe

Nach der vollständigen Auswertung der CPX-Daten liegen die akustischen Belagsgütwerte als 20m Segmente in Abweichung zum Modell StL-86+ vor. Die 20m Segmente werden anschliessend mithilfe eines statistischen Verfahrens zu akustisch homogenen Abschnitten aggregiert, welche als Grundlage zur akustischen Beurteilung der Strassenbeläge dienen können (vgl. Kapitel 4.3.3 und [13]). Die Herausforderung bei der Datenaufbereitung ist, dass die Daten für eine einfache Handhabung bei der Lärmemissionsmodellierung möglichst stark aggregiert und gleichzeitig die akustische Variabilität der Strassenbeläge mit berücksichtigt werden sollte. Diese ist abhängig von der Immissionsituation, wie zum Beispiel der Distanz zwischen dem Immissionspunkt und der Quelle. Die Datenaufbereitung wird in zwei Schritten vorgenommen (vgl. Abb. 4.6)

- (1) Berechnung homogener Abschnitte im Strassenverlauf
- (2) Berechnung der Differenz zwischen den Richtungsfahrbahnen innerhalb der in Schritt (1) ermittelten akustisch homogenen Abschnitten

In Schritt (1) werden entlang des Strassenverlaufs akustisch homogene Abschnitte gebildet. Die Bildung der homogenen Abschnitte im Längsverlauf wird in zwei Detailstufen vorgenommen. Dabei wird der Detaillierungsgrad über zwei unterschiedliche minimale Mittelwertdifferenzen (minimale Differenz der Mittelwerte zweier benachbarter akustisch homogener Abschnitte) bei der Einteilung in akustische homogene Abschnitte gesteuert: Mittelwertdifferenz >1 dB für den hohen Detaillierungsgrad; Mittelwertdifferenz >2 dB für die stärker aggregierte Auswertung. In Schritt (2) werden innerhalb der akustisch homogenen Abschnitte die Differenzen zwischen den Richtungsfahrbahnen analysiert und gegebenenfalls ausgewiesen. Als akustisch relevant wird eine Mittelwertdifferenz von >2dB angenommen. Die aufbereiteten Daten werden zur Abgabe für die zwei Aggregationsstufen jeweils in einem separaten Ergebnisplan visualisiert. Der Prozess der Datenaufbereitung wird nachfolgend detailliert beschrieben.

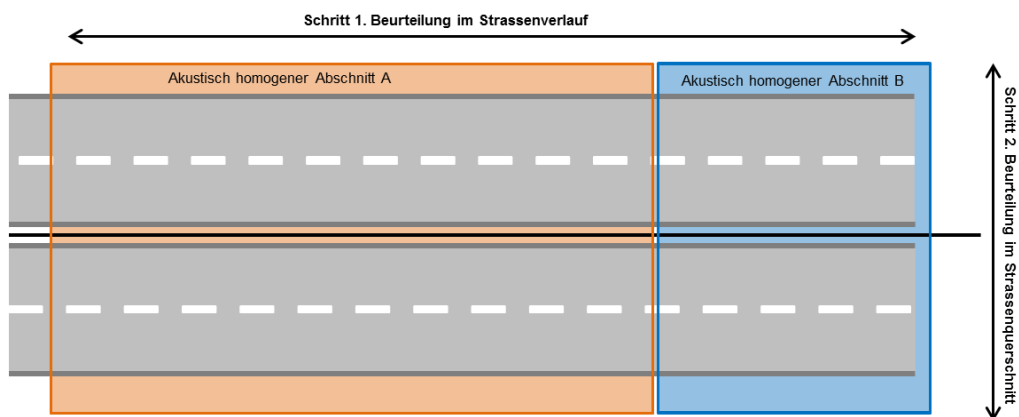


Abb. 4.6: Vorgehen Datenaufbereitung.

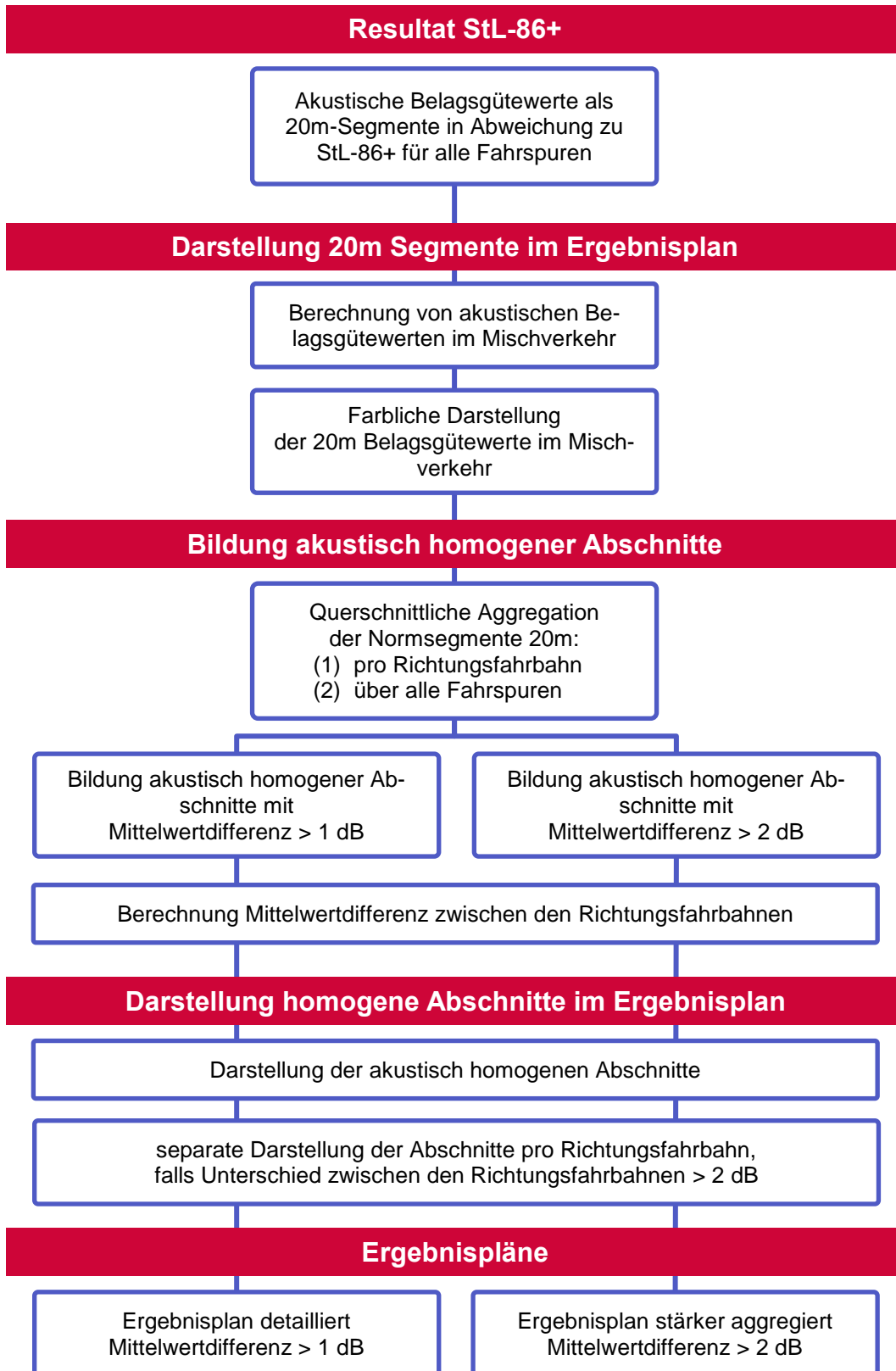


Abb. 4.7 Schema zur Datenaufbereitung von CPX-Messungen.

Abb. 4.8 Grundsätze Datenaufbereitung und Datenabgabe

Berechnung akustischer Belagsgütwerte im Mischverkehr	N2-Anteil = 15% (siehe auch Sensitivitätsanalyse in Anhang VI)	Kapitel 4.3.1
Farbliche Darstellung 20m Segmente	gemäss Legendenvorlage	Kapitel 4.3.2
Berechnung homogener Abschnitte	Mittelwertdifferenz > 1 dB bzw. > 2 dB Mindestlänge Abschnitt = 250m	Kapitel 4.3.3
Berechnung homogener Abschnitte	Mittelwertdifferenz > 2 dB Mindestlänge Abschnitt = 250m	Kapitel 4.3.3
Berechnung Mittelwertdifferenz zwischen den Richtungsfahrbahnen	Richtungsgetreunte Ergebnisse darstellen falls Mittelwertdifferenz > 2 dB	Kapitel 4.3.4
Abgabe Ergebnisplan detailliert (Mittelwertdifferenz > 1 dB)	Aggregation: Mittelwertdifferenz > 1 dB	Beispielplan Anhang I
Abgabe Ergebnisplan stärker aggregiert (Mittelwertdifferenz > 2 dB)	Aggregation Mittelwertdifferenz > 2 dB	Beispielplan Anhang I
Datenabgabe	20m Segmente, $L_{CPX:F}$ spektral, $L_{CPX:H}$ spektral, Resultate StL-86+ pro Fahrzeugkategorie und für den Mischverkehr (15% N2)	Kapitel 4.3.5

















4.3.1 Berechnung akustischer Belagsgütwerte Mischverkehr

Die akustischen Belagsgütwerte für die jeweilige Fahrzeugkategorie (N1, N2) sind mit einem Standardschwerverkehrsanteil (N2) von 15% unter Berücksichtigung der jeweiligen Emissionsanteile zu gewichten. Dafür ist das in der Schweiz gültige Emissionsmodell zu verwenden. Die Berechnung ist im Anhang III beschrieben. Die Sensitivitätsanalyse in Anhang VI zeigt auf, dass die Belagsgütwerte bei variierenden Schwerverkehrsanteilen von 5%, 10% und 15% lediglich geringfügig abweichen. Entsprechend wird darauf verzichtet, die auf dem Abschnitt vorherrschenden Schwerverkehrsanteile zur Berechnung der akustischen Belagsgütwerte für den Mischverkehr zu verwenden. Der Vorteil eines Standardschwerverkehrsanteils besteht darin, dass die Ergebnisse verschiedener Strassenabschnitte direkt miteinander vergleichbar sind.

4.3.2 Farbliche Darstellung 20m Segmente

Zur Ableitung der lokalen akustischen Eigenschaften werden die akustischen Belagsgütwerte pro 20m Segmente im Mischverkehr ausgewiesen und werden in eine Plandarstellung überführt. Zur visuellen Unterscheidung können beispielsweise die in der folgenden Abbildung aufgelisteten RGB-Farbschlüssel verwendet werden.

Abb. 4.9 Vorschlag Farbcodierung der Belagsgütwerte für den Mischverkehr in Abweichung zum Emissionsmodell StL-86+

R	G	B	Farbe	Akustischer Belagsgütwert für den Mischverkehr in Abw. StL-86+ [dB(A)]
115	0	0		≥ 5.0
168	56	0		4.0 bis 4.9
230	0	0		3.0 bis 3.9
255	85	0		2.0 bis 2.9
255	170	0		1.0 bis 1.9
255	238	0		0.0 bis 0.9
226	255	0		-0.1 bis -0.9
191	255	94		-1.0 bis -1.9
138	255	190		-2.0 bis -2.9
64	255	239		-3.0 bis -3.9
190	232	255		-4.0 bis -4.9
0	197	255		-5.0 bis -5.9
0	112	255		-6.0 bis -6.9
0	77	168		-7.0 bis -7.9
0	38	115		≤ -8.0
204	204	204		keine Berechnung

4.3.3 Bildung akustisch homogener Abschnitte

Wie einleitend beschrieben werden in einem ersten Schritt entlang des Strassenverlaufs akustisch homogene Abschnitte gebildet. Dabei werden alle Fahrspuren zusammengefasst und im Längsverlauf analysiert. Bei statistisch signifikanten Veränderungen der akustischen Eigenschaften im Strassenverlauf, sowie unter Berücksichtigung einer minimalen Mittelwertdifferenz werden die Abschnitte unterteilt (akustisch homogene Abschnitte).

Bei der statistischen Einteilung in akustisch homogene Abschnitte, werden die akustischen Belagsgütwerte aller gemessenen Fahrspuren im Querschnitt pro 20m Segment zunächst gemäss Gleichung (1) zu einem arithmetischen Mittel aggregiert.

$$CPX_{Aggr} = \frac{1}{n} \sum_{f=1}^n CPX_f = \frac{CPX_1 + CPX_2 + \dots + CPX_n}{n} \quad \text{Gl. (1)}$$

- n Anzahl gemessener Fahrspuren
- f Fahrspur
- CPX_{Aggr} über alle gemessenen Fahrspuren aggregierter Belagsgütwert im Mischverkehr als 20m Segment in Abw. zu StL-86+ [dB(A)]
- CPX_f Akustischer Belagsgütwert im Mischverkehr der jeweiligen Fahrspur f als 20m Segment in Abw. zu StL-86+ [dB(A)]

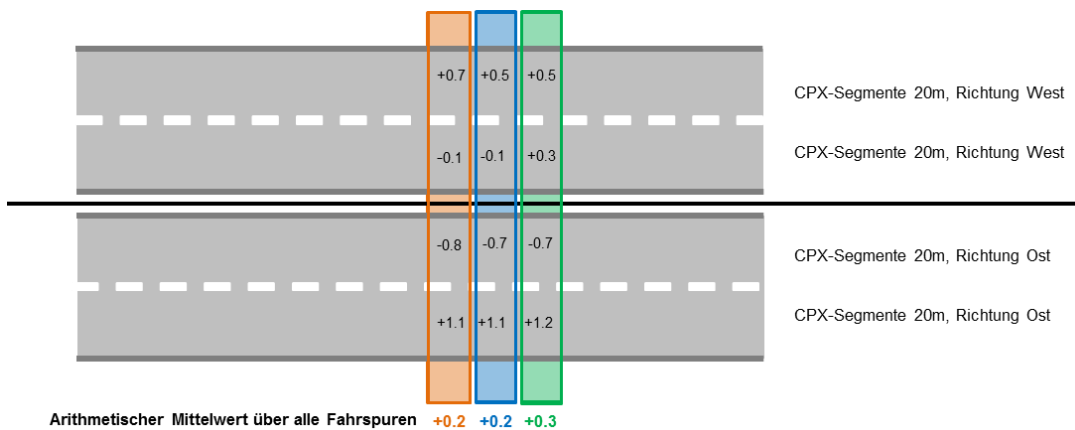


Abb. 4.10 Schema zur querschnittlichen Aggregation von Belagsgütwerten

Für die Einteilung der gemessenen Strecken in akustisch homogene Abschnitte eignet sich beispielsweise der Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) nach Alexandersson & Moberg (1997), welcher im Übrigen zur Identifikation signifikanter Mittelwertveränderungen in Datenserien verwendet wird. Grundlage für die Berechnung der akustisch homogenen Abschnitte bilden die im Querschnitt aggregierten 20m Segmente als Mischverkehrswert. Bei der Bildung von akustisch homogenen Abschnitten werden Breakpoints identifiziert und geprüft, ob die Mittelwerte zwischen den resultierenden Abschnitten vor und nach dem Breakpoint signifikant voneinander abweichen. Das Verfahren wird so oft für jeden neu resultierenden Abschnitt wiederholt, bis entweder keine signifikanten Abweichungen der Mittelwerte zwischen den Abschnitten mehr auftreten oder die vorgegebene Mindestlänge erreicht ist. Diese Methode zur Bildung akustisch homogener Abschnitte ist ausführlich in Merki et al. (2014) [13] beschrieben. Alternative statistische Verfahren können angewandt werden, insofern sie ähnliche Ergebnisse zeigen.¹

Der Detaillierungsgrad der Datenauswertung wird über zwei unterschiedliche minimale Mit-

¹ Das ASTRA untersucht zurzeit eine Standardisierung des statistischen Verfahrens.

telwertdifferenzen gesteuert: die stärker aggregierte Datenauswertung mit Mittelwertdifferenz > 2 dB resultiert in längeren und inhomogeneren Abschnitten (siehe Abb. 4.11); die detailliertere Datenauswertung mit einer Mittelwertdifferenz > 1 dB, bei welcher eher kurze und homogenere Abschnitte resultieren (Abb. 4.12).

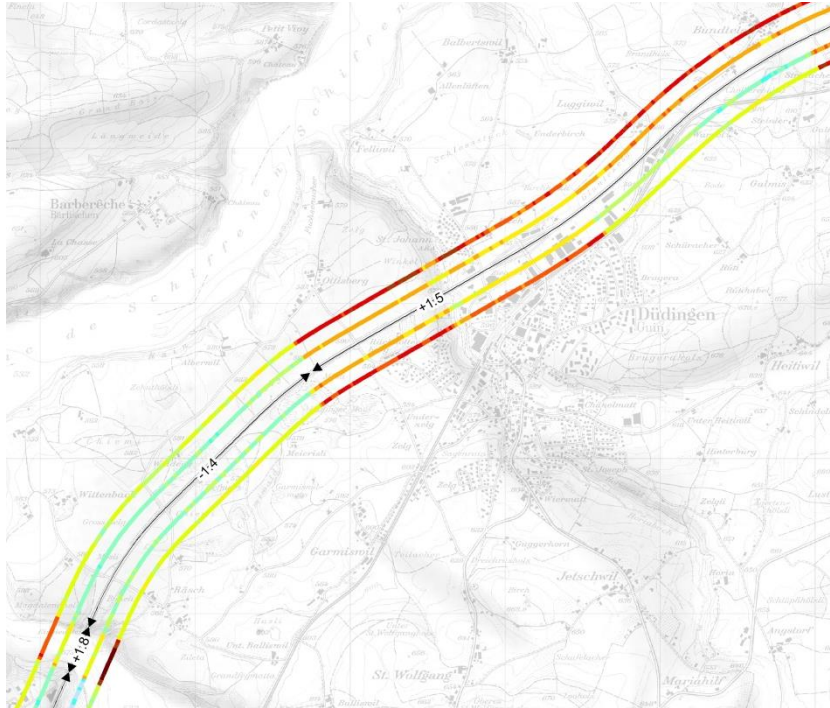


Abb. 4.11 Beispiel stärker aggregierter Ergebnisplan mit Mittelwertdifferenz > 2 dB.

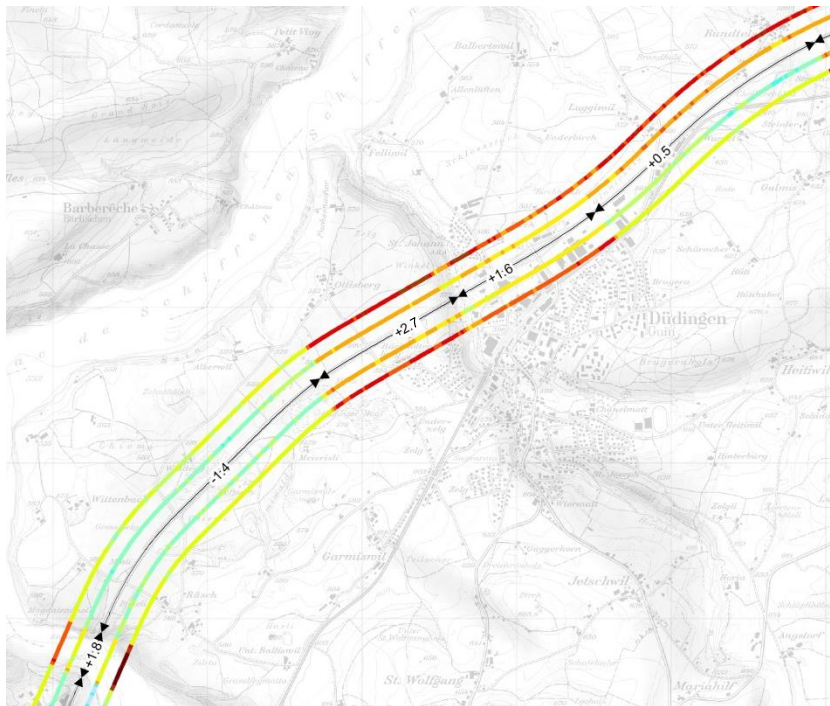


Abb. 4.12 Beispiel detaillierterer Ergebnisplan mit Mittelwertdifferenz > 1 dB.

4.3.4 Berechnung Differenz zwischen Richtungsfahrbahnen

Nach der in Abschnitt 4.3 eingeführten Methodik werden in einem zweiten Schritt innerhalb der akustisch homogenen Abschnitte die Mittelwerte pro Richtungsfahrbahn ermittelt (siehe Abb. 4.13). Beträgt der akustische Unterschied auf einem akustisch homogenen Abschnitt zwischen den Richtungsfahrbahnen 2 dB oder mehr, werden auf dem entsprechenden Abschnitt zusätzlich die arithmetisch gemittelten Belagsgütewerte pro Richtungsfahrbahn angegeben (siehe Abb. 4.13).

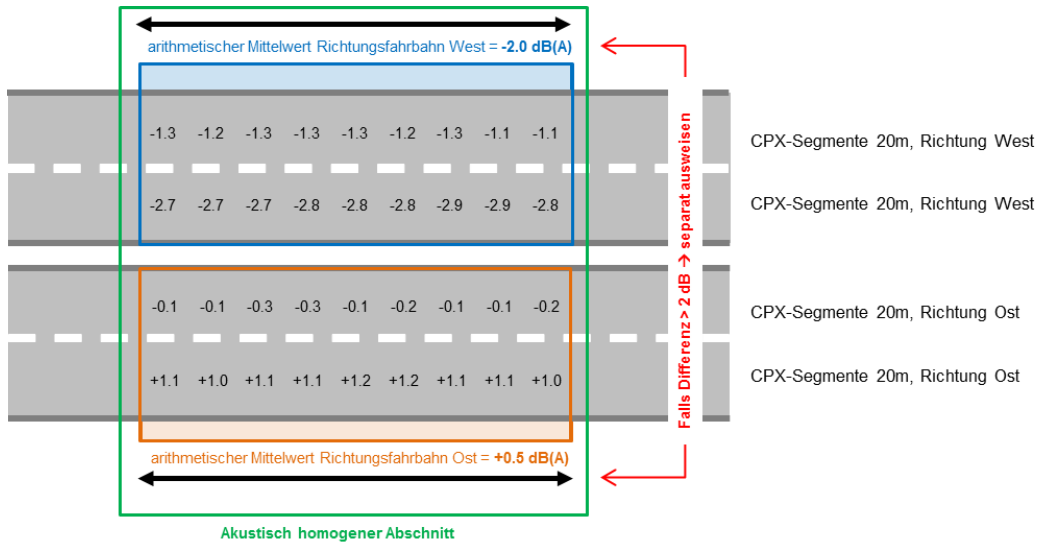


Abb. 4.13 Berechnung Mittelwerte pro Richtungsfahrbahn.

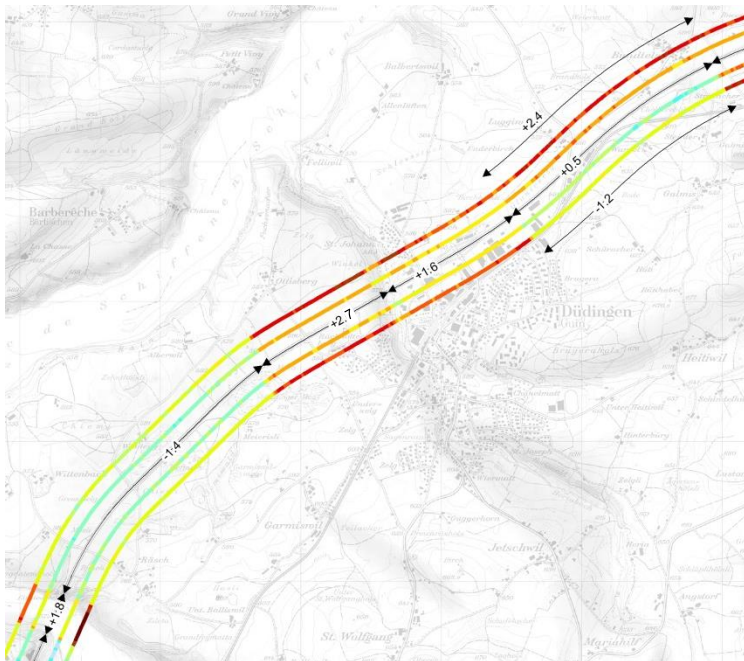


Abb. 4.14 Beispiel Darstellung richtungsgetrennte Mittelwerte.

4.3.5 Datenabgabe

Damit in Abhängigkeit der Immissionssituation auf das jeweils zielführendste Aggregationslevel zurückgegriffen werden kann, erfolgt die Aufbereitung und Abgabe der Ergebnisse der CPX-Messungen jeweils in den zwei Datenaggregationsstufen. Entsprechend resultiert jeweils ein detaillierterer Ergebnisplan mit Mittelwertdifferenz > 1 dB und ein stärker aggregierter Ergebnisplan mit Mittelwertdifferenz > 2 dB. Die Anforderungen an die Datenabgabe sind in Abb. 4.15 aufgelistet.

Abb. 4.15 Datenabgabe für akustische Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten

	Format	Inhalte/Attribute
Segmente 20m	shapefile/excel	L _{CPX,P} , L _{CPX,H} , Resultate StL-86+ pro Fahrzeugkategorie und für den Mischverkehr (15% N2)
Homogene Abschnitte detailliert Mittelwertdifferenz > 1 dB	shapefile/excel	Mischverkehrwert 15% Schwerverkehrsanteil
Homogene Abschnitte stärker aggregiert Mittelwertdifferenz > 2 dB	shapefile/excel	Mischverkehrwert 15% Schwerverkehrsanteil
Ergebnisplan detailliert Mittelwertdifferenz > 1 dB	pdf	Ergebnisse gemäss Beispielplan
Ergebnisplan stärker aggregiert Mittelwertdifferenz > 2 dB	pdf	Ergebnisse gemäss Beispielplan

4.4 Anwendung in der Praxis

Die nach der Datenaufbereitung vorliegenden Ergebnispläne ermöglichen eine einfache Handhabung bei der Lärmemissionsmodellierung ohne dabei die immissionsrelevante akustische Variabilität der Strassenbeläge zu vernachlässigen. Abhängig von der Distanz zwischen der Quelle und dem Empfänger kann entweder der detailliertere Ergebnisplan mit Mittelwertdifferenz > 1 dB oder der stärker aggregierte Ergebnisplan mit Mittelwertdifferenz > 2 dB verwendet werden.

Die Modellkorrekturen (die Gesamtheit aller Korrekturen) sind grundsätzlich gemäss dem Technischen Merkblatt Projektierung: Strassenlärmermittlung im Nationalstrassennetz [10] und dem Leitfaden Strassenlärm Anhang 1b [4] zu ermitteln und festzulegen.

Die hier vorgestellten Ergebnispläne dienen als Hilfe zur Ermittlung der Belagskorrektur. Die in den Ergebnisplänen ausgewiesenen Resultate geben den Einfluss des Strassenbelags auf die Emissionen StL-86+ wieder. Allfällige weitere Korrekturen wie beispielsweise für das Abweichen von der signalisierten Geschwindigkeit, abweichendes Fahrverhalten bei Steigung oder abweichender Fahrzeugmix sind nicht enthalten und müssen gegebenenfalls anderweitig berücksichtigt werden.

Es wird vorgeschlagen den Entscheid ob die stärker oder schwächer aggregierten Ergebnispläne verwendet werden aufgrund der Immissionssituation (Nähe der Gebäude zur Quelle) zu fällen: Falls die Distanz zwischen Quelle und Gebäude weniger als 200 m beträgt, wird empfohlen die detaillierteren Ergebnispläne (Mittelwertdifferenz > 1 dB) heranzuziehen und andernfalls (Distanz Quelle-Empfänger > 200m) kann auf die stärker aggregierten Ergebnispläne (Mittelwertdifferenz > 2 dB) zurückgegriffen werden (siehe Abb. 4.16).

Abb. 4.16 Vorgehen Ermittlung von Belagskorrekturen

1. Situationsanalyse aufgrund der Ergebnispläne mit Mittelwertdifferenz >1 dB und Mittelwertdifferenz > 2 dB
2. Lokalisieren lärmempfindliche Gebäude nahe der Quelle
3. Distanz Quelle – Empfänger < 200m → Ergebnisplan Mittelwertdifferenz > 1 dB verwenden
Distanz Quelle – Empfänger ≥ 200m → Ergebnisplan Mittelwertdifferenz > 2 dB verwenden
4. Falls akustische Eigenschaften auf Richtungsfahrbahnen stark voneinander abweichen, sollten die Ergebnisse richtungsgetreunt betrachtet werden.

5 Monitoring Belag

Sollen mittels CPX-Messungen die detaillierten akustischen Eigenschaften eines Belags und deren Veränderung über Zeit ermittelt werden, ist das Verfahren *Monitoring Belag* anzuwenden.

5.1 Durchführung der Messungen

Das für die Messungen verwendete Messsystem und der praktische Messablauf inklusive Messvorbereitung und Dokumentation muss die Anforderungen der gültigen CPX-Norm erfüllen [6]. Erfolgen Messungen unter freiem Verkehr, ist ein geschlossenes Anhängersystem zu verwenden. Die Verwendung der in ISO/CD TS11819-3 [7] spezifizierten Reifen ist obligatorisch. In der nachfolgenden Tabelle sind die zentralen Anforderungen an die Durchführung der Messungen aufgelistet.

Abb. 5.1 Zentrale Anforderungen an Monitoring Messungen CPX

Normen und Grundlagen	ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/TS 11819-3 [7], ISO/TS 13471-1 [8]
Messgeschwindigkeit	80 km/h*
Toleranzbereich Messgeschwindigkeit	15% (= 12 km/h) für Einzelsegmente 5% (= 4 km/h) für Abschnitte
Messtemperatur (Luft)	5°C bis 30°C
Perimeter	Ganzer Einbauabschnitt
Anzahl Messfahrten	1 Messfahrt pro Fahrspur PW-Reifen beidseitig montiert 1 Messfahrt pro Fahrspur LKW-Reifen beidseitig montiert
Gemessene Fahrspuren	Messungen immer in der Radspur
Lagecode	ASTRA 10001 [3] Bei richtungsgetreuen Fahrbahnen wird für jede Fahrbahn eine Achse gemäss Identifikationsschlüssel RBBS definiert. Lagecode „+“ bedeutet: Fahrtrichtung = Achsrichtung Lagecode „-“ bedeutet: Fahrtrichtung ≠ Achsrichtung
Messablauf bei mehreren Fahrspuren	Erste Fahrt immer auf der nächstgelegenen Fahrspur zur Mittelleitplanke (siehe Abb. 4.2 und Abb. 4.3), die immer durchgehend sein muss. Jede weitere Spur ist parallel dazu zu erheben.
Kennzeichnungen, elektronische Markierung zu den akustischen Signalen	Anfang/Ende der Messstrecke, Anfang/Ende Belag, Spurverschiebungen, Belagsübergänge, Brücken, Tunnel, Belagsschäden, Flicke, weitere belagsfremde Fahrbahnelemente
Messfahrten sind solange zu wiederholen bis valide Messungen durchgeführt werden konnten	z.B. bei hohem Verkehrsaufkommen am Tage, kann Messung in die Abend-/Nachtstunden verschoben werden

* bei signalisierter Geschwindigkeit <80 km/h wird eine Messgeschwindigkeit von 50 km/h empfohlen

Im Fall einer Integration in MISTRA TRASSEE muss die Nummerierung und die Zuweisung der Fahrspuren gemäss dem Datenerfassungshandbuch MISTRA TRASSEE [31] erfolgen.

5.2 Empfohlenes Messprogramm

Stehen die akustische Wirkung eines herkömmlichen Belags (d.h. mit bereits etablierter Bauweise) und dessen Veränderungen über Zeit im Vordergrund, wird empfohlen die CPX-Messungen ca. 3 Monate nach Belagsersatz durchzuführen und nach 1, 3, 5 und 10 Jahren nach Einbau zu wiederholen. Um die Wirkung im Vergleich zum vorher eingebauten Belag festzustellen, kann zusätzlich eine CPX-Messung vor dem Belagsersatz durchgeführt werden.

Handelt es sich beim zu untersuchenden Belag um einen Belagstyp mit neuartiger Bauweise (d.h. mit neuer Rezeptur oder Bauweise), wird empfohlen während der ersten 5 Jahre jährlich eine CPX-Messung durchzuführen. Ebenfalls empfohlen wird eine CPX-Messung nach 10 Jahren.

Abb. 5.2 Vorschlag CPX-Messprogramm Monitoring

	neuartige Bauweise	herkömmliche Bauweise
	CPX	CPX
vor Belagsersatz	X (falls relevant)	X (falls relevant)
nach Belagsersatz	x	x
nach 1 Jahr	x	x
nach 2 Jahren	x	
nach 3 Jahren	x	x
nach 4 Jahren	x	
nach 5 Jahren	x	x
nach 6 Jahren		
nach 7 Jahren		
nach 8 Jahren		
nach 9 Jahren		
nach 10 Jahren	x	x

Falls vorhanden, wird empfohlen die Ergebnisse der Bohrkern- und Mischgutuntersuchungen bei der Interpretation der akustischen Belagsgütemessungen herbeizuziehen. Angaben zur Siebkurve, dem Bindemittelanteil, dem Hohlraumgehalt am Marshallprüfkörper, sowie dem Hohlraumgehalt, dem Verdichtungsgrad und der Schichtdicke der eingebauten Deckschicht können für die Einordnung der Ergebnisse einen erheblichen Mehrwert bedeuten.

5.3 Datenauswertung

Die Datenauswertung zur Bestimmung detaillierter akustischer Eigenschaften von Belägen und deren Veränderungen über Zeit erfolgt weitestgehend analog zur Ermittlung der akustischen Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten. Der Leitfadens Strassenlärm Anhang 1c [1] gilt zur Umrechnung der Nahfeldpegel in Belagsgütemeasure zum Modell StL-86+ als massgebend. Werden zukünftig genauere Verfahren zur Umrechnung verfügbar (z.B. Methode MBBM zur spektralen Ableitung von akustischen Belagsgütemessungen [12]), sind diese für Monitoring Fragestellungen zu bevorzugen. Grundsätzlich werden die Daten für typische Belags- bzw. Einbauabschnitte ausgewertet. Bei längeren Belagsabschnitten kann eine Einteilung in akustisch homogene Abschnitte gemäss Kapitel 4.3.3 zielführend sein (z.B. bei inhomogenem Einbau oder unterschiedlicher Beanspruchung oder akustischer Alterung auf verschiedenen Teilabschnitten).



Abb. 5.3 Schema zum Vorgehen bei der Datenauswertung von CPX-Messungen.

Abb. 5.4 Anforderungen an die Datenauswertung von CPX-Messungen

Normen und Grundlagen	ISO/FDIS 11819-2 [6], ISO/TS 11819-3 [7], ISO/TS 13471-1 [8]
20m Segmente	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Georeferenzierung	Fahrspuren parallel zur Mittelleitplanke
CPX-System-Korrektur	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Geschwindigkeitskorrektur	ISO/FDIS 11819-2 [6]
Temperaturkorrektur	ISO/TS 13471-1 [8]
Gummihärtekorrektur	ISO/TS 11819-3 [7],
Umrechnungsmodell CPX-Werte auf StL-86+	Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c [1]
Ausschluss von Segmenten mit nicht normkonformen Messergebnissen ist generell zu vermeiden	z.B. Geschwindigkeitsabweichungen

5.4 Datenaufbereitung und Abgabe

In Abb. 5.5 sind die Grundsätze zur Datenaufbereitung und Abgabe von Daten aus CPX Messungen zusammengestellt.

Abb. 5.5 Datenaufbereitung und Abgabe von Daten aus CPX-Messungen

Berechnung Belagsgütewerte für den Mischverkehr als 20m Segmente	N2-Anteil = 15%	Kapitel 4.3.1
Farbliche Darstellung 20m Segmente	Vorschlag gemäss Legendenvorlage	Kapitel 4.3.2
Lokalisieren Monitoringbelag	Belagsangaben den 20-Segmenten zuordnen	Kapitel 4.3.3
Berechnung Mittelwert für Belagsabschnitt und pro Fahrspur	Belagsabschnitte pro Fahrbahn	Kapitel 4.3.4
Abgabe Plan mit Mittelwert pro Fahrspur		Anhang I
Abgabe spektrale Daten	$L_{CPX,P}$ spektral, $L_{CPX,H}$ spektral, Resultate StL-86+ pro Fahrzeugkategorie und für den Mischverkehr (15% N2)	Kapitel 4.3.5

Falls die akustischen Eigenschaften innerhalb des Belagsabschnitts stark variieren, wird empfohlen eine zusätzliche Unterteilung des Abschnitts gemäss der Kapitel 4.3.3 und 4.3.4 vorzunehmen. Die akustischen Werte sind dementsprechend anzupassen.

Abb. 5.6 Vorschlag Inhalte Monitoringbericht

Grundsätzlich	Es ist anzustreben neben den aktuellen Messungen auch die Ergebnisse aus früheren Jahren im Bericht aufzunehmen (Zeitreihen)
CPX alle Fahrspuren	Mittelwert ganzer Abschnitt PW, LKW, Mischv.
CPX pro Fahrspur	Mittelwert pro Fahrspur PW, LKW, Mischv.
CPX pro Abschnitt (falls Eigenschaften im Längsverlauf stark variieren)	Mittelwert pro akustisch homogener Abschnitt PW, LKW, Mischv.
SPB (falls vorhanden)	Resultate PW, LKW, Mischv.
SEM (falls vorhanden)	Resultat Mischv.
Vergleich CPX – SPB (falls zutreffend)	Vergleich SPB- und CPX-Werte Normalspur (Mittelwert Segmente im Einflussbereich des SPB-Standorts)
Vergleich CPX - SEM (falls zutreffend)	Vergleich SEM- mit CPX-Werte Fahrspur 1, Fahrspur 2, Fahrspur 3, Fahrspur 4 (Mittelwert Segmente im Einflussbereich des SEM-Standorts)
Bewertung Homogenität akustische Eigenschaften Strassenbelag	Analyse CPX-Streckenmittelwerte
Bewertung Aussagekraft für Verkehrsmix (falls zutreffend)	- Übereinstimmung CPX-SPB - Qualifizierung Datenqualität und Standortqualität - Aussagen über Repräsentativität Standort SPB bezüglich Streckenabschnitt (lauter, leiser Querschnitt?)
Bewertung Belagswirkung am SEM-Standort (falls zutreffend)	- Übereinstimmung CPX-SEM - Qualifizierung Datenqualität und Standortqualität - allfällige Hypothesen für Abweichungen (Geschwindigkeit, laute Fahrzeuge, Fahrverhalten, Fahrzeugpark, etc.)

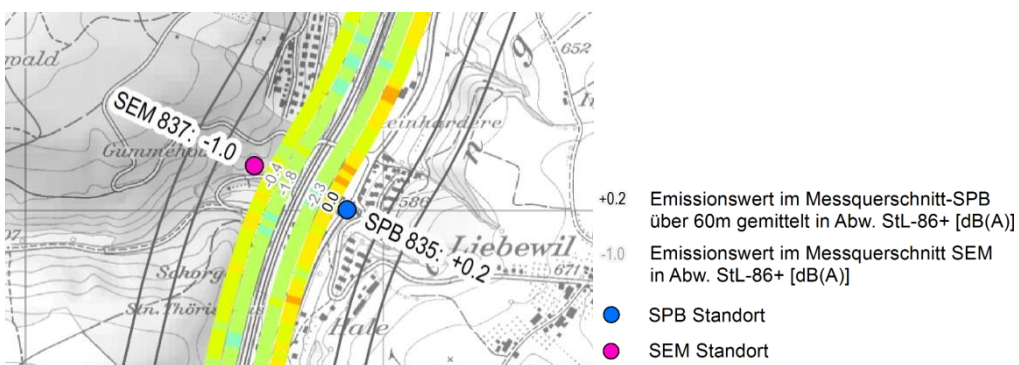


Abb. 5.7 Exemplarischer Planausschnitt zur Darstellung von CPX-Messergebnissen an Querschnitten in welchen ebenfalls SPB- und SEM-Messungen durchgeführt wurden.

Ein direkter Quervergleich zwischen CPX-Ergebnissen mit SEM oder SPB-Messungen ist am Messquerschnitt unter Berücksichtigung der jeweiligen Eigenschaften des Messverfahrens zulässig:

- Bei SPB-Messungen ist nur ein spezifischer Abschnitt auf einer Fahrspur (i.d.R. die äussere Fahrspur bzw. die Normalspur) massgebend für den gemessenen Emissionswert. Zum Vergleich der CPX-Messungen mit SPB-Messungen werden daher die drei CPX-Segmente (d.h. insgesamt 60m) mit dem geringsten Abstand zum SPB-Messpunkt energetisch gemittelt (siehe Abb. 5.8).
- Bei SEM Messungen werden die CPX-Segmente aller Spuren im Messquerschnitt der SEM-Messung unter Berücksichtigung der Distanz zum Messpunkt und einer Standardverteilung des Verkehrs über die einzelnen Fahrspuren, zu einem energetischen Mittelwert zusammengefasst. Dabei werden pro Fahrspur die drei CPX-Segmente (d.h. insgesamt 60m) mit dem geringsten Abstand zum SEM-Messpunkt energetisch gemittelt

(siehe Abb. 5.8). Da die verschiedenen Fahrspuren den Messwert am SEM-Standort unterschiedlich stark beeinflussen, wird vorgeschlagen eine Gewichtung gemäss Abb. 5.9 vorzunehmen. Diese wurden für eine repräsentative Situation mittels eines Ausbreitungsmodells ermittelt.

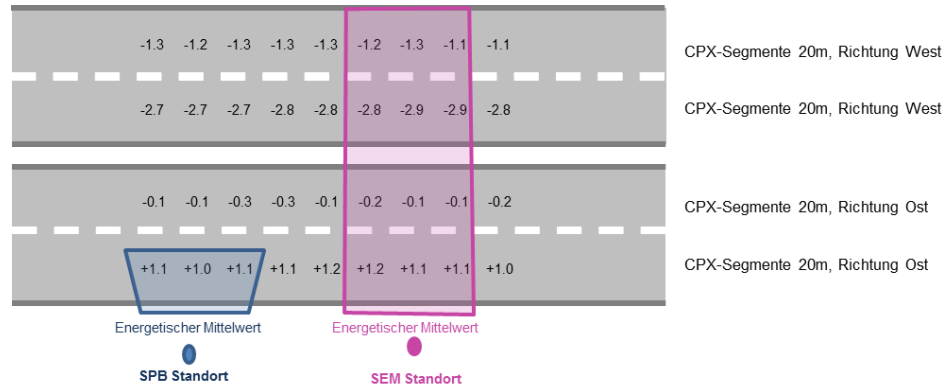


Abb. 5.8 Schema Auswertung zum Quervergleich CPX, SPB und SEM.

Abb. 5.9 Vorschlag Gewichtung Fahrspuren für Vergleich SEM-CPX in Abhängigkeit der Lage zum SEM-Standort

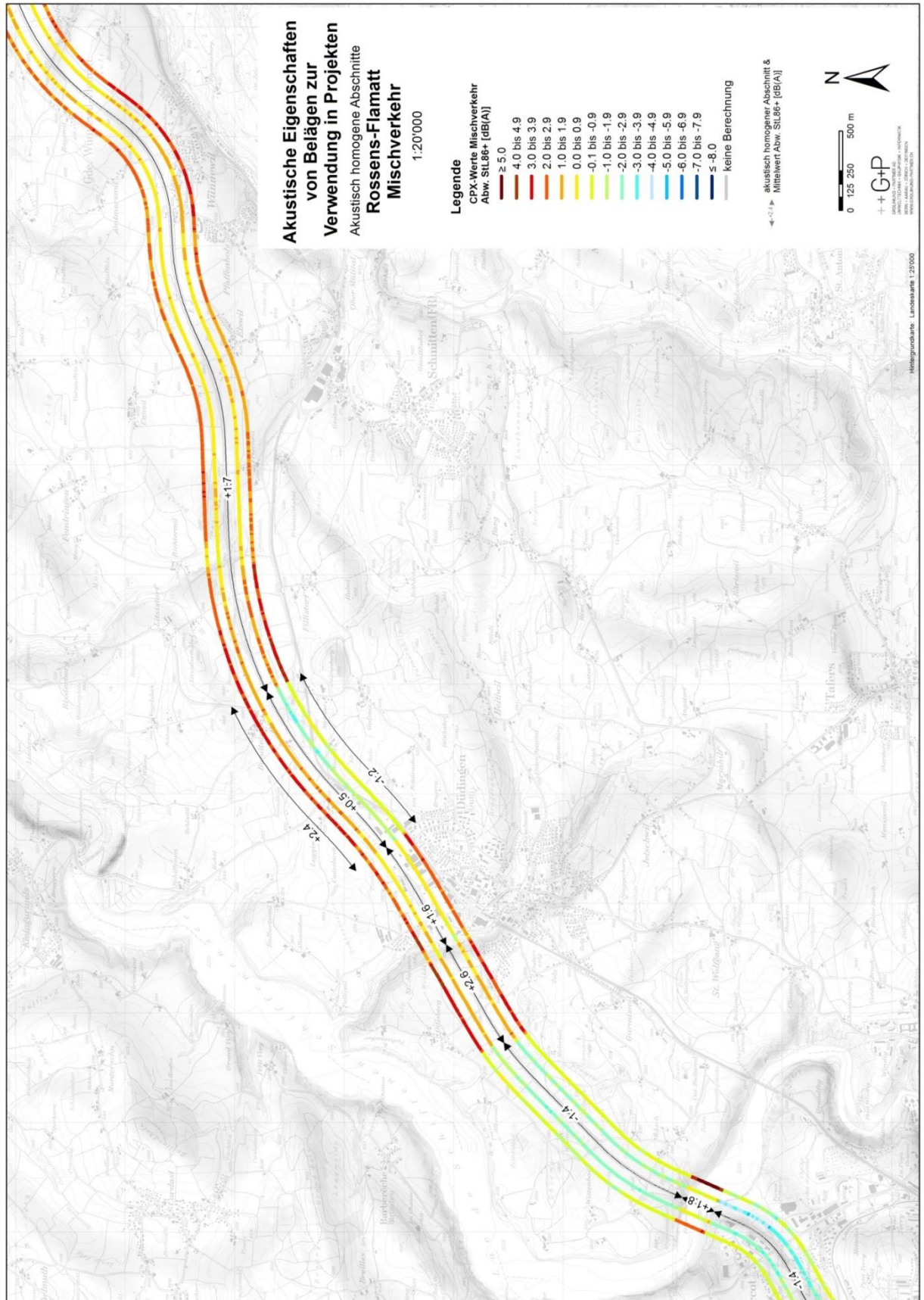
	Alle Spuren ähnliche akustische Eigenschaften	nahe gelegene Fahrspuren deutlich lautere akustische Eigenschaften (ca. +3 dB)	Gegenüberliegende Fahrspuren deutlich lautere akustische Eigenschaften (ca. +3 dB)
Nahe gelegene Fahrspur	60%	65%	45%
Nahe gelegene Überholspur	15%	20%	15%
Gegenüberliegende Überholspur	10%	5%	15%
Gegenüberliegende Normalspur	15%	10%	25%

Anhänge

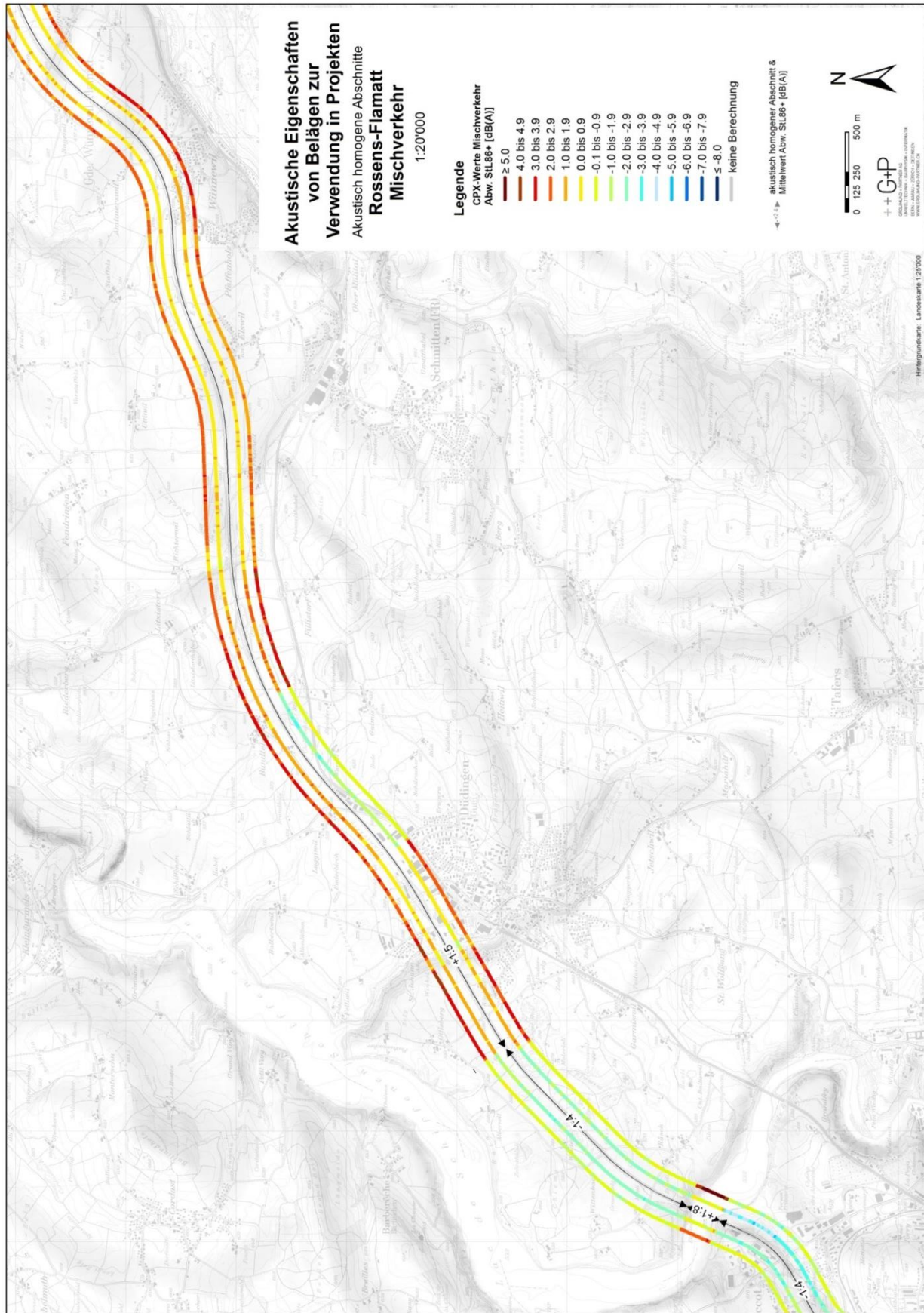
I	Beispielpläne (fiktiv)	28
II	Anforderungen Messprotokoll nach Norm (ISO 11819-2).....	33
III	Formel zur Berechnung Mischverkehrswerte	34
IV	Vor- und Nachteile der Messverfahren CPX, SPB und SEM	35
V	Sensitivitätsanalyse richtungsgetrennte Betrachtung	36
VI	Sensitivitätsanalyse Anteil Schwerverkehr	41

I Beispielpläne (fiktiv)

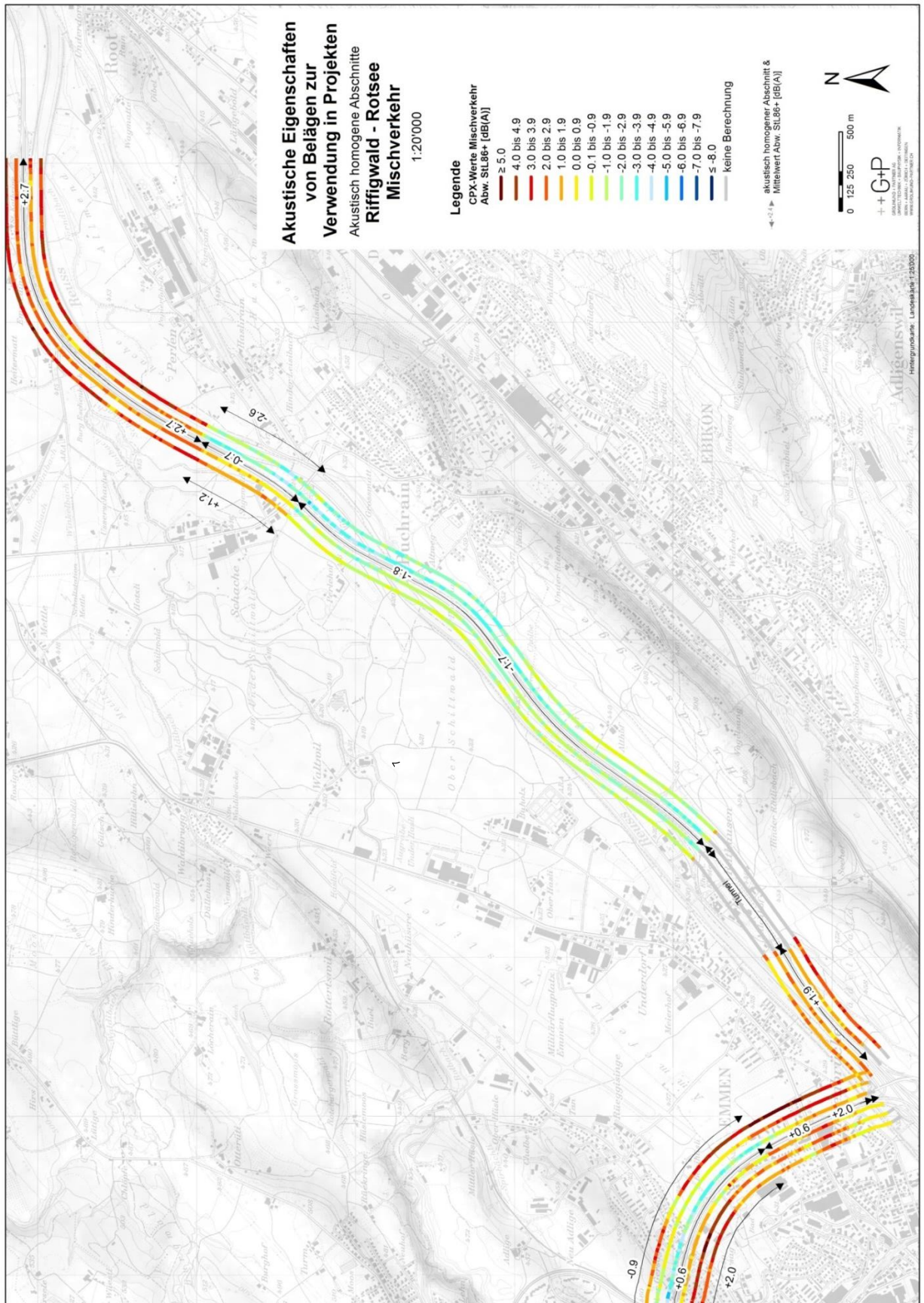
Rossens - Flamatt (Mittelwertdifferenz > 1 dB)



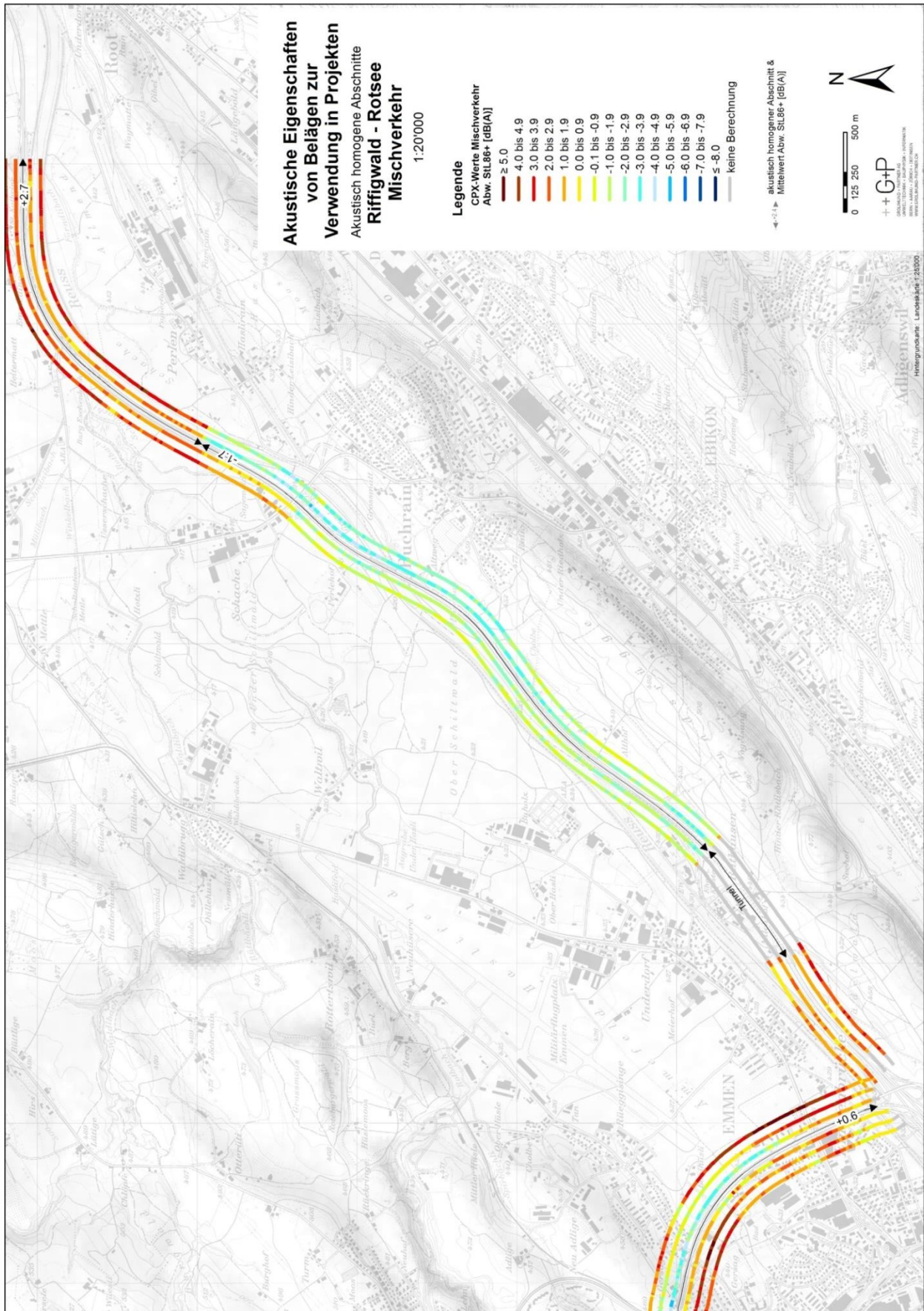
Rossens - Flamatt (Mittelwertdifferenz > 2 dB)



Riffigwald - Rotsee (Mittelwertdifferenz > 1 dB)



Riffigwald - Rotsee (Mittelwertdifferenz > 2 dB)



Beispielplan Monitoring (PW)

Monitoring Belag

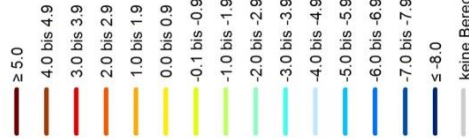
Akustisch homogene Abschnitte
(Belagsgüte pro Fahrzeugkategorie)

Härkingen - Wiggertal PW (N1)



Legende

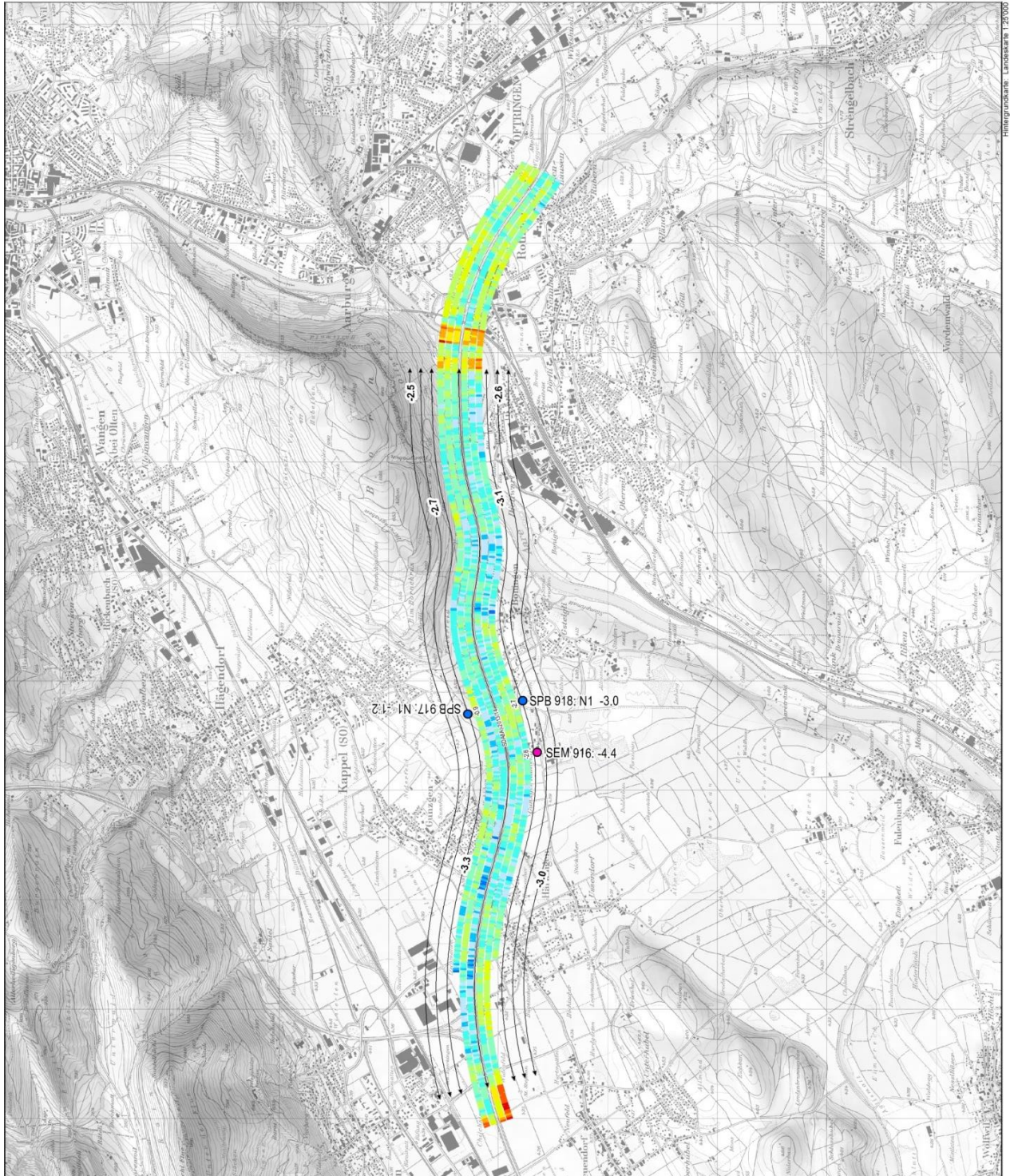
CPX-Werte PW (N1):
Abw. SL-86+ [dB(A)]



akustisch homogener Abschnitt &
Mittelwert Abw. SL-86+ [dB(A)]
pro Fahrbahn

20m CPX-Segmente &
CPX-Wert im Messquerschnitt
Abw. SL-86+ [dB(A)]

SPB Standort (Messwerte: N1)
SEM Standort



08.12.2016(4)



GRUND + PARTNER AG
UMWELTECHNIK + BAUPHYSIK + INFORMATIK
BERN + AARAU + ZÜRICH + BASEL
WWW.GRUNDPARTNER.CH

II Anforderungen Messprotokoll nach Norm (ISO 11819-2)

Allgemeine Angaben

- Datum und Messzeit
- Firma/Organisation
- Messverantwortliche
- Zweck der Messung (Zustandserfassung / Monitoring)

Messgeräte / Messsystem

- Anhängertyp
- Messreifen
- Messsystem
- Kalibrator
- Geschwindigkeitssensor
- Meteorologisches Equipment
- Mikrofone
- Zertifizierung des Messsystems (gemäss XXX)

Angaben Messstrecke

- Ort
- Geschwindigkeitslimit
- Longitudinal Gradient
- Steigung
- Übersichtsplan
- Länge Messstrecke
- GPS Koordinaten Start Messstrecke
- GPS koordinaten Ende Messstrecken
- Laterale Messposition auf der Strecke z.B. Fahrspur XX, linke und rechte Radspur

Angaben Belag (wenn möglich)

- Belagstyp und –parameter
- Schichtdicke
- Maximale Korngrösse
- Hohlraumgehalt
- Schallabsorptionskoeffizient
- Repräsentatives Foto des Belags
- Texturtiefe (MPD) gemäss ISP 13473-1
- Belagsrezept

Angaben Belagszustand und Umweltbedingungen (wenn möglich)

- Belagsalter und Belagszustand z.B. 4 Jahre, Spurrillen deutlich sichtbar
- Spezielle Oberflächenbehandlungen
- Homogenität des Belags
- Anzahl Tages seit letztem Niederschlag
- Lufttemperatur
- Belagtemperatur
- Temperaturkorrekturfaktoren

Angaben Testreifen

- Reifentyp, identifikation (DOT) und Produktionsdatum
- Gummihärte in ShoreA (nicht älter als 3 Monate)
- Anzahl der Runs pro Reifen
- Referenzgeschwindigkeit
- Gefahrene Durchschnittsgeschwindigkeit

Gemessenes und Berechnete Schalldruckpegel

- L_{CPX} für P1 und H1

Sonstiges

- Geschwindigkeitskonstante

III Formel zur Berechnung Mischverkehrswerte

Die mit der CPX-Methode für PW und LKW separat erhobenen Belagsgütwerte können mithilfe der nachfolgenden Formel in einen fahrzeugkategoriegewichteten StL-86+ Belagsgütwert im Mischverkehr überführt werden (gemäss: EMPA (1986), "Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm" [32] und BUWAL (2010), "Strassenlärm: Korrekturen zur Lärmschutzverordnung" [33]).

$$CPX_{Misch} = 10 * \log \left(10^{\left[\left[A+10*\log\left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3\right)+10*\log(1-\eta)\right]*0.1 \right]} + 10^{\left[\left[A+10*\log\left(\left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3\right)\left(1+B*\left(\frac{v}{150}\right)\right)\right)\right]+10*\log(\eta)\right]*0.1} \right]} \right) - 10 * \log \left(10^{\left[\left[A+10*\log\left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3\right)+10*\log(1-\eta)+CPX_{N1}\right]*0.1 \right]} + 10^{\left[\left[A+10*\log\left(\left(1+\left(\frac{v}{50}\right)^3\right)\left(1+B*\left(\frac{v}{150}\right)\right)\right)\right]+10*\log(\eta)+CPX_{N2}\right]*0.1} \right]} \right)$$

A, B	empirische konstanten A = 43, B = 20
v	Geschwindigkeit [km/h] (i.d.R. = 80 km/h)
η	Lastwagenanteil bzgl. gesamtem Verkehr (i.d.R. = 0.15)
CPX _{N1}	Belagsgütwert für N1 in Abweichung zu StL-86+ [dB(A)]
CPX _{N2}	Belagsgütwert für N2 in Abweichung zu StL-86+ [dB(A)]
CPX _{Misch}	Belagsgütwert für den Mischverkehr

IV Vor- und Nachteile der Messverfahren CPX, SPB und SEM

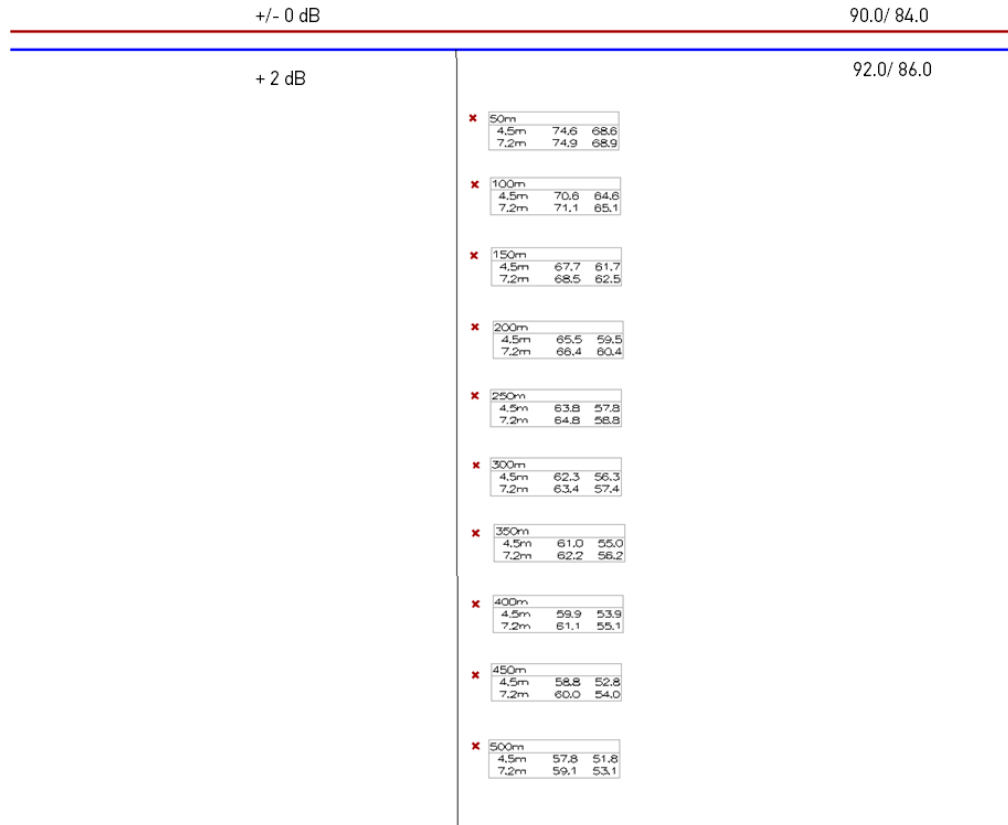
	Vorteile	Nachteile
CPX	<ul style="list-style-type: none"> + Hochstandardisiertes Verfahren + Gute Wiederholbarkeit + Flächendeckende Erhebung + Erhebung über alle Spuren + Separate Erhebung der Fahrzeugkategorien PW und LKW + Berechnung Mischverkehr möglich + Unabhängig von Veränderungen des Fahrzeugmix + Lokale Belagseigenschaften identifizierbar + Verwendung in Projekten (ZEL, EK, AP, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mögliche Einschränkungen bei Prognose für Fahrzeugmix - PA Beläge in fortgeschrittenem Alter variieren die Belagseigenschaften lateral → Abhängigkeit der gemessenen Fahrspur - Begleitfahrzeug für Messungen auf Überholspuren notwendig - Aufwendige Messeinrichtung: Zugsfahrzeug, Messanhänger, Mehrkanaltechnik erforderlich" sowie "Messreifen notwendig
SPB	<ul style="list-style-type: none"> + Aussage Belagswirkung bezüglich aktuellem Fahrzeugmix möglich Separate Erhebung der Fahrzeugkategorien PW und LKW + Berechnung Mischverkehr möglich + Wirkung in Bezug zur Gesamtemission 	<ul style="list-style-type: none"> - Erhebung Querschnitts auf einer Fahrspur - Abhängig vom momentanen und lokalen Fahrzeugmix → ≠ Monitoring - Abhängigkeit vom Messingenieur (Fahrzeugauswahl und Klassierung) - Beschreibung von Idealdurchfahrten - Durchführung der Messungen mit mehr Aufwand als bei SEM-Verfahren verbunden - Hohe Anforderungen an Messbedingungen - Einzelne Vorbeifahrten auf stark belasteten Abschnitt schwierig zu erheben - Genauigkeitseinschränkung aufgrund der Abmessung der Distanzen zur Quelle - Messung kann mit Gefahren verbunden sein (Aufhalten des Messingenieurs in kleinem Abstand zur Strasse)
SEM	<ul style="list-style-type: none"> + Abschätzung der Belagswirkung für momentane Situation + Erhebung der Gesamtlärmemission + Erhebung des gesamten Wagenparks + Erhebung akustischer Belagswirkung unter Berücksichtigung quellennaher Schallausbreitungseffekte + Einfache Durchführung + Kosteneffiziente Durchführung 	<ul style="list-style-type: none"> - Abhängig vom momentanen und lokalen Fahrzeugmix → ≠ Monitoring - Erhebung nur Mischverkehr über alle Fahrspuren - Standortspezifisch - Nicht geeignet für zur Bestimmung von Belagsgütwerten - Abhängigkeit von der Menge der lauter Fahrzeuge - Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit - Verkehrsnormalisierung funktioniert nur bedingt

V Sensitivitätsanalyse richtungsgetrennte Betrachtung

Um zu bestimmen inwiefern der Einbezug richtungsgetrennter Ergebnisse relevant ist wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Diese beinhaltet die Berechnung der Immissionsseitigen Auswirkung von unterschiedlichen Belagskorrekturen pro Richtungsfahrbahn in diversen Abständen zur Quelle. Das Beispiel wurde so gewählt, dass die kritischste Situation (ohne Trennung der Richtungsfahrbahnen gemäss Kapitel 4.3.3) in die Berechnungen einfliesst.

Die nachfolgenden drei Abbildungen zeigen, dass das Kriterium für richtungsfahrbahngetrennte Darstellung der Belagsgüte von > 2 dB zielführend ist. Für Mittelwertdifferenzen ≤ 2 dB beträgt die immissionsseitige Wirkung der fahrbahngetrennten Belagskorrekturen in sämtlichen Abständen zur Quelle maximal 0.3 dB.

A)



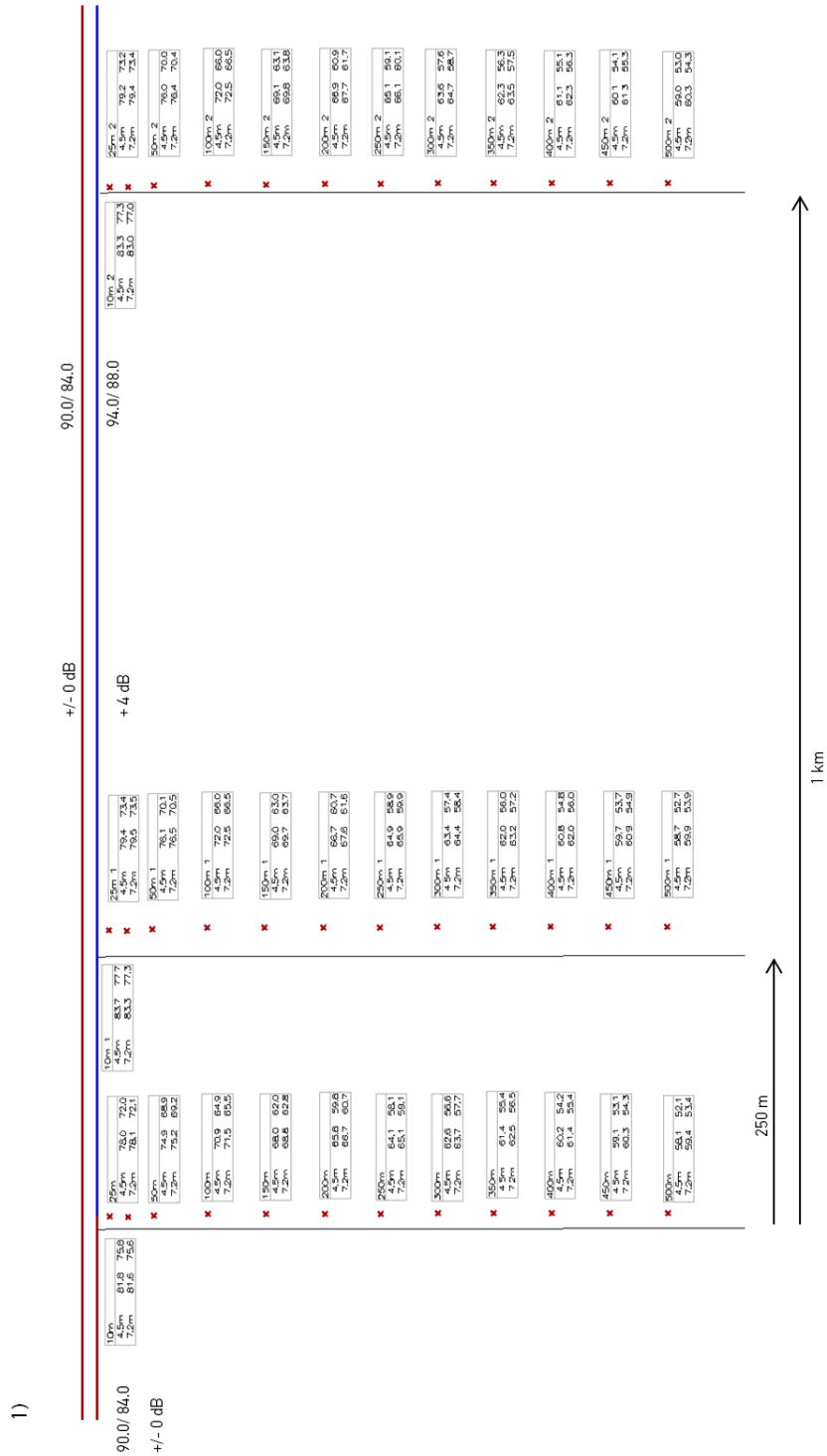
B)

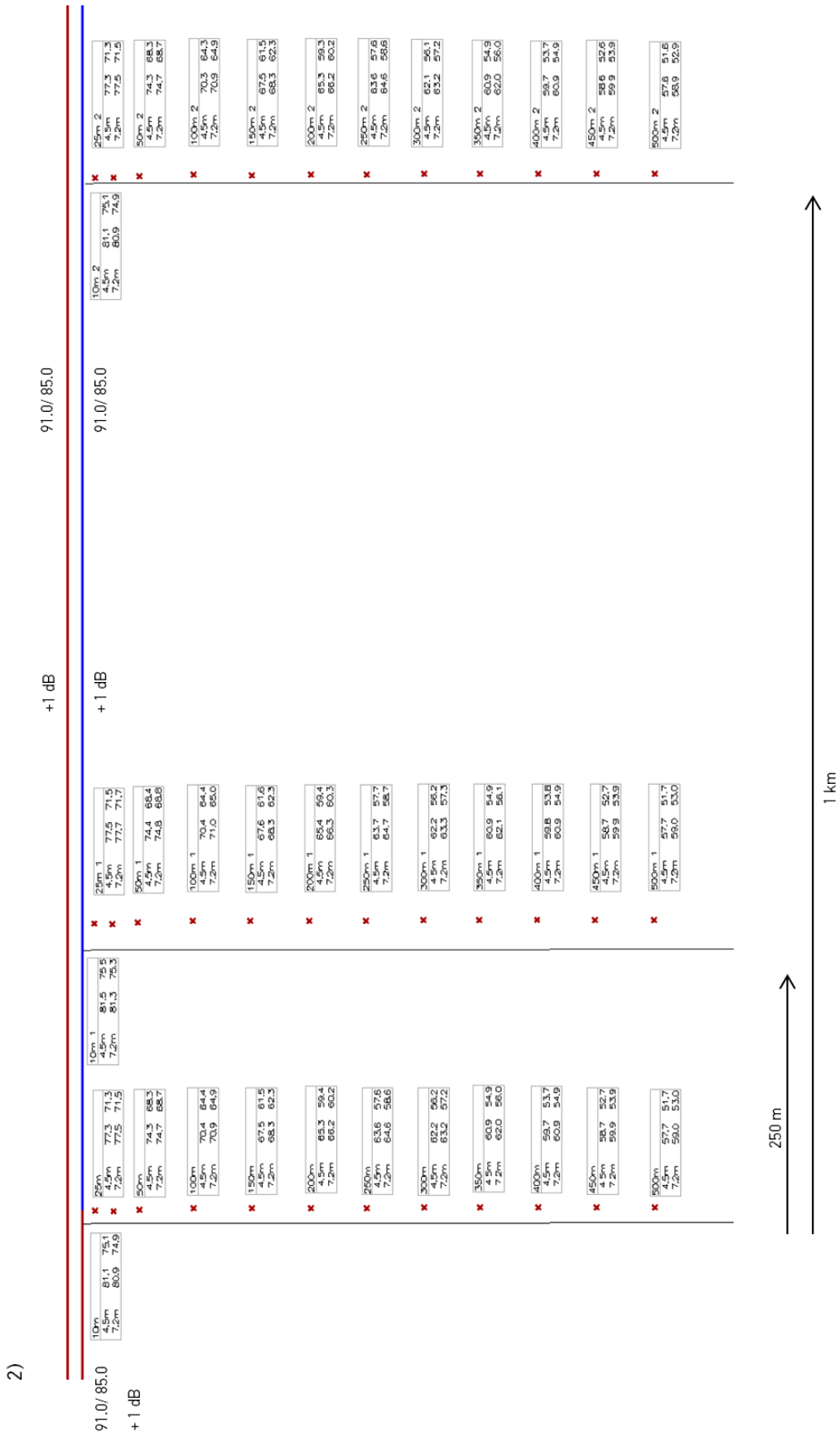
+ 1 dB	91.0/ 85.0									
+ 1 dB	91.0/ 85.0									
	<table border="1"> <tr><td>50m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>74.3</td><td>68.3</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>74.7</td><td>68.7</td></tr> </table>	50m			4.5m	74.3	68.3	7.2m	74.7	68.7
50m										
4.5m	74.3	68.3								
7.2m	74.7	68.7								
	<table border="1"> <tr><td>100m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>70.4</td><td>64.4</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>70.9</td><td>64.9</td></tr> </table>	100m			4.5m	70.4	64.4	7.2m	70.9	64.9
100m										
4.5m	70.4	64.4								
7.2m	70.9	64.9								
	<table border="1"> <tr><td>150m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>67.5</td><td>61.5</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>68.3</td><td>62.3</td></tr> </table>	150m			4.5m	67.5	61.5	7.2m	68.3	62.3
150m										
4.5m	67.5	61.5								
7.2m	68.3	62.3								
	<table border="1"> <tr><td>200m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>65.3</td><td>59.4</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>66.2</td><td>60.2</td></tr> </table>	200m			4.5m	65.3	59.4	7.2m	66.2	60.2
200m										
4.5m	65.3	59.4								
7.2m	66.2	60.2								
	<table border="1"> <tr><td>250m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>63.6</td><td>57.6</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>64.6</td><td>58.6</td></tr> </table>	250m			4.5m	63.6	57.6	7.2m	64.6	58.6
250m										
4.5m	63.6	57.6								
7.2m	64.6	58.6								
	<table border="1"> <tr><td>300m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>62.2</td><td>56.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>63.2</td><td>57.2</td></tr> </table>	300m			4.5m	62.2	56.2	7.2m	63.2	57.2
300m										
4.5m	62.2	56.2								
7.2m	63.2	57.2								
	<table border="1"> <tr><td>350m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>60.9</td><td>54.9</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>62.0</td><td>56.0</td></tr> </table>	350m			4.5m	60.9	54.9	7.2m	62.0	56.0
350m										
4.5m	60.9	54.9								
7.2m	62.0	56.0								
	<table border="1"> <tr><td>400m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>59.7</td><td>53.7</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>60.9</td><td>54.9</td></tr> </table>	400m			4.5m	59.7	53.7	7.2m	60.9	54.9
400m										
4.5m	59.7	53.7								
7.2m	60.9	54.9								
	<table border="1"> <tr><td>450m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>58.7</td><td>52.7</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>59.9</td><td>53.9</td></tr> </table>	450m			4.5m	58.7	52.7	7.2m	59.9	53.9
450m										
4.5m	58.7	52.7								
7.2m	59.9	53.9								
	<table border="1"> <tr><td>500m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>57.7</td><td>51.7</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>59.0</td><td>53.0</td></tr> </table>	500m			4.5m	57.7	51.7	7.2m	59.0	53.0
500m										
4.5m	57.7	51.7								
7.2m	59.0	53.0								

Differenz A – B

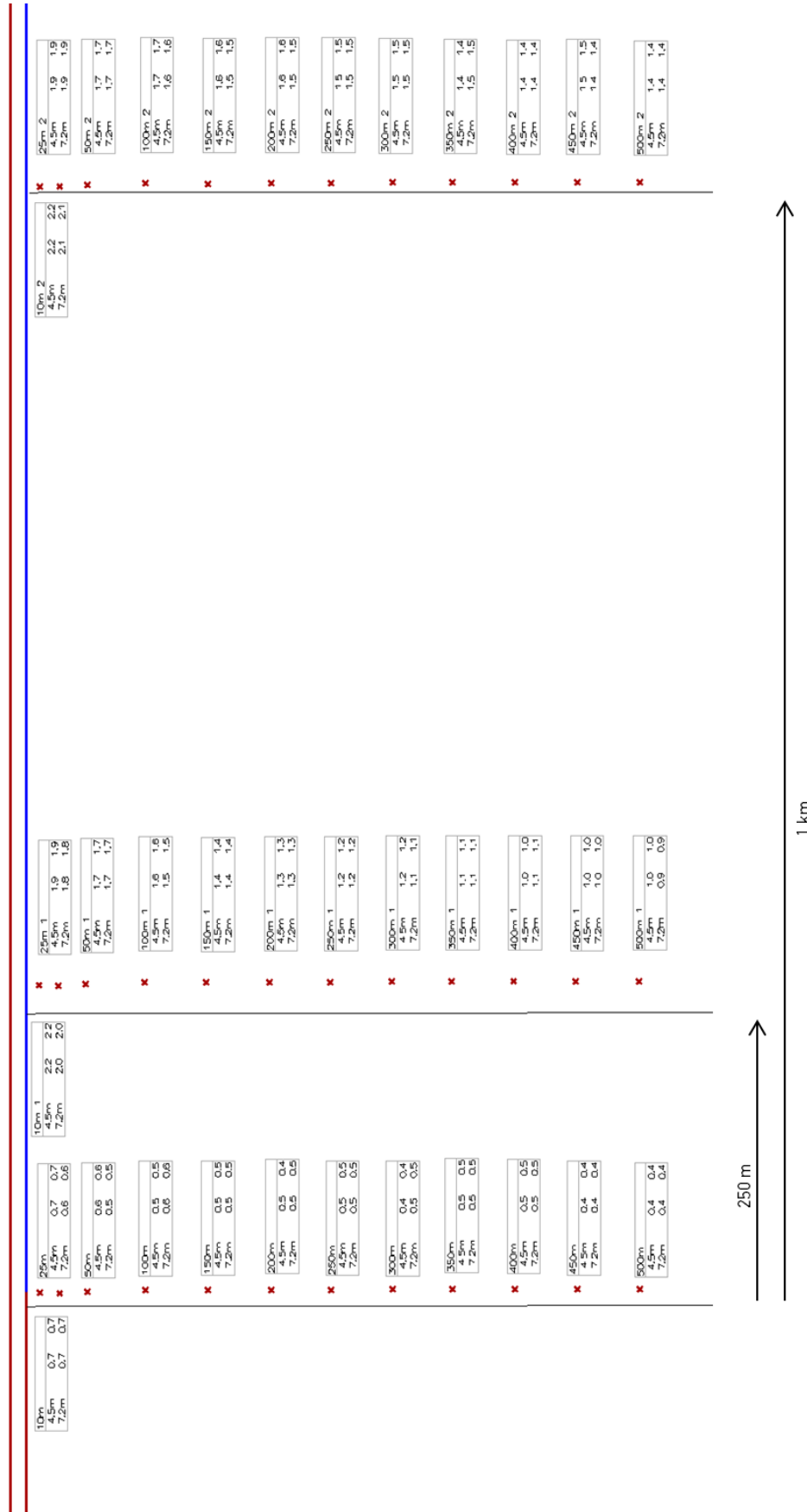
	<table border="1"> <tr><td>50m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.3</td><td>0.3</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	50m			4.5m	0.3	0.3	7.2m	0.2	0.2
50m										
4.5m	0.3	0.3								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>100m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	100m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
100m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>150m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	150m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
150m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>200m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	200m			4.5m	0.2	0.1	7.2m	0.2	0.2
200m										
4.5m	0.2	0.1								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>250m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	250m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
250m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>300m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	300m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.2	0.2
300m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>350m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	350m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.2	0.2
350m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>400m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr> </table>	400m			4.5m	0.2	0.2	7.2m	0.2	0.2
400m										
4.5m	0.2	0.2								
7.2m	0.2	0.2								
	<table border="1"> <tr><td>450m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> </table>	450m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.1	0.1
450m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.1	0.1								
	<table border="1"> <tr><td>500m</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4.5m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> <tr><td>7.2m</td><td>0.1</td><td>0.1</td></tr> </table>	500m			4.5m	0.1	0.1	7.2m	0.1	0.1
500m										
4.5m	0.1	0.1								
7.2m	0.1	0.1								

In den nachfolgenden drei Abbildungen wurde untersucht, ab welcher Distanz zwischen Immissionspunkt und Quelle eine Festlegung der Belagskorrekturen aufgrund der stärker aggregierten Ergebnispläne (mit Mittelwertdifferenz > 2 dB) nicht mehr ausreichend ist bzw. zu relevanten Unterschätzungen führen kann. Dazu wurde ein Beispiel gewählt, in welchem sich die akustischen Eigenschaften zweier angrenzender Belagsabschnitte so stark unterscheiden, dass sie bei der stärker aggregierten Darstellung gerade nicht in separat ausgewiesene Abschnitte unterteilt werden. Im detaillierten Ergebnisplan würden sie allerdings unterteilt.





Differenz 1 - 2)



VI Sensitivitätsanalyse Anteil Schwerverkehr

Um den Einfluss verschiedener Schwerverkehrsanteile auf die Mischverkehrswerte zu untersuchen, wurde im Folgenden eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Damit soll der mögliche Fehler bei der Verwendung von Standardschwerverkehrsanteil 15% N2 abgeschätzt werden.

Ort	Belag	Belagsgütwerte Abw. StL-86+ [dB(A)]		Mischverkehr bei 5% Schwer-ver- kehrsanteil [dB(A)]	Mischverkehr bei 10% Schwer-ver- kehrsanteil [dB(A)]	Mischverkehr bei 15% Schwer-ver- kehrsanteil [dB(A)]	Abw. 5 <> 15% [dB]	Abw. 10 <> 15% [dB]
		PW (N1)	LKW (N2)					
Rossens - Flamatt	Abschnitt 1	+1.9	+1.6	+1.8	+1.7	+1.7	0.1	0.0
Rossens - Flamatt	Abschnitt 2	+0.9	+0.3	+0.7	+0.6	+0.6	0.1	0.0
Rossens - Flamatt	Abschnitt 3	+1.9	+1.4	+1.7	+1.6	+1.6	0.1	0.0
Rossens - Flamatt	Abschnitt 4	+3.2	+2.2	+2.9	+2.7	+2.6	0.3	0.1
Rossens - Flamatt	Abschnitt 5	-1.0	-1.6	-1.2	-1.3	-1.4	0.2	0.1
Rossens - Flamatt	Abschnitt 6	+1.8	+1.8	+1.8	+1.9	+1.9	-0.1	0.0
Mittlere Abweichung							0.2	0.0

Ort	Belag	Belagsgütwerte Abw. StL-86+ [dB(A)]		Mischverkehr bei 5% Schwer-ver- kehrsanteil [dB(A)]	Mischverkehr bei 10% Schwer-ver- kehrsanteil [dB(A)]	Mischverkehr bei 15% Schwer-ver- kehrsanteil [dB(A)]	Abw. 5 <> 15% [dB]	Abw. 10 <> 15% [dB]
		PW (N1)	LKW (N2)					
Riffigwald - Rotsee	Abschnitt 1	+2.9	+2.6	+2.8	+2.7	+2.7	0.1	0.0
Riffigwald - Rotsee	Abschnitt 2	-0.4	-0.9	-0.6	-0.7	-0.7	0.1	0.0
Riffigwald - Rotsee	Abschnitt 3	-1.4	-2.1	-1.6	-1.8	-1.8	0.2	0.0
Riffigwald - Rotsee	Abschnitt 4	+2.1	+1.8	+2.0	+1.9	+1.8	0.2	0.1
Mittlere Abweichung							0.2	0.0

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die Belagsgütwerte bei variierenden Schwerverkehrsanteilen von 5%, 10% und 15% lediglich geringfügig abweichen. Die mittlere Abweichung zwischen der Berechnung mit 5% und der Berechnung mit 15% beträgt 0.2 dB. Zwischen den Berechnungen mit 10% und 15% Schwerverkehrsanteil ist kaum ein Unterschied festzustellen.

Glossar

Begriff	Bedeutung
SPB	Statistical Pass-By Methode (statistische Vorbeifahrtsmessungen)
CPX	Close-Proximity Methode
SEM	Stichproben-Emissionsmessungen
Leq	Äquivalenter Dauerschallpegel
SEL	Ereignispegel
StL-86+	Strassenlärmmodell 86+
Lmax	Maximalpegel
Belagskorrektur	Mit Belagskorrektur ist der Einfluss des Strassenbelages auf die Emissionen nach StL-86+ gemeint. Darin nicht enthalten sind allfällige weitere Korrekturen für das Abweichen von der signalisierten Geschwindigkeit und für das Abweichen des Fahrverhaltens. Die Gesamtheit aller Korrekturen wird als Modellkorrektur bezeichnet.
Modellkorrektur	Die Modellkorrektur ist die Gesamtheit aller Korrekturen.
Ermittlung akustischer Eigenschaften von Belägen zur Verwendung in Projekten	Flächendeckende Erhebung des akustischen IST-Zustands der Strassenoberfläche, meist für ganze Netzabschnitte. Die Resultate dienen vorrangig der Ermittlung von Belagskorrekturen in Lärmschutzprojekten.
Monitoring Belag	Erhebung detaillierter akustischer Eigenschaften von Strassenbelägen sowie deren akustischen Veränderung über Zeit.
Richtungsfahrbahn	Die Richtungsfahrbahn besteht aus sämtlichen Fahrspuren einer Richtung.
Akustisch homogene Abschnitte	Berechneter Streckenabschnitt, in welchem sich die mittlere akustische Belagsgüte bis zu einem bestimmten Wert nicht verändert.

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA & Bundesamt für Umwelt BAFU (2013), "**Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen**", www.astra.admin.ch.
- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA & Bundesamt für Umwelt BAFU (2006), "**Leitfaden Strassenlärm**", www.astra.admin.ch.
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), „**Nationalstrassennetz als räumliches Basis-Bezugssystem RBBS**“, Richtlinie ASTRA 10001, V1.00, www.astra.admin.ch
- [4] Bundesamt für Strassen ASTRA & Bundesamt für Umwelt BAFU (2013), "**Leitfaden Strassenlärm Anhang 1b: Belagskennwerte - Anwendungshilfe für die Belagsakustik**", www.astra.admin.ch.

Normen

- [5] ISO CD 11819-2:2000, "**Acoustics -Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method**".
- [6] ISO/FDIS 11819-2:2016, "**Acoustics - Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 2: The close-proximity method**", p. 72.
- [7] ISO/TS 11819-3:2016, "**Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 3: Reference tyres.**" ISO TC 43/SC 1/WG 33, p. 31.
- [8] ISO/DTS 13471-1:2016 (E), "**Acoustics - Temperature influence on tyre/road noise measurement - Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method**".
- [9] EN ISO 11819-1:2002, "**Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method**".

Fachhandbuch des ASTRA

- [10] Bundesamt für Strassen ASTRA (2015), "**Fachhandbuch Trasse / Umwelt**".

Dokumentation / Berichte

- [11] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), "**ASTRA 2010/014: Forschungsprojekt EP 5 - Verbesserung des Genauigkeitsgrads akustischer Messmethoden**".
- [12] Müller-BBM (2016), "**ASTRA 2011/007_OBF: Projektbegleitende Forschung Akustik: Ableitung von Belagsgütewerten aus CPX-Messungen**".
- [13] M. Merki, R. Schibli, S. Schulze, and E. Bühlmann (2014), "**Statistical methods to determine acoustically homogeneous sections and predict road surface type changes using tyre / road noise data**", Proc. Forum Acusticum, Kraków, Pol., pp. 1–6.
- [14] W. Schwanen, G. Van Blokland, and M. Van Leeuwen (2007), "**Comparison of potential CPX-tyres - Variability within AVON AV4 and SRTT tyre type**", M+P - Consult. Eng. Rep. DWW.07.04.2, pp. 1–29
- [15] R. Tonin, M. Chung, and M. Gange (2015), "**RONDA open frame CPX trailer - results of first trials**", Proc. Internoise San Fransisco, USA, p. 12.
- [16] F. A. Lédée and J. Kragh, "**Wind noise influence on close-proximity tyre / road noise measurements with uncovered systems**", pp. 1–10.
- [17] E. Hammer, S. Egger, T. Saurer, and E. Bühlmann (2016), "**Traffic noise emission modelling at lower speeds**" in Conference Proceeding ICSV 2016, pp. 1–8.
- [18] E. Bühlmann, S. Schulze, and T. Ziegler (2013), "**Ageing of the new CPX reference tyres during a measurement season**", Proc. Internoise Innsbruck, Austria, pp. 1–8.
- [19] U. Sandberg and J. A. Ejsmont, "**INTER-NOISE 2007**", no. August, 2007.
- [20] U. Sandberg and K. Glaeser (2008), "**Effect of Tyre Wear on Noise Emission and Rolling Resistance**", Proc. Inter-noise, pp. 1–20.

-
- [21] E. Bühlmann and T. Ziegler, “**Temperature effects on tyre / road noise measurements and the main reasons for their variation**”, pp. 1–7.
-
- [22] E. Bühlmann and G. van Blokland (2014), “**Temperature effects on tyre / road-noise – A review of empirical research**”, Proc. Forum Acusticum Krakow, Pol.
-
- [23] H. Bendtsen, J. Oddershede, Q. Lu, and A. Rezaei (2013), “**Vejdirektoratet Report 436 Asphalt pavement texture and noise: Laboratory experiment with acoustic optimisation tool**”.
-
- [24] A. van Beck and J. Hoogwerff (2007), “**Evaluatie geluideigenschappen hoofdwegenet**”, Proc. Geluid Trillingen Luchtkwal., pp. 1–8.
-
- [25] R. S. H. Skov (2016), “**Analysis and comparison of methods, CPX and SPB, for measuring noise properties of road surfaces**”, pp. 4964–4974.
-
- [26] G. Licitra, M. Losa, L. Alfinito, and M. Cerchiai (2007), “**Correlation factors between statistical Pass-By and Close-Proximity noise level on Italian roads**”, Proc. ICA Madrid, Spain.
-
- [27] G. Licitra, M. Cerchiai, L. Teti, F. Bianco, M. Chetoni, and E. Ascari (2007), “**Relationship between Pass By results, CPX ones and roadside long-term measures: some considerations**”, Proc. Internoise Hamburg, Ger., vol. 274, no. 35, pp. 4955–4963.
-
- [28] P. Morgan, U. Sandberg, and G. van Blokland (2009), “**The selection of new reference test tyres for use with the CPX method, to be specified in ISO/TS 11819-3**”, Proc. Internoise Ottawa, Canada.
-
- [29] P. R. Donovan and D. M. Lodico (2009), “**NCHRP Report 630 - Measuring Tire-Pavement Noise at the Source**”, Washington, D.C (USA).
-
- [30] F. Anfosso-Lédée, C. Leroux, and G. Dutilleux (2014), “**Groupe National sur les Caractéristiques de Surface (GNCDs) - Les travaux du sous-groupe Bruit**”, Proc. Bruitparif - Forum des acteurs spécial bruit routier.
-
- [31] Bundesamt für Strassen ASTRA (2016), “**MISTRA TRA Datenerfassungshandbuch**“, *IT-Dokumentation ASTRA 61014*.
-
- [32] EMPA (1987), “**Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm**”, in Schriftenreihe Umwelt Nr. 60, Bern: Bundesamt für Umweltschutz, p. 47.
-
- [33] BUWAL (2010), “**Strassenlärm : Korrekturen zum Strassenlärmmodell**”.
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2017	1.00	20.09.2017	Inkrafttreten Ausgabe 2017 (Originalversion in Deutsch).

