



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Lärmschutzprojekte            ASTRA Filialen    -    Projektbegleitende Forschung Akustik**

**Projets de protection contre le bruit des filiales OFROU -  
accompagnement recherche acoustique**

**Noise Protection Projects of the FEDRO Regional Offices -  
Accompanying Acoustic Research**

**Müller-BBM Schweiz AG  
Thomas Beckenbauer, Dr.-Ing., Dipl.-Ing. Univ.  
Daniel Belcher, Dipl.-Phys.  
Guido Kneib, Dr. rer. nat., Geophys.**

**Forschungsprojekt ASTRA 2011/007\_OBF auf Antrag des  
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

**Oktober 2016**

**1576**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Lärmschutzprojekte            ASTRA Filialen    -    Projektbegleitende Forschung Akustik**

**Projets de protection contre le bruit des filiales OFROU -  
accompagnement recherche acoustique**

**Noise Protection Projects of the FEDRO Regional Offices -  
Accompanying Acoustic Research**

**Müller-BBM Schweiz AG  
Thomas Beckenbauer, Dr.-Ing., Dipl.-Ing. Univ.  
Daniel Belcher, Dipl.-Phys.  
Guido Kneib, Dr. rer. nat., Geophys.**

**Forschungsprojekt ASTRA 2011/007\_OBFauf Antrag des  
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

**Oktober 2016**

**1576**

# Impressum

## **Forschungsstelle und Projektteam**

### **Projektleitung**

Thomas Beckenbauer, Dr.-Ing., Dipl.-Ing. Univ.

### **Mitglieder**

Daniel Belcher, Dipl.-Phys.

Guido Kneib, Dr. rer. nat., Dipl.-Geophys.

## **Begleitkommission**

### **Präsident**

Kurt Heutschi

### **Mitglieder**

Maria Balmer

Sabine Würmli

Frank Abbühl

Thomas Arn

Hans-Peter Beyeler

Hanspeter Gloor

Yves Pillonel

Dominique Schneuwly

Simon Steiner

## **Antragsteller**

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

## **Bezugsquelle**

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Aufgabe, Vorgehen und Nutzen</b> .....	<b>13</b>
1.1 Situation und Aufgabenstellung .....	13
1.2 Methodisches Vorgehen .....	14
1.3 Hinweise zur Gliederung .....	15
1.4 Nutzen und Folgerungen.....	15
<b>2 Grössen und Einheiten</b> .....	<b>17</b>
<b>3 Anwendung der Kb-Wert-Ableitung</b> .....	<b>19</b>
3.1 Übersicht .....	19
3.2 Zusammengefasster Formalismus.....	20
3.3 Aufbereitung der CPX-Messwerte.....	21
3.3.1 Systemkorrektur und Mittelung über Mikrofone .....	21
3.3.2 Beiträge für die Schalleistungsergänzung.....	21
3.3.3 Geschwindigkeitskorrektur .....	22
3.3.4 Temperaturkorrektur .....	22
3.4 Beiträge für die Berechnung der SPB-Spektren .....	22
3.5 SPB-Geschwindigkeitstransformation für PW.....	23
3.6 Berechnung Gesamtpegel und Belagsgütwerte .....	24
<b>4 Bestimmung der Kb-Wert-Ableitung</b> .....	<b>25</b>
4.1 Schalleistungsergänzung der CPX-Spektren.....	25
4.2 Differenz zwischen CPX- und SPB-Spektren .....	27
4.3 Geschwindigkeits-Transformation der SPB-Spektren (PW) .....	28
<b>5 Akustische Belagsgüte-Messungen</b> .....	<b>29</b>
5.1 Messorte.....	29
5.2 CPX-Methode.....	30
5.2.1 Zweck .....	30
5.2.2 Messergebnisse und Messbedingungen .....	30
5.2.3 Beschreibung des Messanhängers.....	31
5.2.4 Mikrofonpositionen .....	32
5.2.5 Beschreibung der Messreifen .....	33
5.2.6 Ermittlung der Messwerte .....	33
5.2.7 Kalibrierung .....	34
5.2.8 Messgenauigkeit .....	34
5.2.9 Qualitätsmanagement .....	34
5.2.10 Messmittel .....	34
5.3 SPB-Methode .....	36
5.3.1 Mikrofonpositionen .....	36
5.3.2 Zeitpunkt, Witterung und Störgeräusche .....	36
5.3.3 Messergebnisse .....	37
5.3.4 Messmittel .....	38
<b>6 Genauigkeit der Kb-Wert-Ableitung</b> .....	<b>39</b>

<b>7</b>	<b>Validierung der Kb-Wert-Ableitung.....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Datenbank aller CPX- und SPB-Messdaten.....</b>	<b>45</b>
<b>9</b>	<b>Praktische Anwendung .....</b>	<b>47</b>
	<b>Glossar.....</b>	<b>49</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>51</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>53</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>57</b>

## Zusammenfassung

Gemäss Leitfaden Strassenlärm ist nach Einbau lärmarmen Fahrbahndeckbeläge ein akustisches Belagsmonitoring über die Dauer von 5 Jahren durchzuführen. Grundlage für die Bestimmung der akustischen Belagsgüte ist dessen Anhang 1c [4]. Die darin enthaltene Beschreibung des Close-Proximity-Messverfahrens (CPX) zur Bestimmung der akustischen Belagsgüte richtet sich im Wesentlichen nach der Norm ISO/DIS 11819-2 [2]. Zur Erhöhung der Genauigkeit wurden aber einzelne Anforderungen präzisiert.

Ein weiterer Zusatz ist ein lineares Regressionsmodell zur Umrechnung von CPX-Werten in sogenannte Belagsgütwerte. In der Praxis hat sich gezeigt, dass diese Umrechnung einfach anzuwenden ist, aber nicht immer zu realistischen Belagsgütwerten führt. Dies hat den Anstoss für diese projektbegleitende Forschungsarbeit gegeben. Die akustische Belagsgüte wird mit dem Belagsgütwert  $K_b$  angegeben. Der  $K_b$ -Wert entspricht der mittleren Differenz der Emissionspegel der Strassenfahrzeuge auf dem zu bewertenden Belag zum Emissionspegel des Referenzmodells StL-86+ [6]. Der  $K_b$ -Wert modifiziert die Schallemissionen derart, dass er die Emissionswerte bei einem lärmarmen Fahrbahnbelag herabsetzt.

In der vorliegenden projektbegleitenden Forschungsarbeit wird eine spektrale Ableitung der  $K_b$ -Belagsgütwerte aus CPX-Messungen vorgestellt, die „ $K_b$ -Wert-Ableitung“. Sie berücksichtigt das Abstrahlverhalten der Reifen im Nahfeld und die typischerweise gegebene Geschwindigkeitsdifferenz zwischen SPB<sup>1</sup> - und CPX-Messungen und ermöglicht dadurch eine genauere Umrechnung. Die zugrundeliegende Datenbasis besteht aus insgesamt 33 CPX-SPB<sup>1</sup>-Wertepaaren, die jeweils am selben Messort erhoben worden sind. Dazu wurden 15 anstehende akustische Belagsmonitoring-Projekte, bei denen SPB-Messungen im Jahr 2013 auszuführen waren, durch CPX-Messungen begleitet. Die Datenbasis wurde durch 18 weitere Wertepaare für Messstellen ergänzt, an denen parallel zur akustischen Zustandserfassung des gesamten Nationalstrassennetzes mit der CPX-Methode im Jahr 2009 SPB-Messungen durchgeführt worden waren.

Die im Jahr 2013 nach Anhang 1c durchgeführten CPX-Messungen wurden durch Nahfeldmessungen mit einer Viel-Mikrofon-Anordnung zur Erfassung des Abstrahlverhaltens des rollenden Reifens in Abhängigkeit von der Fahrbahndeckschicht ergänzt. Durch Analyse und Berücksichtigung des Abstrahlverhaltens als Schalleistungsergänzung konnte die Korrelation der SPB- und CPX-Werte verbessert werden.

Da die durchschnittliche Geschwindigkeit bei SPB-Messungen variiert und auf Autobahnen in der Regel deutlich grösser ist als die Fahrgeschwindigkeit bei CPX-Messungen (80 km/h), wurde eine SPB-Geschwindigkeitstransformation abgeleitet, mit der die SPB-Spektren auf 80 km/h umgerechnet und mit den CPX-Daten spektral verglichen werden.

Die  $K_b$ -Wert-Ableitung lässt sich in fünf Schritten darstellen:

- A Tertspektrum des CPX-Pegels je Reifentyp
- B Schalleistungsergänzung
- C Umrechnung CPX → SPB
- D SPB-Geschwindigkeitstransformation
- E Berechnung SPB- und Emissionspegel sowie  $K_b$ -Wert gemäss StL-86+

Ein Mass für die Genauigkeit der  $K_b$ -Wert-Ableitung ist der Vergleich der abgeleiteten  $K_b$ -Werte mit den tatsächlich erhobenen und mit den nach Anhang 1c des Leitfadens

<sup>1</sup> Statistische Vorbeifahrt-Methode (Statistical Pass-By)

Strassenlärm [4] berechneten. Sowohl die Standardabweichung als auch die Spannweite der Differenzen aller Wertepaare reduzieren sich etwa auf die Hälfte. Die Validierung der Kb-Wert-Ableitung anhand von drei weiteren unabhängigen Wertepaaren, die nicht für die Herleitung des Umrechnungsmodells verwendet wurden, bestätigt den potentiellen Genauigkeitsgewinn dieser Methode gegenüber der direkten Korrelation nach [4].

Da die hier vorgelegte Kb-Wert-Ableitung modular aufgebaut ist und als Zwischenresultat einen mittleren maximalen Vorbeifahrtpegel, wie er bei einer SPB-Messung ermittelt wird, berechnet, lässt sie sich auch mit einem anderen Emissionsansatz als den in StL-86+ enthaltenen verwenden. Dadurch kann die Methode auch in Zukunft, beispielsweise mit SonRoad, kombiniert werden.

## Fazit

Die hier beschriebene Kb-Wert-Ableitung verbessert die Ermittlung von Belagsgütwerten anhand von CPX-Messwerten gegenüber dem im Anhang 1c beschriebenen Regressionsmodell. Sie lässt sich mit einer einfachen Tabellenkalkulation realisieren. Eingegeben werden müssen nur die gemessenen CPX-Spektren beider Messreifentypen für den jeweiligen Belagsabschnitt, die tatsächliche Geschwindigkeit der CPX-Messfahrt und die Lufttemperatur während der Messung. Einzige notwendige Erweiterung der CPX-Messung besteht in der Auswertung des Terzspektrums der gemessenen CPX-Pegel. Dies stellt jedoch keinen Mehraufwand dar, da zeitgemäße akustische Messsysteme schon während der Messung eine Spektralanalyse erlauben und neben dem A-bewerteten Gesamtpegel auch die dazugehörigen Terzpegel abspeichern. Die Terzpegel stehen also nach der Messung ohne weitere Arbeitsschritte bereits zur Verfügung.

Da für die Validierung des Umrechnungsmodells lediglich drei unabhängige Datensätze zur Verfügung standen, sind weitere Tests des Modells anhand von CPX-SPB-Wertepaaren für identische Belagsabschnitte empfehlenswert. Dabei sollten möglichst unterschiedliche Belagstypen berücksichtigt werden.

## Summary

According to the “Leitfaden Strassenlärm” (Road Noise Guide) an acoustical monitoring over five years must be carried out after a low noise road surface has been laid. The monitoring of the pavement’s acoustic quality (Belagsgüte) is described in the guides’ annex 1 c [4]. The specification of the close proximity method (CPX) for monitoring a pavement’s acoustical quality mainly complies with the Standard ISO/DIS 11819-2 [2]. A few requirements were concretised in order to increase accuracy.

Additionally, annex 1 c contains a linear regression model for the conversion of CPX-values into acoustic pavement quality indices, so called Belagsgütewerte. Though easily applicable in practice the results are not always realistic, which gave motivation for this research work.

The acoustic pavement quality index  $K_b$  is the average difference between the road noise emission levels on the pavement to be evaluated and the  $StL-86+$  reference model [6]. The  $K_b$  value modifies the noise emissions in such a way that it is negative for low noise road surfaces and thereby reduces the emission values.

In the research work at hand a spectral derivation of  $K_b$  values from CPX-measurements is presented, the  $K_b$  value derivation. It takes the sound directivity of the tires in the near field and also the typical speed difference between  $SPB^2$ - and CPX-measurements into account and enables a more accurate conversion. The data set which has been used to develop the procedure consists of 33 pairs of CPX-SPB-values in total, where each was measured at the same site. Thereof 15 were upcoming acoustical monitoring projects with SPB-measurements in the year 2013, which were accompanied by CPX-measurements. The data set was completed by 18 additional value pairs, where SPB-measurements were performed in parallel to the acoustical CPX survey of the entire national road network in the year 2009.

The CPX-measurements in 2013 were performed with a microphone array to capture the sound directivity of rolling tires. By analysing and taking the directivity as sound power complement into account the correlation of SPB- and CPX-values could be improved.

Due to high mean speeds of SPB-measurements compared to the CPX-measurement speed (80 km/h) and their variance, a SPB-speed-transformation was derived, which enables shifting the SPB-spectra to 80 km/h for the comparison with CPX-data.

The  $K_b$  value derivation can be described in five steps:

- A third octave band spectrum of the CPX noise level per tire type
- B sound power complement
- C conversion CPX → SPB
- D SPB speed transformation
- E calculation of the SPB and emission levels, as well as the  $K_b$  value ( $StL-86+$ )

A measure for the precision of the  $K_b$  value derivation is a comparison of the derived  $K_b$  values with the actually measured ones and with the ones calculated according to the annex 1 c of the Leitfaden Strassenlärm [4]. Both the standard deviation and the spread of the differences of all value pairs are reduced down to roughly the half.

---

<sup>2</sup> Statistical Pass-By method

The validation of the  $K_b$  value derivation based on three other value pairs, which have not been used for the development of the derivation procedure, confirm the gain in accuracy of this method compared to the direct correlation (as in [4]).

Due to the  $K_b$  value derivation's modularity and that its interim result is a mean maximum pass-by-level as it is monitored by means of a SPB-measurement, it can be used with emission models other than StL-86+. Thus in future the method can also be combined e. g. with SonRoad.

The  $K_b$  value derivation can easily be applied by using a simple spreadsheet process, where the CPX-spectrum of both tire types, the measuring conditions (speed and air temperature) and the type of pavement are put in. The only extension concerning the CPX measurement applies to the evaluation of the measured CPX levels. However, this does not mean any additional effort because spectral analysis is completed by state-of-the-art acoustic measuring systems during the measurement. Third octave band levels are available after the measurement without any extra work.

## Résumé

Selon le „Leitfaden Strassenlärm“ (Manuel du Bruit Routier), il est de mise, après l'installation de revêtements routiers peu bruyants, d'effectuer une surveillance acoustique sur une durée de 5 ans. La base pour la détermination de la performance acoustique se trouve dans l'annexe 1 c [4]. La description de la méthode de mesure en champ proche (CPX) pour la détermination de la performance acoustique dépend essentiellement de la Norme ISO/DIS 11819-2 [2]. Afin d'augmenter la précision, certaines exigences ont été précisées.

L'annexe 1c contient également un modèle de régression linéaire pour la conversion des valeurs CPX en valeurs caractéristiques des revêtements. En pratique, on constate que cette conversion est facile à utiliser mais qu'elle ne produit pas toujours des résultats réalistes. C'est cette constatation qui a conduit à ce travail de recherche lié au projet.

La performance acoustique de la chaussée est spécifiée en valeur caractéristique  $K_b$ . La valeur  $K_b$  est la différence moyenne entre les niveaux d'émissions du trafic routier sur la chaussée et le modèle de référence StL-86+ [6]. La valeur  $K_b$  modifie les émissions acoustiques de telle manière qu'elle est négative sur les chaussées peu bruyantes et qu'elle diminue les valeurs d'émissions.

Dans le travail de recherche lié au projet, la dérivation spectrale des valeurs caractéristiques des revêtements  $K_b$  issues des mesures CPX est présentée: c'est „la valeur dérivée  $K_b$ “. Elle tient compte du comportement par rayonnement sonore des pneus en champ proche et la différence de vitesse typique entre des mesures SPB<sup>1</sup> et CPX, ce qui permet une conversion plus précise. La base de données se compose d'un total de 33 paires de valeurs CPX-SPB<sup>3</sup>, mesurées sur un même site. 15 d'entre elles, faisant partie d'un projet de surveillance acoustique par des mesures SPB en 2013, ont été accompagnées de mesures CPX. La base de données a été complétée par 18 autres paires de valeurs, issues de mesures du relevé de l'état acoustique de l'ensemble du réseau des routes nationales réalisées en 2009 avec la méthode CPX et en parallèle la méthode SPB.

Les mesures CPX supplémentaires (en 2013) ont été réalisées avec un arrangement multiple de microphones afin de déterminer le comportement par rayonnement de pneus roulants. Par l'analyse et la reconnaissance du comportement par rayonnement sonore en tant que complément de puissance acoustique, la corrélation des valeurs SPB et CPX a pu être améliorée.

Etant donnée que la vitesse moyenne varie lors des mesures SPB et qu'elle est généralement nettement supérieure sur autoroutes que la vitesse lors des mesures CPX (80 km/h), une transformation de la vitesse SPB a été conçue, qui convertit le spectre SPB sur 80 km/h afin de permettre la comparaison avec les données CPX.

La valeur dérivée  $K_b$  peut être déterminée en cinq étapes :

- A Spectre en tiers d'octave du niveau CPX par type de pneu
- B Complément de puissance acoustique
- C Conversion CPX → SPB
- D Transformation de la vitesse SPB
- E Calcul des niveaux d'émissions SPB et valeurs  $K_b$  selon StL-86+

<sup>3</sup> Méthode statistique au passage (Statistical Pass-By)

Une mesure pour la précision de la valeur dérivée  $K_b$  est la comparaison des valeurs  $K_b$  dérivées avec les données réelles et avec celles calculées selon l'annexe 1 c du Manuel du Bruit Routier [4]. L'écart type ainsi que la plage de différences de toutes les paires de valeurs sont réduites de moitié environ.

La validation de la valeur dérivée  $K_b$  au moyen de trois paires de valeurs supplémentaires qui n'étaient pas utilisées à cet effet, confirme le gain potentiel de précision de cette méthode par rapport à la corrélation directe (selon [4]).

Comme la valeur dérivée  $K_b$  est construite de façon modulaire et calculée comme un résultat intermédiaire du niveau moyen maximal au passage, tel que déterminé lors de mesures SPB, elle peut être utilisée avec un principe d'émission différent du StL-86+. Ainsi, le procédé pourra à l'avenir également être combiné avec SonRoad par exemple.

L'application de la valeur dérivée  $K_b$  peut être réalisée avec une simple feuille d'un tableur, où les données d'entrée sont les spectres CPX des deux types de pneus mesurés, les conditions lors des mesures (vitesse de conduite et température de l'air) et le type de revêtement de la chaussée.

# 1 Aufgabe, Vorgehen und Nutzen

## 1.1 Situation und Aufgabenstellung

Die Filialen des Bundesamtes für Strassen führen eine Vielzahl von Lärmschutzprojekten auf Basis der Lärmschutz-Verordnung LSV durch. Zu den Lärmschutzmassnahmen zählt insbesondere auch der Einbau von lärmarmen Fahrbahndeckbelägen. Gemäss Leitfaden Strassenlärm ist nach Einbau solcher Deckbeläge ein akustisches Belagsmonitoring über die Dauer von 5 Jahren durchzuführen.

Grundlage für die Bestimmung der akustischen Belagsgüte ist Anhang 1c „Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen“ Version vom 31.07.2013 zum Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung des ASTRA und BAUFU vom Dezember 2006 [4]. Demnach wird die akustische Belagsgüte durch Messungen nach der Statistischen Vorbeifahrtmethode (SPB), durch Stichproben-Emissionsmessungen (SEM) und durch Messungen nach der Close-Proximity-Methode (CPX) ermittelt. Die SPB-Methode sieht die Messung der Vorbeifahrtgeräusche von Einzelfahrzeugen im fließenden Verkehr vor. Da die Vorbeifahrtgeräusche im Fernfeld der Fahrzeuge an einem Punkt gemessen werden, sind folgende Sachverhalte von Bedeutung, die die Anwendung dieser Messmethode zur Charakterisierung der akustischen Wirkung von lärmarmen Fahrbahndeckbelägen deutlich erschweren.

- Die Erfassung der Geräusche von Einzelfahrzeugen ist
  - in dichtem Verkehr nicht möglich und
  - bei mehrstreifigen Fahrbahnen nur in verkehrsschwachen Zeiten, insbesondere nachts möglich.
- LKW-Fahrverbot (22-5 Uhr) während der verkehrsschwachen Nachtzeit
- Punktuelle Messung, Homogenität des Belagsabschnitts wird nicht erfasst
- Fahrstreifenbeschränkung auf Normalspur

Alternative Messmethoden zur Bestimmung der akustischen Belagsgüte werden seit vielen Jahren in der Praxis angewandt, dabei stetig verbessert, dem Stand der Technik und neuen Anforderungen angepasst. Einige Messsysteme haben sich auf Grund der einfachen Interpretierbarkeit der Messergebnisse besonders durchgesetzt. Hierzu zählt unter anderem das CPX-Messverfahren, welches ebenfalls im Leitfaden Strassenlärm [4] und im Normenentwurf ISO/DIS 11819-2 “Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method” beschrieben [2] ist. Beim CPX-Messverfahren werden die Reifen-Fahrbahn-Geräusche im Nahfeld der Reifenaufstandsfläche des rollenden Reifens direkt und kontinuierlich gemessen. Die Messungen finden mit genormten Reifen in definiertem Zustand statt. Dadurch sind Unterschiede des Schallpegels der Reifen-Fahrbahn-Geräusche auf Unterschiede in der akustischen Belagsgüte unmittelbar zurück zu führen. Die kontinuierliche Messung lässt die lückenlose Erfassung ganzer Strassenabschnitte zu.

Die akustische Belagsgüte wird mit dem Belagsgütewert  $K_b$  angegeben. Der  $K_b$ -Wert gibt den (mittleren) Unterschied des Schallemissionspegels der Strassenfahrzeuge auf dem zu bewertenden Belags gegenüber einem „Referenzbelag“ an – genauer gegenüber dem Referenzmodell StL-86+ [6], welches die Geschwindigkeit und Verkehrszusammensetzung berücksichtigt. Die von der Verkehrsmenge, der Fahrgeschwindigkeit und der Verkehrszusammensetzung abhängigen Schallemissionen einer Strasse werden durch den  $K_b$ -Wert modifiziert: im Falle eines lärmarmen Fahrbahndeckbelags ist er negativ und setzt die Emissionswerte herab.

Das ASTRA erwägt das Monitoring der akustischen Belagsgüte nicht mehr mit Hilfe der SPB-Methode, sondern anhand von CPX-Messungen durchführen zu lassen. Vor dem definitiven Methodenwechsel sollte das CPX-Messverfahren in der Praxis der Lärmschutzprojekte nochmals erprobt und parallel zur SPB-Methode angewandt werden, um

auch einen erweiterten Messdatenbestand aufzubauen, der der Umrechnung von CPX-Messwerten in Belagsgütwerte  $K_b$  zugrunde gelegt werden kann. Für die Bestimmung der Belagsgüte anhand von CPX-Messdaten gibt der Anhang 1c des Leitfadens Straßenlärm [4] eine Umrechnung vor, die auf einer direkten Korrelation von CPX- mit  $K_b$ -Werten basiert. In der Praxis entstehen bei der Anwendung der auf diese Weise berechneten  $K_b$ -Werte in Lärmschutzprojekten mit Immissionsbetrachtungen Auffälligkeiten und Unstimmigkeiten. Gründe dafür können sein:

- Abweichungen durch unterschiedliche Geschwindigkeiten bei SPB-Messungen, sowohl bei der Erstellung als auch bei der Anwendung der Umrechnung.
- Nicht repräsentatives Kollektiv an Belagstypen, -alter und -zustand: Lärmarme Beläge werden in ihrer Anfangsphase einem belagsakustischen Monitoring unterzogen; an Strecken mit nicht-lärmarmen und alten Beläge werden jedoch selten beide Messungen durchgeführt, sodass es kaum Wertepaare gibt.

Dies gab den Anstoss für die Überprüfung der Art der Umrechnung selbst und für diese projektbegleitende Forschungsarbeit, die eine spektrale Ableitung der Belagsgütwerte  $K_b$  aus CPX-Messungen („ $K_b$ -Wert-Ableitung“) vorstellt.

## 1.2 Methodisches Vorgehen

Zur Vergrößerung des Datenbestands von sogenannten Wertepaaren, also Messpunkte an Strecken, an welchen sowohl SPB- als auch CPX-Messungen durchgeführt werden, wurden Strecken mit bereits vorgesehenem Belagsmonitoring durch CPX-Messungen ergänzt. Hierzu wurden bei den ASTRA Filialen nach geeigneten Strecken gefragt und eine Auswahl getroffen. Insgesamt wurden 33 Wertepaare für die Bestimmung der hier vorgestellten  $K_b$ -Wert-Ableitung herangezogen (Abschnitt 5 ff.).

Ein vermuteter Genauigkeitserfolg bei der Umrechnung stellt die Berücksichtigung des Abstrahlverhaltens der Rollgeräusche bei der CPX-Methode dar. Bei ihr befinden sich die Mikrofone in einem stets gleichen Winkel zur Reifenfahrbahnkontaktfläche, wohingegen das Abstrahlmass bei der SPB-Methode durch das Vorbeifahren der Räder und den sich dadurch verändernden Abstrahlwinkel relativ zur Mikrofonposition anders eingeht. Um diesen Umstand zu untersuchen und zu berücksichtigen wurde ein Halter für eine Anordnung mit elf Mikrofonen um eine Seite eines Messreifens konstruiert (dabei sind die Standardmikrofonpositionen enthalten, siehe Abschnitt 5.2.4).

Mit dieser Viel-Mikrofon-Anordnung wurden im Jahr 2013 an insgesamt 15 Orten CPX-Messungen durchgeführt. Weitere 18 Wertepaare stammen von der Zustandserfassung im Jahr 2009 ohne Viel-Mikrofon-Anordnung. Die zugehörigen SPB-Messungen wurden von verschiedenen Ingenieur-Büros durchgeführt (siehe Abschnitt 5.3). Für die Übergabe der SPB-Daten wurde ein Format definiert, bei welchem alle erfassten Vorbeifahrten mit Spektren enthalten sind.

Alle Messdaten (CPX+SPB) wurden für die Zusammenführung in einer Datenbank aufbereitet und bereinigt. Sie stellt die Grundlage für Analysen und die Bestimmung der  $K_b$ -Wert-Ableitung dar (Abschnitt 8).

Für die Bestimmung der Ableitung wurde zunächst das Abstrahlverhalten der Rollgeräusche im Nahfeld (CPX) analysiert und ein spektraler Zusammenhang zwischen den Standard-Mikrofonpositionen und der Gesamtabstrahlung für beide Messreifentypen hergestellt. Die spektrale Geschwindigkeitsabhängigkeit der SPB-Messdaten wurde für jeden Messort ermittelt und eine Geschwindigkeitstransformation für unterschiedliche Belagstypen abgeleitet. Der Kern der Ableitung ist der Zusammenhang zwischen dem CPX-Spektrum im Nahfeld und dem geschwindigkeitstransformierten SPB-Spektrum im Fernfeld, beide bei 80 km/h.

Anhand einer Genauigkeitsbetrachtung und Validierung der vorgestellten Methode wird der potenzielle Genauigkeitsgewinn dargestellt (Abschnitte 6 und 7).

### 1.3 Hinweise zur Gliederung

Die Kb-Wert-Ableitung steht als Resultat in dieser projektbegleitenden Forschungsarbeit im Fokus und wird daher zusammen mit deren Anwendung im Abschnitt 3 vorangestellt.

Im Abschnitt 4 sind Details der Bestimmung der Kb-Wert-Ableitung beschrieben: CPX-Schallleistungsergänzung, Umrechnungsbeiträge und SPB-Geschwindigkeits-Transformation.

Die Genauigkeit der Ableitung wird durch eine Gegenüberstellung der berechneten mit den aus den SPB-Messungen tatsächlich ermittelten, sowie mit den nach Anhang 1c Leitfaden Strassenlärm [4] berechneten Kb-Werten im Abschnitt 6 dargestellt.

Für die Validierung der Ableitung in Abschnitt 7 wurden weitere drei Wertepaare einer Ingenieurgesellschaft herangezogen, die nicht in die Herleitung der Ableitung eingingen.

Die zusammenfassende Datenbank, die zugrundeliegende Datenbasis und die akustischen Messungen sind in den Abschnitten 8 und 5 dokumentiert.

### 1.4 Nutzen und Folgerungen

Mithilfe der vorgestellten spektralen Kb-Wert-Ableitung aus CPX-Messungen können Belagsgütewerte Kb mit rund der Hälfte der Ungenauigkeit der Umrechnung gemäss aktuellem Anhang 1c des Leitfadens Strassenlärm [4] bestimmt werden.

Die Anwendung erfolgt einfach mit Hilfe einer Tabellenkalkulation. Als Eingangsdaten sind folgende Grössen nötig:

- Ein CPX-Spektrum je Reifen-Typ P und H:
  - Reifentyp P (SRTT) für Personenwagen PW
  - Reifentyp H (Avon) für Lastwagen LW
  - A-bewertete Terzpegel (315 Hz – 5 kHz)
  - mit Systemkorrektur für den spezifischen Messanhänger
  - energetischer Mittelwert beider Mikrofonpositionen des rechten Radhauses
  - Korrektur bzgl. Geschwindigkeit und Lufttemperatur:
    - unkorrigiert mit Angabe der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit und Lufttemperatur bei den Messfahrten
    - alternativ mit jeweils aktueller Korrektur gemäss [3] ([2])
    - Bezugswerte:  
für die Geschwindigkeit: 80 km/h  
für die Lufttemperatur: 20°C
- SPB-Zielgeschwindigkeit für PW

Die Kb-Wert-Ableitung ist modular aufgebaut. Ein „Zwischenergebnis“ ist der mittlere maximale Vorbeifahrtpegel wie bei einer SPB-Messung. Die anschliessende Berechnung eines Belagsgütewertes Kb kann daher auch mit anderen Modellen als dem StL-86+

Referenzmodell erfolgen. In diesem Kontext könnte das von der EMPA entwickelte SonRoad-Modell als potentielle Nachfolge interessant werden. In jedem Fall ist eine Kombination mit der Kb-Wert-Ableitung gewährleistet und würde einen weiteren Genauigkeitsgewinn darstellen.

## 2 Grössen und Einheiten

$L_{t,s,f,m}^{CPX}$	dB(A)	Repräsentativer CPX-Terzpegel im rechten Radhaus der drei nächsten 20 m-Segmente zur Soll-SPB-Messstelle (arithmetisches Mittel)
$L_{t,s,f}^{CPX}$	dB(A)	CPX-Terzpegel inkl. Systemkorrektur $Cd_{fm}$ und energetischer Mittelung über die Mikrofonpositionen $m$
$L_{Amax,7.5m,t,s,f}^{SPB}$	dB(A)	SPB-Terzpegel des A-bewerteten Maximalwertspektrums in 7.5 m Abstand
$L_{Amax,7.5m,t,s}^{SPB}$	dB(A)	SPB-Gesamtpegel, A-bewerteter Maximalwert in 7.5 m Abstand
$L_{Aeq,1Fz/h,1m,t,s}^{SPB}$	dB(A)	SPB-Emissionspegel, A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel eines Fahrzeugs pro Stunde in 1 m Abstand
$Kb_{t,s}$	dB(A)	Belagsgütewert
$L_{t,s}^{StL-86+}(v_{SPB})$	dB(A)	StL-86+ Modellwert bei SPB Zielgeschwindigkeit
$\Delta LW_{t,f}^*$	dB(A)	Spektrale Schalleistungsergänzung für Reifentyp $t$
$C_v$	dB(A)	CPX Geschwindigkeitskorrektur
$C_{T,s}$	dB(A)	Belagsspezifische CPX Temperaturkorrektur
$K_{t,s,f}$	dB(A)	Spektraler CPX-SPB-Korrelationsbeitrag für die Reifentypen $t$
$vT_{t,s,f}$	dB(A)	Spektrale SPB-Geschwindigkeitstransformation
$Cd_{fm}$	dB(A)	Spektrale CPX Systemkorrektur jeder Mikrofonposition (gemäss ISO/DIS 11819-2 keine Unterscheidung nach der Mikrofonposition)
$B_v^{CPX}$	dB(A)	CPX Geschwindigkeitskoeffizient (Geschwindigkeitsdomäne 80 km/h)
$v_{CPX}$	km/h	CPX Messgeschwindigkeit
$CT_s$	dB(A)/°C	Belagsspezifischer CPX Temperaturkoeffizient
$T_L$	°C	Lufttemperatur bei CPX-Messung
$B_{t,s,f}^{SPB}$	dB(A)	spektrale SPB-Geschwindigkeitskoeffizienten
$v_{SPB}$	km/h	SPB Zielgeschwindigkeit (erwartete mittlere PW-Geschwindigkeit)
$t$	P, H, PW, LW	CPX: Reifentyp P oder H, SPB: Fahrzeuggruppe PW oder LW
$s$	dicht, porös	Belagsart nach Hohlraumgehalt
$f$	Hz	Terzbandmittenfrequenz
$m$	vorne, hinten	Mikrofonposition im rechten Radhaus

Notation in Anlehnung an die ISO/DIS 11819-2 [2]



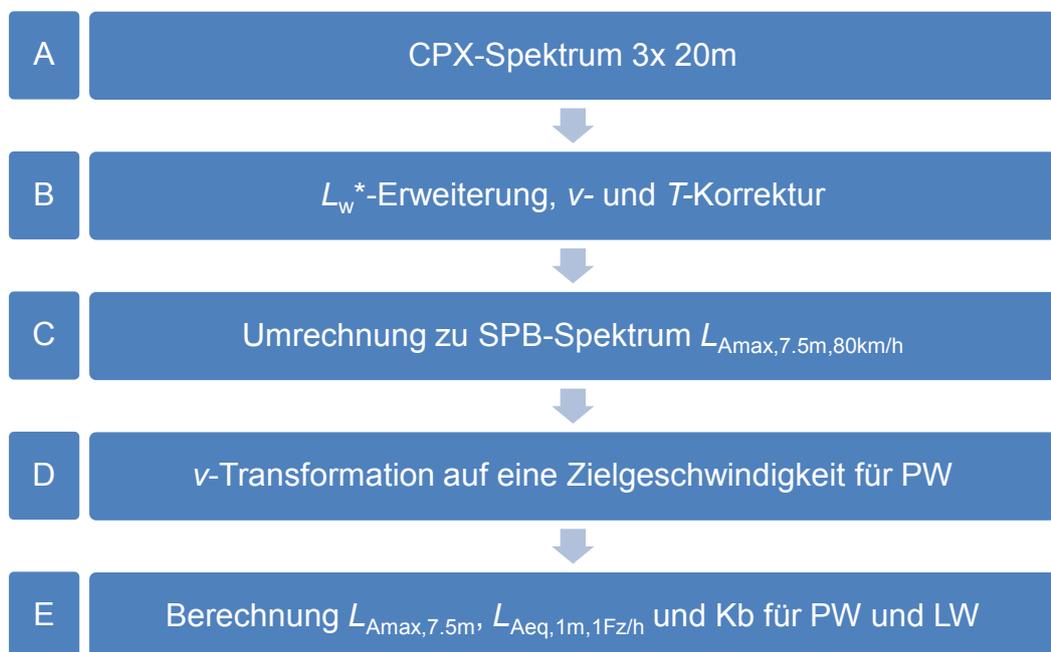
## 3 Anwendung der Kb-Wert-Ableitung

### 3.1 Übersicht

Das in diesem Untersuchungsrahmen erarbeitete Verfahren zur Ableitung der Belagsgütwerte  $K_b$  für Personenwagen (PW) und Lastwagen (LW) aus CPX-Messergebnissen beinhaltet mehrere Schritte, was in Abb. 1 schematisch dargestellt<sup>4</sup> und im folgenden kurz erläutert ist. Die anzuwendenden Einzelschritte sind in den folgenden Abschnitten aufgeführt. Die Ableitung der jeweiligen Beiträge und Koeffizienten ist in Kapitel 4 beschrieben.

Ausgangspunkt ist ein über beide Mikrofonpositionen des rechten Radhauses energetisch gemittelt CPX-Terzspektrum jeden Reifentyps, eines homogenen Streckenabschnitts bei einer Soll-SPB-Messstelle (A). Dieses CPX-Spektrum wird um Schalleistungsbeiträge  $\Delta L_w^*$  ergänzt, um die Abstrahlcharakteristik des Reifen-Fahrbahn-Kontakts zu berücksichtigen (B). Eingangs können hinsichtlich der Geschwindigkeit  $v$  und Lufttemperatur  $T_L$  korrigierte oder unkorrigierte Spektren verwendet werden – falls die Korrekturen noch nicht berücksichtigt wurden, können sie zusammen mit der  $K_b$ -Wert-Ableitung angewendet werden (B).

Es folgt die eigentliche Umrechnung zu den SPB- $L_{Amax}$ -Spektren für PW und LW bei 80 km/h (C). Anschliessend wird das PW-Spektrum auf eine zu erwartende mittlere SPB-Zielgeschwindigkeit hochtransformiert (D). Abschliessend erfolgen die energetische Aufsummierung zum A-bewerteten Gesamt-Maximalpegel  $L_{Amax}$  der 7.5 m SPB-Mikrofonposition und die Berechnung der Emissionspegel  $L_{Aeq,1m,1Fz/h}$  und der Belagsgütwerte  $K_b$  für PW und LW (E).



**Abb. 1** Schema des Ableitungsverfahrens von  $K_b$ -Werten aus CPX-Messungen.

<sup>4</sup> Das Fließschema ist aus physikalischer Sicht aufgebaut – da die Beiträge der Schalleistungsergänzung, Korrekturen, CPX-SPB-Umrechnung und Geschwindigkeits-transformation rein additiv sind, ist die Reihenfolge mathematisch beliebig.

## 3.2 Zusammengefasster Formalismus

Die Ableitung stellt sich formal wie folgt dar. Die Notation erfolgt in Anlehnung an die CPX-Norm ISO 11819-2. Die Beiträge und Koeffizienten der einzelnen Schritte werden in den folgenden Abschnitten genannt.

$$L_{Amax,7.5m,t,s,f}^{SPB} = L_{t,s,f}^{CPX} + \Delta L W_{t,f}^* - C_{v,s} + C_{T,s} + K_{t,s,f} + vT_{t,s,f}$$

Anwendung der spektralen CPX-Systemkorrektur für jede Mikrofonposition<sup>5</sup> und Bildung des energetischen Mittels über die beiden Mikrofonpositionen  $m$  für jeden Terzpegel  $L_{t,s,f}^{CPX}$  im rechten Radhaus:

$$L_{t,s,f}^{CPX} = 10 \lg \left( \frac{1}{2} \sum_m 10^{(L_{t,s,f,m}^{CPX} - C_{d,f,m})/10 \text{dB(A)}} \right) \text{dB(A)} \quad \text{Abschnitt 3.3.1}$$

$$\text{Schalleistungsergänzungsbeiträge} \quad \Delta L W_{t,f}^* \quad 3.3.2$$

$$\text{Geschwindigkeitskorrektur [2]} \quad C_{v,s} = B_{v,s}^{CPX} \lg \frac{v_{CPX}}{80 \text{ km/h}} \quad 3.3.3$$

$$\text{Temperaturkorrektur [3]} \quad C_{T,s} = C_{T_s}(T_L - 20^\circ\text{C}) \quad 3.3.4$$

$$\text{Umrechnungsbeiträge} \quad K_{t,s,f} \quad 3.4$$

$$\text{SPB-Geschwindigkeitstransformation} \quad vT_{t,s,f} = B_{t,s,f}^{SPB} \lg \frac{v_{SPB}}{80 \text{ km/h}} \quad 3.5$$

$$\text{Gesamtpegel} \quad L_{Amax,7.5m,t,s}^{SPB} = 10 \lg \left( \sum_f 10^{L_{Amax,7.5m,t,s,f}^{SPB}/10 \text{dB(A)}} \right) \text{dB(A)} \quad 3.6$$

$$\text{Emissionspegel [5]} \quad L_{Aeq,1Fhz/h,1m,t,s}^{SPB} = L_{Amax,7.5m,t,s}^{SPB} - 7.5 \text{dB(A)} - 10 \lg \frac{v_{SPB}}{1 \text{ km/h}} \text{dB(A)} \quad 3.6$$

$$\text{Differenz zu StL-86+ [6]} \quad K_{b,t,s} = L_{Aeq,1Fhz/h,1m,t,s}^{SPB} - L_{t,s}^{\text{StL-86+}}(v_{SPB}) \quad 3.6$$

<sup>5</sup> Gemäss ISO/DIS 11819-2 wird bei der Systemkorrektur nicht nach der Mikrofonposition unterschieden.

### 3.3 Aufbereitung der CPX-Messwerte

Die Kb-Wert-Ableitung kann auf einen gesamten Streckenabschnitt angewendet werden, wenn dieser anhand des CPX-Pegel-Orts-Verlaufes als akustisch homogen gilt. Der resultierende Kb-Wert gilt folglich für den gesamten Abschnitt.

#### 3.3.1 Systemkorrektur und Mittelung über Mikrofone

Die Terzspektren beider Standard-Mikrofonpositionen des rechten Radhauses werden mit der CPX-anhängerspezifischen spektralen Systemkorrektur<sup>6</sup>  $Cd_{f,m}$  versehen und anschliessend für jeden Reifentypen energetisch gemittelt:

$$L_{t,s,f}^{CPX} = 10 \lg \left( \frac{1}{2} \sum_m 10^{(L_{t,s,f,m}^{CPX} - Cd_{f,m})/10 \text{dB(A)}} \right) \text{dB(A)}$$

#### 3.3.2 Beiträge für die Schalleistungsergänzung

Die Spektren beider Reifentypen werden mit den in Tab. 1 aufgeführten Beiträgen für die Schalleistungsergänzung beaufschlagt.

**Tab. 1** Spektrale Beiträge  $\Delta Lw_{t,f}^*$  der Schalleistungsergänzung für alle Terzen

Terzfrequenz, Hz	$\Delta Lw_{t,f}^*$ , dB(A)	
	Reifentyp P	Reifentyp H
315	-0.18	-1.59
400	-1.02	-1.75
500	-0.54	-1.56
630	-0.65	-2.05
800	0.19	-1.26
1'000	0.95	-0.58
1'250	2.10	2.13
1'600	1.80	2.03
2'000	0.15	0.27
2'500	-0.27	0.18
3'150	0.13	0.57
4'000	-0.10	0.42
5'000	0.16	-0.56

<sup>6</sup> Eine mikrofonpositionsspezifische Systemkorrektur ist gemäss ISO 11819-2 [2] nicht explizit vorgesehen.

### 3.3.3 Geschwindigkeitskorrektur

Die Geschwindigkeitskorrektur  $C_v$  erfolgt gemäss [2] und gilt für kleine Abweichungen der Messgeschwindigkeit  $v_{CPX}$  von der Referenzgeschwindigkeit 80 km/h:

**Tab. 2** Geschwindigkeitskorrektur  $C_v$  und Koeffizienten  $B_{v,s}^{CPX}$  in dB(A)

$C_{v,s} = B_{v,s}^{CPX} \lg \frac{v_{CPX}}{80 \text{ km/h}}$	dichte Beläge	Beton	poröse Beläge
	30	35	25

### 3.3.4 Temperaturkorrektur

Die Temperaturkorrektur  $CT_s$  erfolgt gemäss [3] anhand der Lufttemperatur  $T_L$ :

**Tab. 3** Temperaturkorrektur  $CT_s$  und Koeffizienten  $CT_s$  in dB(A)/°C

$C_{T,s} = CT_s(T_L - 20^\circ\text{C})$	dichte Beläge	Beton	poröse Beläge
	-0.10	-0.07	-0.05

## 3.4 Beiträge für die Berechnung der SPB-Spektren

Für die Berechnung der  $L_{Amax,7.5m}$ -SPB-Spektren für PW und LW bei 80 km/h werden die aufbereiteten CPX-Spektren beider Reifentypen mit den in Tab. 4 aufgeführten Beiträgen getrennt für dichte und poröse Beläge beaufschlagt.

**Tab. 4** Spektrale Beiträge  $K_{t,s,f}$  zur Berechnung der SPB- aus CPX-Spektren

Terzbandmittenfrequenz, Hz	$K_{t,s,f}$ , dB(A)			
	Reifentyp P → PW		Reifentyp H → LW	
	dichte Beläge	poröse Beläge	dichte Beläge	poröse Beläge
315	-15.8	-18.1	-2.0	-6.0
400	-16.6	-20.0	-0.6	-5.8
500	-16.6	-21.0	-3.1	-8.3
630	-18.4	-21.2	-7.7	-12.9
800	-20.7	-21.3	-12.1	-15.9
1'000	-18.9	-20.3	-11.3	-16.1
1'250	-20.1	-20.7	-13.5	-15.6
1'600	-21.3	-21.3	-14.4	-15.6
2'000	-18.3	-19.4	-11.5	-12.5
2'500	-17.6	-18.5	-10.9	-11.3
3'150	-18.5	-19.3	-11.6	-12.0
4'000	-18.2	-18.6	-10.0	-10.6
5'000	-19.1	-18.6	-10.5	-10.0

### 3.5 SPB-Geschwindigkeitstransformation für PW

Für die Berechnung eines  $L_{Amax,7.5m}$ -SPB-Spektrums für PW bei einer beliebigen Zielgeschwindigkeit  $v_{SPB}$  wird die nachfolgend genannte Geschwindigkeitstransformation und die in Tab. 5 aufgeführten Koeffizienten getrennt für dichte und poröse Beläge verwendet. Das Spektrum der LW wird keiner Geschwindigkeitstransformation unterzogen (daher die Null-Werte in Tab. 5). Es können Zielgeschwindigkeiten in einem Bereich von etwa 80 bis 120 km/h verwendet werden.

$$vT_{t,s,f} = B_{t,s,f}^{SPB} \lg \frac{v_{SPB}}{80 \text{ km/h}}$$

**Tab. 5** Spektrale Geschwindigkeitskoeffizienten zur Transformation des SPB-Spektrums

Terzbandmittenfrequenz, Hz	$B_{t,s,f}^{SPB}$ , dB(A)		$B_{t,s,f}^{SPB}$ in dB(A)	
	PW		LW	
	dichte Beläge	poröse Beläge	dichte Beläge	poröse Beläge
315	34	26	0	0
400	33	26	0	0
500	27	16	0	0
630	18	10	0	0
800	11	7	0	0
1'000	19	12	0	0
1'250	29	24	0	0
1'600	29	24	0	0
2'000	29	28	0	0
2'500	29	28	0	0
3'150	29	28	0	0
4'000	29	28	0	0
5'000	29	28	0	0

### 3.6 Berechnung Gesamtpegel und Belagsgütwerte

Der A-bewertete maximale Vorbeifahrt-Gesamtpegel an der 7.5 m-Mikrofonposition  $L_{Amax,7.5m,t,s}^{SPB}$  wird durch die energetische Summe der Terzpegel berechnet:

$$L_{Amax,7.5m,t,s}^{SPB} = 10\text{dB(A)} \cdot \lg \left( \sum_f 10^{L_{Amax,7.5m,t,s,f}^{SPB}/10\text{dB(A)}} \right)$$

Der Emissionspegel wird nach [5] wie folgt berechnet:

$$L_{Aeq,1Fhz/h,1m,t,s}^{SPB} = L_{Amax,7.5m,t,s}^{SPB} - 7.5\text{dB(A)} - 10 \lg \left( \frac{v_{SPB}}{1\text{km/h}} \right) \text{dB(A)}$$

Für PW ist für  $v_{SPB}$  die Zielgeschwindigkeit der Geschwindigkeitstransformation, für LW ist die CPX-Referenzgeschwindigkeit 80 km/h einzusetzen.

Die Berechnung der Belagsgütwerte erfolgt gemäss [6] als Differenz zum Emissionsmodell StL-86+:

$$Kb_{t,s} = L_{Aeq,1Fhz/h,1m,t,s}^{SPB} - L_t^{\text{StL-86+}}(v_{SPB})$$

$$L_{PW}^{\text{StL-86+}}(v_{SPB}) = 43\text{dB(A)} + 10 \lg \left[ 1 + \left( \frac{v_{SPB}}{50 \text{ km/h}} \right)^3 \right] \text{dB(A)}$$

$$L_{LW}^{\text{StL-86+}}(v_{SPB}) = 43\text{dB(A)} + 10 \lg \left\{ \left[ 1 + \left( \frac{v_{SPB}}{50 \text{ km/h}} \right)^3 \right] \cdot \left[ 1 + 20 \left( 1 - \frac{v_{SPB}}{150 \text{ km/h}} \right) \right] \right\} \text{dB(A)}$$

## 4 Bestimmung der Kb-Wert-Ableitung

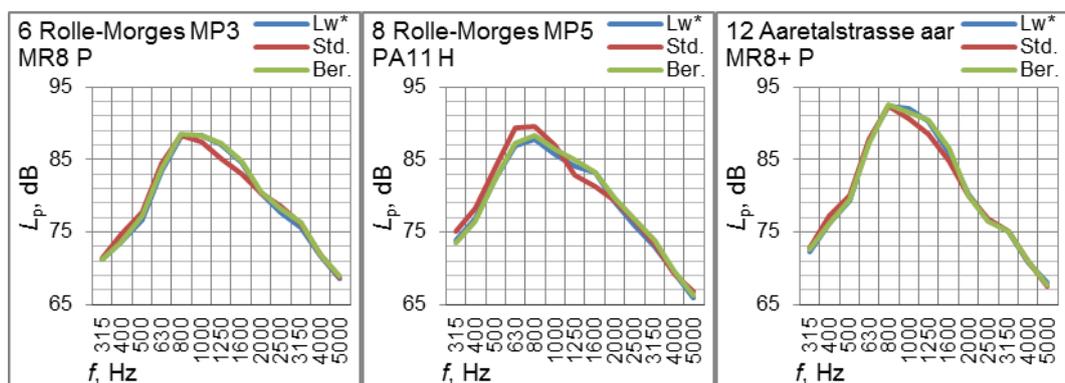
### 4.1 Schalleistungsergänzung der CPX-Spektren

Die bei einer SPB-Messung im Fernfeld erfassten Schallanteile der von den Reifen abgestrahlten Rollgeräusche sind nicht ohne weiteres auf die im Nahfeld an zwei einzelnen Mikrofonpositionen registrierten Reifen-Fahrbahn-Geräusche rückführbar. Deshalb wurde der CPX-Messanhänger um einen Mikrofonbügel erweitert, der es ermöglicht, die gesamte Schallabstrahlung einer Halbseite mit insgesamt elf Mikrofonen zu erfassen, siehe Ausführung im Abschnitt 5.2.

Das energetisch gemittelte Spektrum der elf Mikrofone wird im folgenden als Schalleistungs- bzw.  $L_w^*$ -Spektrum bezeichnet. Da es sich hierbei nicht um die absolut abgestrahlte Schalleistung handelt, wird das Schalleistungssymbol mit einem Stern versehen. Um die Abstrahlcharakteristik zu berücksichtigen genügt der relative Bezug. Ausgehend davon, dass die Abstrahlcharakteristik der Reifeninnen- und Aussenseite spiegelsymmetrisch ist, wird mit der verwendeten Mikrofonanordnung genau die Hälfte des Schallfeldes erfasst. Daher stellt eine Berücksichtigung der zweiten Schallfeldhälfte und des Abstands lediglich eine Verschiebung des Absolutwerts dar.

Da eine Messung mit elf Mikrofonen in der Praxis sehr aufwendig ist und als erweitertes CPX-Messverfahren für akustische Belagsgütemessungen nicht in Frage kommt, wird anhand der im Jahr 2013 erhobenen detaillierten CPX-Messdaten ein Zusammenhang zwischen den Standardmikrofonpositionen und der Schalleistung untersucht und eine Umrechnung abgeleitet, die als Schalleistungsergänzung bezeichnet wird. Hierzu wird pro Reifentyp je ein Spektrum über die Standardmikrofonpositionen und die elf Mikrofonpositionen energetisch gemittelt. Diese werden dann für jeden Messort verglichen, indem die Differenz der einzelnen Terzpegel beider Spektren gebildet wird. Die Mittelwerte dieser Beträge stellen die spektrale Schalleistungsergänzung  $\Delta L_w^*$  dar. Wie sich gezeigt hat, ist nur eine Unterscheidung beider Messreifen aufgrund ihrer unterschiedlichen Geometrie notwendig, nicht aber nach verschiedenen Belagstypen.

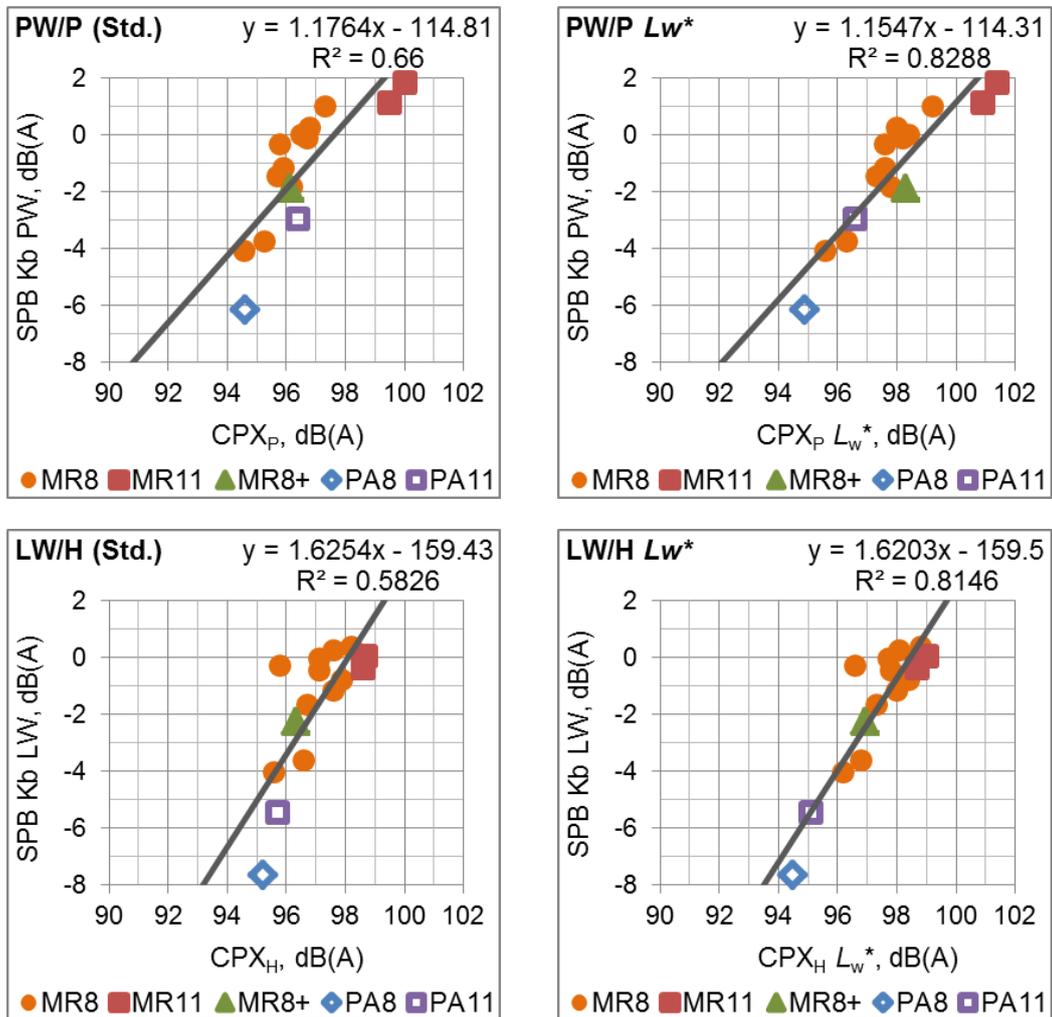
In Abb. 2 sind beispielhaft für drei Messorte das energetisch gemittelte CPX-Spektrum der Standard- und der elf Mikrofonpositionen, sowie ein mit der Schalleistungsergänzung berechnetes Spektrum dargestellt. Deren Abweichung zu dem mit elf Mikrofonen ermittelten Spektrum ist direkt ersichtlich (grüne und blaue Kurven).



**Abb. 2** Gegenüberstellung der Schalleistungsergänzung anhand von drei Beispielen:  
 — rot Standardspektrum = energetisches Mittel der beiden Standardmikrofone  
 — blau Schalleistungsspektrum = energetisches Mittel über 11 Mikrofone  
 — grün Berechnung = Standardspektrum + Schalleistungsergänzungsbeiträge

Die Umrechnung zwischen den CPX- und SPB-Werten bei Verwendung der Schalleistungsspektren hat sich durchgehend als besser erwiesen, als mit dem energetischen Mittel der Standardmikrofonpositionen. Mit der Schalleistungsergänzung verbessert sich das Bestimmtheitsmass  $R^2$  für die Korrelation der Belagsgütewerte  $K_b$  mit den CPX-Indizes (Abb. 3):

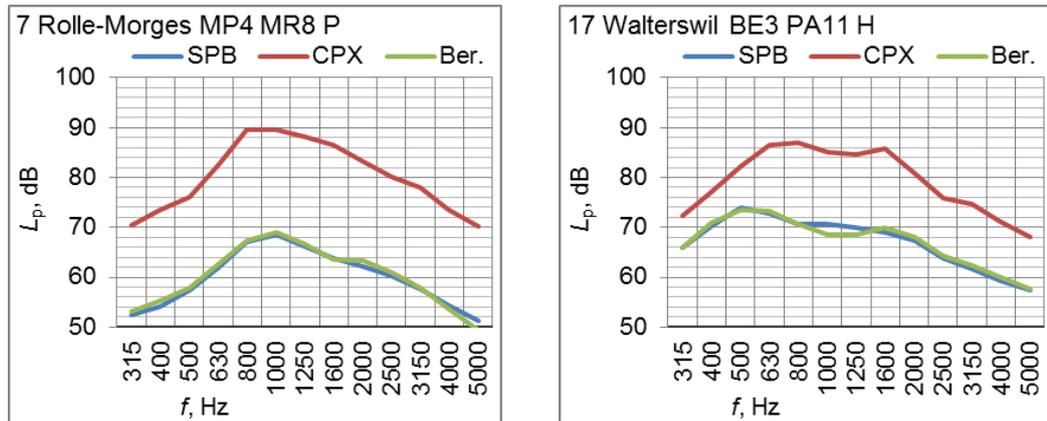
	Kurz	Standard		$L_w^*$
Kb PW mit $CPX_P$	PW/P	<b>0.66</b>	→	<b>0.83</b>
Kb LW mit $CPX_H$	LW/H	<b>0.58</b>	→	<b>0.81</b>



**Abb. 3** Korrelation der Belagsgütewerte  $K_b$  PW mit dem  $CPX_P$ -Index oben und  $K_b$  LW mit  $CPX_H$  unten; links: Standardmikrofonpositionen; rechts: mit Schalleistungsergänzung der elf Mikrofone.

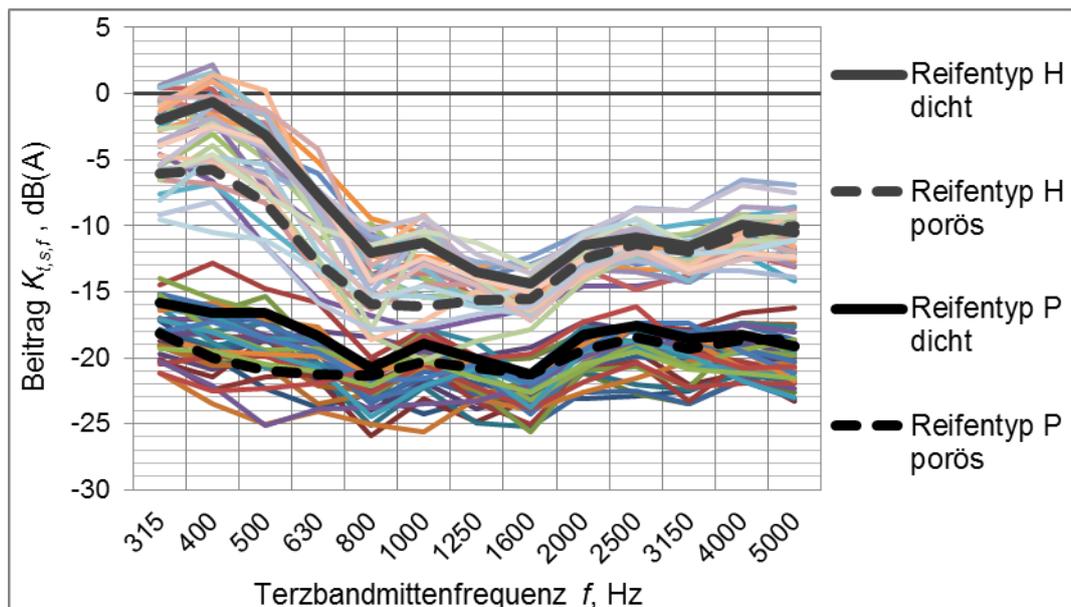
## 4.2 Differenz zwischen CPX- und SPB-Spektren

Für die Bestimmung der Beiträge zur Umrechnung von CPX- zu SPB-Spektren werden für jedes Wertepaar bzw. jeden Messort die Differenzen der CPX- und SPB-Terzpegel gebildet. Die einzelnen SPB-Terzbandwerte werden von den entsprechenden CPX-Werten abgezogen. Abb. 4 zeigt den Vergleich der CPX-, SPB- und dem berechneten Spektren für zwei unterschiedliche Beläge (MR8, PA11) und Reifentypen (P, H).



**Abb. 4** Gegenüberstellung der spektralen Umrechnung anhand von zwei Beispielen: — rot: SPB-Spektrum, — blau: CPX-Spektrum, — grün: umgerechnetes Spektrum; links: dichter Belag MR8, Reifentyp P; rechts: offenporiger Belag PA11, Reifentyp H.

In Abb. 5 sind die spektralen Differenzen aller Wertepaare grafisch aufgetragen. Die Kurven bilden zwei Gruppen bezüglich der Reifentypen (respektive der Fahrzeuggruppen), die sich deutlich voneinander absetzen und einen anderen Verlauf aufweisen. Bei genauerer Analyse bilden die dichten und porösen Beläge jeweils Untergruppen, wobei sich die Unterschiede vornehmlich im Tieffrequenten ergeben. Die dicken schwarzen und grauen Kurven stellen die Mittelwerte der jeweiligen Untergruppen dar.



**Abb. 5** Differenzen der SPB- aus CPX-Spektren jedes Messorts und Mittelwerte der Reifentypen und Belagsart.

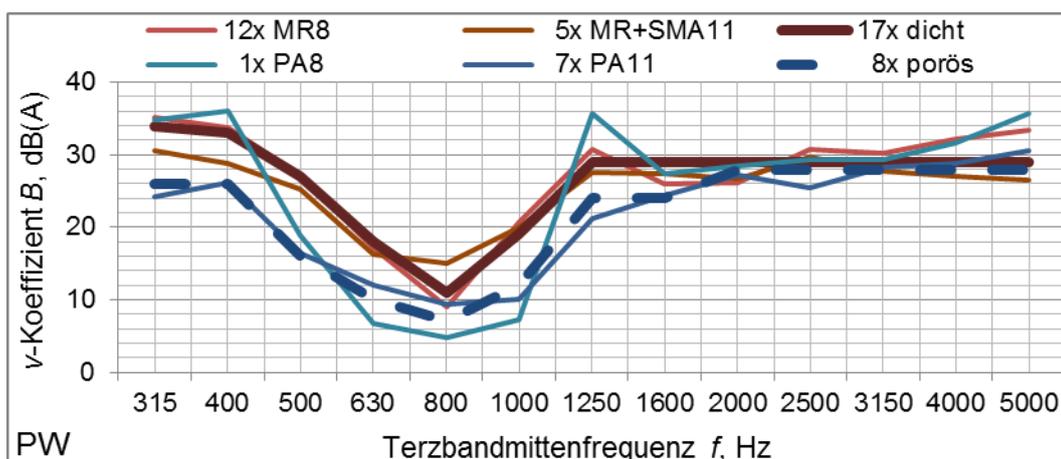
### 4.3 Geschwindigkeits-Transformation der SPB-Spektren (PW)

Auf Autobahnen werden CPX-Messungen bei einer Referenzgeschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt. Eine zugehörige SPB-Messung weist bei PW in der Regel einen höheren und aufgrund der statistischen Methode jeweils unterschiedlichen Geschwindigkeitsmittelwert auf. Da sich nicht nur die Lage, sondern auch die Form zweier SPB-Spektren bei so unterschiedlichen Geschwindigkeiten unterscheidet, ist eine spektrale Transformation des umgerechneten SPB-Spektrums bei 80 km/h zu einer erwarteten typischen mittleren oder signalisierten Geschwindigkeit notwendig.

Für die Ableitung der SPB-Geschwindigkeitstransformation ist eine verlässliche Datenbasis besonders wichtig. Daher wurden die Vorbeifahrten der SPB-Messungen extensiv überprüft und gefiltert. Es werden nur Vorbeifahrten berücksichtigt, bei denen das 10 dB-Kriterium an beiden Mikrofonpositionen (5 m und 7.5 m Abstand) erfüllt wurde und die  $t_{10}$ -Zeiten innerhalb eines realistischen Bereichs liegen. Da sich die jeweiligen Gegebenheiten bei den SPB-Messungen unterscheiden, können die Geschwindigkeitskoeffizienten nicht für die Gesamtheit aller Vorbeifahrten der SPB-Messungen angegeben werden: Belagstyp, Belagsalter, Güte des Einbaus und Umgebungsbedingungen nehmen Einfluss auf den durchschnittlichen Vorbeifahrtpegel, sodass die Gesamtheit der Vorbeifahrten einer SPB-Messung höhere Pegel aufweisen kann als die einer anderen bei einer höheren Geschwindigkeit.

Für die Berechnung der spektralen Geschwindigkeitskoeffizienten wurden mindestens 50 Vorbeifahrten herangezogen; weniger führten zu unrealistisch extremen Werten in einzelnen Terzbändern. Die berechneten Koeffizienten wurden nach Belagstypen gruppiert und arithmetisch gemittelt. In Abb. 6 sind die Mittelwerte von zwölf ACMR 8 Belägen, fünf dichten Belägen und sieben offenporigen mit jeweils 11 mm Grösstkorn zusammen mit einem PA 8 und den Mittelwerten für alle dichten und porösen Beläge zusammengestellt. Die dichten und porösen Beläge zeigen jeweils ähnliche Verläufe, ein grundsätzlicher Unterschied ist jedoch auch erkennbar.

Trotz der Datenbasis von 3'635 PW-Vorbeifahrten ist der erfasste Geschwindigkeitsbereich begrenzt, sodass die hier abgeleitete Geschwindigkeitstransformation keine allgemeingültige Umrechnung von SPB-Daten darstellt. Ihre Gültigkeit liegt in der Kombination mit den Beiträgen zur Umrechnung vom CPX- zum SPB-Spektrum. Es können Zielgeschwindigkeiten in einem Bereich von etwa 80 bis 120 km/h verwendet werden.



**Abb. 6** Spektrale Geschwindigkeitskoeffizienten  $B$  für PW aus den SPB-Messungen abgeleitet. Die dicken Kurven „dicht“ und „porös“ repräsentieren die ermittelten Koeffizienten.

## 5 Akustische Belagsgüte-Messungen

### 5.1 Messorte

Die Messorte der akustischen Belagsgütemessungen sind in *Tab. 6* aufgeführt.

**Tab. 6** Messorte der Wertepaare

MP = Messpunkt, Str. = Strasse, Ri. = Richtung, BM = Belags-Monitoring, ZEB = Zustandserfassung 2009

ID	Ort	MP	Belag	Str.	km	Ri.	Firma	SPB-Quelle	Jahr
1	Birrhard	MP1	PA8	N1	90.50	+	MBBM CH	BM	2013
2	Bern	K1	MR8	N1	160.50	-	G+P	BM	2013
3	Bern	K2	MR8	N1	160.70	+	G+P	BM	2013
4	Bern	K3	MR8	N1	163.80	-	G+P	BM	2013
5	Bern	K4	MR8	N1	163.80	+	G+P	BM	2013
6	Rolle-Morges	MP3	MR8	N1	54.12	+	MBBM CH	BM	2013
7	Rolle-Morges	MP4	MR8	N1	54.12	-	MBBM CH	BM	2013
8	Rolle-Morges	MP5	PA11	N1	56.80	-	MBBM CH	BM	2013
9	Villeneuve-Roche	MP4	MR11	N9	44.47	-	MBBM CH	BM	2013
10	Villeneuve-Roche	MP5	MR11	N9	44.70	+	MBBM CH	BM	2013
11	Aaretalstrasse	Aar	MR8	T5	5.20	-	MBBM CH	BM	2013
12	Aaretalstrasse	Aar+	MR8+	T5	5.31	-	MBBM CH	BM	2013
13	Bertschikon	MP1	MR8	N1	334.85	+	Sinus	BM	2013
14	Bad Ragaz	MP1	MR8	N13	134.55	-	Sinus	BM	2013
15	Sargans	MP1	MR8	N3	194.30	-	Sinus	BM	2013
16	Gunzgen	BE4	Beton	N1	53.70	-	MBBM	ZEB	2009
17	Walterswil	BE3	PA11	N1	63.10	-	MBBM	ZEB	2009
18	Walterswil	ZH7	PA11	N1	63.50	+	MBBM	ZEB	2009
19	Oftringen	ZH6	SMA11	N1	62.10	+	MBBM	ZEB	2009
20	Oberbipp	BE5	MR8	N1	38.80	-	MBBM	ZEB	2009
21	Oberbipp	ZH4	MR8	N1	38.70	+	MBBM	ZEB	2009
22	Subingen	ZH3	MR8	N1	28.60	+	MBBM	ZEB	2009
23	Derendingen	BE6	MR11	N1	28.80	-	MBBM	ZEB	2009
24	Rechterswil	ZH2	MR8	N1	26.30	+	MBBM	ZEB	2009
25	Schönbühl	ZH1	AC16	N1	8.00	+	MBBM	ZEB	2009
26	Suhr	BE1	PA11	N1	74.90	-	MBBM	ZEB	2009
27	Suhr	ZH8	PA11	N1	74.30	+	MBBM	ZEB	2009
28	Kölliken	BE2	PA11	N1	69.40	-	MBBM	ZEB	2009
29	Hunzenschwil	ZH9	SMA11	N1	77.90	+	MBBM	ZEB	2009
30	Härkingen	ZH5	AC11	N1	47.30	+	MBBM	ZEB	2009
31	Lugano	MP3	(dicht)	N2	269.20	-	MBBM	ZEB	2009
32	Tenniken	MP2	PA11	N2	27.80	+	MBBM	ZEB	2009
33	Arisdorf	MP1	SMA11	N2	17.36	-	MBBM	ZEB	2009

Die CPX-Messungen wurden von Müller-BBM ausgeführt, die SPB-Messungen vom Ingenieurbüro, dessen Kürzel in der Spalte „Firma“ genannt ist: Grolimund + Partner AG, Müller-BBM GmbH, Müller-BBM Schweiz AG, SINUS Engineering AG.

An den Messorten stehen folgende Anzahlen und Belagstypen zur Verfügung:

24x dicht:                    14x MR8                    je 3x MR11, SMA11                    je 1x AC11, AC16, Beton  
 9x semid. + offenp.:    1x MR8+                    1x PA8                    7x PA11

## 5.2 CPX-Methode

### 5.2.1 Zweck

Mit der Nahfeldmessmethode (**C**lose **P**roximity **M**ethod – CPX) nach [4] und [2] können die Reifen-Fahrbahn-Geräusche unbeeinflusst von speziellen Gegebenheiten der Messumgebung und unabhängig von Antriebs- und Strömungsgeräuschen an der Karosserie gemessen werden. Da die Messungen kontinuierlich für ganze Strassenabschnitte erfolgen, ist diese Messmethode auch zur Kennzeichnung der Homogenität der akustischen Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen geeignet.

Die Reifen-Fahrbahn-Geräusche werden im Nahfeld der Reifenaufstandsfläche des rollenden Reifens direkt und kontinuierlich gemessen. Die Messungen finden mit genormten Reifen in definiertem Zustand statt. Dadurch sind Unterschiede des Schallpegels der Reifen-Fahrbahn-Geräusche auf Unterschiede in der akustischen Belagsgüte unmittelbar zurück zu führen.

### 5.2.2 Messergebnisse und Messbedingungen

Die Indizes  $CPX_P$  und  $CPX_H$  jeder Messfahrt sind zusammen mit Messdatum, der Geschwindigkeit und Lufttemperatur in *Tab. 7* aufgeführt. Die Messungen wurden auf allen Abschnitten bei einer Nominalgeschwindigkeit von 80 km/h durchgeführt.

**Tab. 7** Messdatum, Geschwindigkeit und Lufttemperatur der CPX-Messfahrten

ID = Kennnummer, MP = Messpunkt, Str. = Strasse

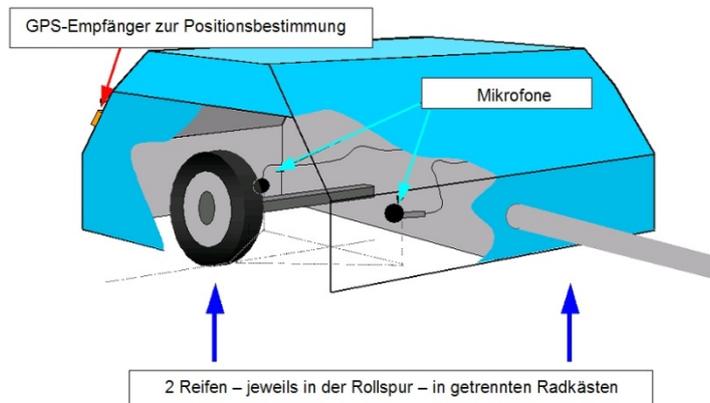
ID	Ort	MP	Belag	Str.	Messdatum P+H	v, km/h		$T_{Luft}$ , °C		$CPX_P$ , dB(A)	$CPX_H$ , dB(A)
						P	H	P	H		
1	Birrhard	MP1	PA8	N1	14.05.13	80.7	79.6	28.5	22.7	95.9	97.4
2	Bern	K1	MR8	N1	13.06.13	79.6	79.6	27.8	31.2	95.8	95.5
3	Bern	K2	MR8	N1	13.06.13	79.6	79.6	24.4	29.6	96.5	97.3
4	Bern	K3	MR8	N1	13.06.13	79.6	79.6	28.2	31.6	96.3	97.9
5	Bern	K4	MR8	N1	13.06.13	79.6	79.1	26.1	31.3	94.2	96.3
6	Rolle-Morges	MP3	MR8	N1	07.06.13	79.4	78.1	33.3	28.2	95.0	95.3
7	Rolle-Morges	MP4	MR8	N1	07.06.13	80.6	78.1	32.8	26.7	96.1	98.0
8	Rolle-Morges	MP5	PA11	N1	07.06.13	78.3	78.1	33.4	27.6	97.2	96.9
9	Villeneuve-R.	MP4	MR11	N9	07.06.13	79.6	79.6	33.6	28.1	95.5	96.5
10	Villeneuve-R.	MP5	MR11	N9	07.06.13	79.6	79.6	33.8	29.0	95.6	96.8
11	Aaretalstrasse	aar	MR8	T5	14.05.13	82.3	80.7	25.7	24.9	96.3	96.8
12	Aaretalstrasse	aar	MR8+	T5	14.05.13	80.7	80.7	25.7	24.9	96.6	97.4
13	Bertschikon	MP1	MR8	N1	12.+05.06.13	79.6	79.6	23.7	27.7	97.1	98.3
14	Bad Ragaz	MP1	MR8	N13	12.+05.06.13	79.6	79.6	27.6	29.7	96.6	98.5
15	Sargans	MP1	MR8	N3	12.+05.06.13	79.7	79.6	27.6	29.7	99.7	98.5
16	Gunzgen	BE4	Beton	N1	07.05.09	80.7		19.1		99.2	98.4
17	Walterswil	BE3	PA11	N1	07.05.09	79.8		19.1		99.1	98.1
18	Walterswil	ZH7	PA11	N1	07.05.09	79.6		22.2		99.7	98.7
19	Oftringen	ZH6	SMA11	N1	07.05.09	80.7		22.2		99.4	98.8
20	Oberbipp	BE5	MR8	N1	07.05.09	79.6		19.7		99.9	99.1
21	Oberbipp	ZH4	MR8	N1	07.05.09	79.8		21.5		99.4	98.1
22	Subingen	ZH3	MR8	N1	07.05.09	80.7		20.4		99.0	99.1
23	Derendingen	BE6	MR11	N1	07.05.09	80.5		20.2		96.9	97.0
24	Rechterswil	ZH2	MR8	N1	07.05.09	80.7		21.0		94.5	95.2
25	Schönbühl	ZH1	AC16	N1	07.05.09	79.6		21.4		96.3	95.5
26	Suhr	BE1	PA11	N1	07.05.09	79.6		18.6		94.2	94.3
27	Suhr	ZH8	PA11	N1	07.05.09	80.7		21.6		97.5	96.0
28	Kölliken	BE2	PA11	N1	07.05.09	79.6		19.2		95.1	95.2
29	Hunzenschwil	ZH9	SMA11	N1	07.05.09	80.4		21.7		94.1	96.3
30	Härkingen	ZH5	AC11	N1	07.05.09	80.1		21.6		99.4	97.7
31	Lugano	MP3	(dicht)	N2	21.07.09	75.7		36.0		100.4	99.3
32	Tenniken	MP2	PA11	N2	04.08.09	78.1		30.7		100.1	99.3
33	Arisdorf	MP1	SMA11	N2	04.08.09	76.6		23.3		101.4	100.3

Zum Zeitpunkt der Messungen waren die Fahrbahnen jeweils trocken. Auch am Tag vor den Messungen waren keine Niederschläge zu verzeichnen, so dass sich keine Restfeuchtigkeit in den Belägen befand, die die Messergebnisse hätten beeinflussen können. Teilweise wurden die Messungen mit den Reifentypen P und H nicht am selben Tag durchgeführt, um die Gesamtmesszeiten (inklusive Reifenwechsel) und Fahrstrecken zu minimieren. Zu jeder einzelnen Messfahrt wurden die Luft- und Fahrbahntemperaturen fortlaufend erfasst. Die Witterungsbedingungen entsprachen den Normanforderungen. Störgeräusche sind während der Messung nicht aufgetreten.

### 5.2.3 Beschreibung des Messanhängers

Für die Messungen wurde ein der Norm entsprechender, speziell konstruierter Messanhänger verwendet, der hinter einem Zugfahrzeug nachgezogen wird. Dieser Messanhänger rollt auf zwei Reifen, die gleichzeitig zur Erzeugung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche dienen. In kurzem Abstand zur Reifenaufstandsfläche sind jeweils zwei Messmikrofone montiert, die der Schallaufzeichnung dienen. Die Räder laufen in akustisch getrennten Radkästen, so dass die beiden Rollspuren getrennt vermessen werden können.

Da die Messungen im fließenden Verkehr durchgeführt werden, erfüllt der Messanhänger besondere Anforderungen an die Schalldämmung gegenüber den Aussengeräuschen, die durch im Gegenverkehr vorbeifahrende sowie durch nachfolgende, vorausfahrende oder überholende Fahrzeuge hervorgerufen werden. Besondere Anforderungen werden auch an die Auskleidung der Innenflächen des Messanhängers gestellt, die dafür sorgt, dass in den Messkammern im massgeblichen Frequenzbereich quasi Freifeldbedingungen herrschen, d. h. dass die von den Mikrofonen registrierten Reifen-Fahrbahn-Geräusche nicht durch Schallreflexionen an den Innenflächen gestört werden. Die Müller-BBM Messanhänger erfüllen die Anforderungen nach Norm. Deren Aufbau ist in *Abb. 7* bis *Abb. 10* dargestellt.



**Abb. 7** Schema der Messanordnung zur Durchführung von Messungen mit der Nahfeldmessmethode.



**Abb. 8** Müller-BBM Messanhänger

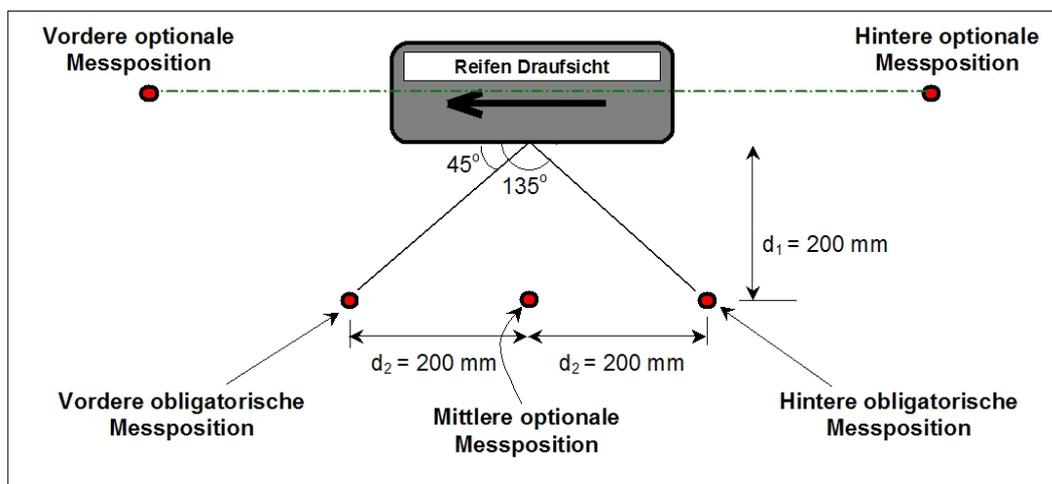


**Abb. 9** Reifentyp P, vorderes Mikrofon

## 5.2.4 Mikrofonpositionen

Bei den Messungen in 2009 wurden die nach Norm obligatorischen Mikrofonpositionen im rechten Radhaus und zusätzlich die entsprechenden Mikrofonpositionen im linken Radhaus (siehe allgemeine Beschreibung im vorherigen Abschnitt 5.2.3) ausgewertet.

Bei den Messungen in 2013 wurden elf Mikrofone im rechten Radhaus verwendet, wovon zwei den Norm-Mikrofonpositionen entsprachen, siehe Abb. 11. Die Beschreibung und Definition der Positionen der elf Mikrofone sind in Tab. 8 aufgeführt.



**Abb. 10** Anordnung der Messmikrofone gemäß ISO/DIS 11819/2 in der Draufsicht. Die Höhe der Messmikrofone über der Fahrbahnoberkante beträgt 100 mm.

Von den in Abb. 10 dargestellten Messpositionen werden die obligatorischen Messpositionen zur Messung verwendet.



**Abb. 11** Messbereit bestückte Halterung mit den elf Mikrofonen mit Windbällen. Rechts die Positionierung der Mikrofone um den Messreifen; die nach Norm obligatorischen Positionen 5 und 7 sind in rot dargestellt.

**Tab. 8 Definition der elf Mikrofonpositionen**  
bei einer jeweiligen Mikrofonhöhe von  $h = 0.1$  m über der Fahrbahnoberfläche

#	Bezeichnung	Position längs in m	Position quer in m
1	vorne	0.2 vor Rad	Radmitte
2	vorne schräg	0.2 vor Rad	0.15 von Ecke
3	Vorne Ecke	0.2 vor Rad	0.2 von Radinnenseite
4	seitlich vorne	0.3 vor Radmitte	0.2 von Radinnenseite
5	Standard vorne	0.2 vor Radmitte	0.2 von Radinnenseite
6	seitlich	Radmitte	0.2 von Radinnenseite
7	Standard hinten	0.2 hinter Radmitte	0.2 von Radinnenseite
8	seitlich hinten	0.3 hinter Radmitte	0.2 von Radinnenseite
9	hinten Ecke	0.2 hinter Rad	0.2 von Radinnenseite
10	hinten schräg	0.2 hinter Rad	0.15 von Ecke
11	hinten	0.2 hinter Rad	Radmitte

### 5.2.5 Beschreibung der Messreifen

Für reproduzierbare Messungen mit Hilfe der Nahfeldmessmethode sind nach Norm die nachfolgend beschriebenen Reifen mit den angegebenen Abmessungen zu verwenden (vgl. Abb. 12):

- Reifentyp P      Uniroyal Tiger Paw SRTT      225/60 R16
- Reifentyp H      AVON AV4      195/80 R14



Abb. 12 Verwendete Messreifentypen gemäss ISO 11819-2.

### 5.2.6 Ermittlung der Messwerte

Es wurden nacheinander Messungen mit den Messreifensätzen P und H durchgeführt. Soweit es die Messungen betrifft, die von Müller-BBM im Rahmen der Zustandserfassung Nationalstrassen 2009 durchgeführt wurden, befand sich der Messreifen Typ P im rechten und der Messreifen Typ H im linken Radhaus. An jedem der Messreifen, die jeweils in einer Rollspur eines Fahrstreifens rollen, werden die A-bewerteten Schalldruckpegel mit der Zeitkonstante „FAST“ (125 ms) ermittelt.

Zusätzlich wurden jede Sekunde die aktuellen Werte für Luft- und Fahrbahnoberflächen-temperatur und die Fahrzeuggeschwindigkeit aufgezeichnet. Die Bestimmung der Luft-

temperatur findet in 1.5 m über der Fahrbahnoberkante hinter dem Zugfahrzeug statt. Die Messung der Fahrbahnoberflächentemperatur wird mit einem Infrarotthermometer berührungslos im Anhänger durchgeführt.

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

Aus den gemessenen Schalldruckpegeln  $L_{t,s,f,m,i}^{CPX}$  werden durch energetische Mittelung 20 m-Intervalle für den Reifentyp  $t$  (P; H), Belag  $s$  (dicht; porös), Terzbandmittenfrequenz  $f$  und Mikrofonposition  $m$   $L_{t,s,f,m}^{CPX}$  gebildet:

$$L_{t,s,f,m}^{CPX} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{t,s,f,m,i}^{CPX}/10\text{dB(A)}} \right) \text{dB(A)}$$

### 5.2.7 Kalibrierung

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

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

### 5.2.8 Messgenauigkeit

Die Fahrzeuggeschwindigkeit kann mit einer Unsicherheit von  $\pm 1$  km/h, die Luft- und Oberflächentemperatur mit einer Unsicherheit von  $\pm 0.5$  °C bestimmt werden. Die akustische Messunsicherheit, interpretiert als Standardabweichung der Wiederholgenauigkeit der CPX-Indizes, liegt erfahrungsgemäss bei  $\pm 0.5$  dB.

### 5.2.9 Qualitätsmanagement

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

Im Besonderen werden die Messreifen während der Messsession stetigen Qualitätskontrollen bezüglich der Shore-Härte (A-Skala) unterzogen. Die Messreifen werden im Regelfall jährlich neu angeschafft.

### 5.2.10 Messmittel

Für die in 2013 durchgeführten CPX-Messungen wurden die in *Tab. 9* aufgelisteten Geräte verwendet. Die CPX-Messungen die in 2009 durchgeführt wurden, sind in dem, dem ASTRA vorliegenden Müller-BBM Bericht M78492/4 vom 18.12.2009 dokumentiert.

**Tab. 9** Messmittel für die schalltechnische Untersuchung nach der CPX-Methode

Beschreibung	MP	Position	Hersteller	Typ	SN / Version
½"-Mikrofon	1	vorne	Brüel & Kjær	4189	2719896
	2	vorne schräg	Brüel & Kjær	4189	2719897
	3	vorne Ecke	Brüel & Kjær	4189	2748297
	4	seitlich vorne	Brüel & Kjær	4189	2719899
	5	Standard vorne	PCB	377B02	LW131814
	6	seitlich	PCB	377B02	LW131815
	7	Standard hinten	PCB	377B02	LW131817
	8	seitlich hinten	PCB	377B02	LW131820
	9	hinten Ecke	PCB	377B02	LW131838
	10	hinten schräg	PCB	377B02	LW133533
	11	hinten	PCB	377B02	LW131814
½"-Mikrofon- Vorverstärker	1	vorne	Microtech Gefell	MV210	1904
	2	vorne schräg	Microtech Gefell	MV210	1905
	3	vorne Ecke	Microtech Gefell	MV210	1906
	4	seitlich vorne	Microtech Gefell	MV210	1907
	5	Standard vorne	PCB	4260	LW22804
	6	seitlich	PCB	4260	LW22808
	7	Standard hinten	PCB	4260	LW22809
	8	seitlich hinten	PCB	4260	LW22811
	9	hinten Ecke	PCB	4260	LW22812
	10	hinten schräg	PCB	4260	LW22822
	11	hinten	PCB	4260	LW22804
Messreifen	P	Passenger Car	Uniroyal	Tiger Paw SRTT AP X0 EVUU	0512 P-R-bsl 0512 P-L-bsl
	H	Heavy Duty	AVON	AV4 AT J8 PC	1012 H-R-bsl 1012 H-L-bsl
Datenerfassungssystem			Müller-BBM VAS	PAK Mobil MKII	1211M8320
Software zur Datenerfassung			Müller-BBM VAS	PAK	5.7SR3
Lufttemperaturmessgerät			Electrotherm	PT100 2-L	-
Fahrbahntemperaturmessgerät (Laser)			Impac Infrared	IN 3000	12469
GPS-Sensor			Ublox	regular	604419
Kalibrator			Brüel & Kjær	4231	1821045

## 5.3 SPB-Methode

### 5.3.1 Mikrofonpositionen

Es wurden die nach Anhang 1c des Merkblatts obligatorischen Mikrofonpositionen gewählt, d.h. für die SPB-Messung des  $L_{Amax}$  wurde das Mikrofon bei 7.5 m Abstand zur Mitte des rechten Fahrstreifens in einer Höhe von 1.2 m über Fahrhahnoberkante platziert und des  $L_{Aeq}$  im Abstand von 5 m von der Fahrstreifenmitte und 1.5 m über der Fahrhahnoberkante.

### 5.3.2 Zeitpunkt, Witterung und Störgeräusche

Das Datum und der Messzeitraum, die durchschnittliche Lufttemperatur und Fahrhahntemperatur sind für jede SPB-Messung in *Tab. 10* aufgeführt. Die Fahrhahnen waren eine ausreichende Zeit vor und während der Messdurchführung trocken. Die Witterungsbedingungen entsprachen stets den Normanforderungen. Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch Flugbetrieb oder Bahnverkehr sind nicht aufgetreten.

**Tab. 10** Messzeitraum, Luft- und Fahrhahntemperatur der SPB-Messungen

ID = Kennnummer, MP = Messpunkt, Qu. = Datenquelle, BM = Belags-Monitoring, ZEB = Zustandserfassung,  $T_L$  = Lufttemperatur,  $T_F$  = Fahrhahntemperatur

ID	Ort	MP	Belag	Firma	Qu.	Datum	Zeitraum	$T_L$ , °C	$T_F$ , °C
1	Birrhard	MP1	PA8	MBBM	BM	07.0513	21:20 - 23:16	13.5	17.1
2	Bern	K1	MR8	G+P	BM	04.0613	19:50 - 21:27	15.7	18.7
3	Bern	K2	MR8	G+P	BM	05.0613	19:21 - 21:08	20.7	26.6
4	Bern	K3	MR8	G+P	BM	12.0613	20:01 - 22:54	17.7	20.7
5	Bern	K4	MR8	G+P	BM	06.0613	20:07 - 23:08	18.5	19.9
6	Rolle-Morges	MP3	MR8	MBBM	BM	22.0713	22:10 - 00:23	21.7	27.7
7	Rolle-Morges	MP4	MR8	MBBM	BM	23.0713	01:37 - 03:47	17.4	17.9
8	Rolle-Morges	MP5	PA11	MBBM	BM	22.0713	19:05 - 20:48	29.4	32.5
9	Villeneuve-R.	MP4	MR11	MBBM	BM	22.0713	09:24 - 11:13	25.7	28.1
10	Villeneuve-R.	MP5	MR11	MBBM	BM	22.0713	12:47 - 14:03	30.5	39.2
11	Aaretalstrasse	Aar	MR8	MBBM	BM	26.0413	12:07 - 14:32	23.4	27.9
12	Aaretalstrasse	Aar+	MR8+	MBBM	BM	25.0413	15:42 - 17:43	24.5	31.5
13	Bertschikon	MP1	MR8	Sinus	BM	25.0413	14:51 - 16:12	22.0	31.0
14	Bad Ragaz	MP1	MR8	Sinus	BM	25.0413	10:14 - 11:12	20.0	23.0
15	Sargans	MP1	MR8	Sinus	BM	25.0413	07:03 - 08:07	14.0	7.1
16	Gunzgen	BE4	Beton	MBBM	ZEB	24.0409	10:31 - 17:06	15.0	23.2
17	Walterswil	BE3	PA11	MBBM	ZEB	07.0509	20:13 - 22:49	15.1	18.5
18	Walterswil	ZH7	PA11	MBBM	ZEB	25.0509	11:52 - 13:40	29.4	37.3
19	Oftringen	ZH6	SMA11	MBBM	ZEB	26.0509	09:19 - 13:34	23.8	31.1
20	Oberbipp	BE5	MR8	MBBM	ZEB	22.0409	10:35 - 14:34	19.0	27.5
21	Oberbipp	ZH4	MR8	MBBM	ZEB	23.0409	10:30 - 14:51	15.9	27.9
22	Subingen	ZH3	MR8	MBBM	ZEB	19.0509	20:24 - 21:53	18.0	18.9
23	Derendingen	BE6	MR11	MBBM	ZEB	19.0509	13:16 - 18:34	24.0	32.9
24	Rechterswil	ZH2	MR8	MBBM	ZEB	18.0509	23:45 - 03:07	8.6	10.5
25	Schönbühl	ZH1	AC16	MBBM	ZEB	18.0509	19:14 - 22:02	14.5	18.8
26	Suhr	BE1	PA11	MBBM	ZEB	07.0509	14:50 - 19:01	25.5	32.4
27	Suhr	ZH8	PA11	MBBM	ZEB	25.0509	19:49 - 21:26	24.2	32.7
28	Kölliken	BE2	PA11	MBBM	ZEB	06.0509	19:52 - 21:29	14.5	17.3
29	Hunzenschwil	ZH9	SMA11	MBBM	ZEB	06.0509	01:32 - 04:53	8.6	8.3
30	Härkingen	ZH5	AC11	MBBM	ZEB	05.0509	19:25 - 23:02	10.9	11.8
31	Lugano	MP3	(dicht)	MBBM	ZEB	10.0909	03:15 - 06:16	11.4	12.6
32	Tenniken	MP2	PA11	MBBM	ZEB	04.0809	19:30 - 22:52	16.6	20.8
33	Arisdorf	MP1	SMA11	MBBM	ZEB	05.0809	10:42 - 14:27	25.1	31.3

### 5.3.3 Messergebnisse

Die Belagsgütwerte  $K_b$  sind zusammen mit der Anzahl gültiger Vorbeifahrten und durchschnittlichen Geschwindigkeit jeweils für PW und LW in *Tab. 11* aufgeführt.

**Tab. 11** Ergebnisse der SPB-Messungen

ID = Kennnummer, MP = Messpunkt,  $n$  = Anzahl der Fahrzeuge,  $\bar{v}$  = durchschnittliche Geschwindigkeit

ID	Ort	MP	Belag	$n_{PW}$	$\bar{v}_{PW}$ , km/h	$n_{LW}$	$\bar{v}_{LW}$ , km/h	$K_{bPW}$	$K_{bLW}$
1	Birrhard	MP1	PA8	150	111.3	28	98.3	-6.2	-7.7
2	Bern	K1	MR8	105	99.1	32	85.8	-1.8	-1.2
3	Bern	K2	MR8	111	98.3	30	85.0	-1.1	-0.3
4	Bern	K3	MR8	110	97.6	25	86.6	-0.1	0.3
5	Bern	K4	MR8	96	98.2	30	86.8	0.0	0.4
6	Rolle-Morges	MP3	MR8	302	119.0	7	106.3	-4.1	-3.6
7	Rolle-Morges	MP4	MR8	157	119.6	32	100.0	-3.7	-4.0
8	Rolle-Morges	MP5	PA11	192	113.9	29	97.1	-2.9	-5.4
9	Villeneuve-R.	MP4	MR11	101	113.5	38	95.2	1.8	0.0
10	Villeneuve-R.	MP5	MR11	126	109.3	33	88.1	1.1	-0.3
11	Aaretalstrasse	Aar	MR8	95	99.0	44	92.2	0.2	-0.8
12	Aaretalstrasse	Aar+	MR8+	99	104.2	30	95.3	-1.9	-2.2
13	Bertschikon	MP1	MR8	112	115.4	34	84.4	1.0	0.0
14	Bad Ragaz	MP1	MR8	132	113.7	39	83.4	-1.5	-1.6
15	Sargans	MP1	MR8	107	113.6	37	85.4	-0.3	-0.4
16	Gunzgen	BE4	Beton	45	112.2	68	91.3	6.2	3.1
17	Walterswil	BE3	PA11	176	124.3	106	103.0	-4.9	-7.7
18	Walterswil	ZH7	PA11	57	121.1	69	99.2	-5.2	-5.4
19	Oftringen	ZH6	SMA11	25	104.6	45	86.8	5.7	2.1
20	Oberbipp	BE5	MR8	34	113.1	77	98.0	1.8	-0.2
21	Oberbipp	ZH4	MR8	20	121.4	64	101.1	1.3	0.3
22	Subingen	ZH3	MR8	56	122.9	37	95.6	0.3	-1.6
23	Derendingen	BE6	MR11	51	119.3	59	91.4	2.4	0.6
24	Rechterswil	ZH2	MR8	137	117.9	69	98.3	0.3	-2.3
25	Schönbühl	ZH1	AC16	83	114.9	46	94.6	2.1	0.1
26	Suhr	BE1	PA11	87	119.2	96	96.8	-5.1	-5.2
27	Suhr	ZH8	PA11	132	117.3	71	95.1	-4.2	-6.1
28	Kölliken	BE2	PA11	70	118.2	72	97.5	-1.4	-4.0
29	Hunzenschwil	ZH9	SMA11	157	116.0	109	96.9	2.2	-1.7
30	Härkingen	ZH5	AC11	88	115.3	74	97.3	4.3	0.4
31	Lugano	MP3	(dicht)	134	102.6	45	85.2	3.9	2.2
32	Tenniken	MP2	PA11	187	117.1	71	97.6	1.8	-3.3
33	Arisdorf	MP1	SMA11	101	117.7	97	93.9	3.0	0.0

### 5.3.4 Messmittel

In Tab. 12 sind die für die SPB-Messungen im Jahr 2013 von Müller-BBM verwendeten Messmittel aufgelistet. Sie unterliegen dem bei Müller-BBM eingeführten Qualitätsmanagement und werden regelmässig mit Prüfnormalen verglichen. Mithilfe eines Luftschallkalibrators wird die gesamte Messgerätekette vor Messbeginn kalibriert. Am Ende der Messung wird die Kalibrierung überprüft.

Die SPB-Messungen, die in 2009 durchgeführt wurden, sind in dem Müller-BBM Bericht M78492/2 vom 10.06.2009 dokumentiert.

Die SPB-Messungen, die von anderen Ingenieurbüros durchgeführt wurden, sind in den jeweiligen Belagsmonitoring-Berichten dokumentiert.

**Tab. 12** *Verwendete SPB-Messmittel*

MP = Messpunkt,  $d$  = Mikrofonabstand zur Mitte des rechten Fahrstreifens,  
 $h$  = Mikrofonhöhe über der Fahrbahnoberkante des rechten Fahrstreifens

Beschreibung	MP	$d$ , m	$h$ , m	Hersteller	Typ	SN
½"-Mikrofone	1	7.5	1.2	Brüel & Kjær	4189	2719899
	2	5.0	1.5			2719900
½"-Mikrofon-Vorverstärker	1	7.5	1.2	Microtech Gefell	MV210	1907
	2	5.0	1.5			1908
4-Kanal Messkarte				National Instruments	NI 9234	16D4C0D
Kalibrator				Brüel & Kjær	4231	3004713
Software zur Datenerfassung				Müller BBM	SPB	1.4.4534
Radar-Geschwindigkeitsmessgerät				via traffic controlling GmbH	Viacount II	12VZZ0133
Wetterstation (u. A. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit)				Reinhardt	MWS 4M	SN1022759
Fahrbahntemperaturmessgerät (Infrarot-Thermometer)				Greisinger electronic GmbH	GIM-530S	-
Präzisions Hygro-/Thermo-/Barometer				Greisinger electronic GmbH	GFTB100	-

## 6 Genauigkeit der Kb-Wert-Ableitung

Zur Bestimmung der Genauigkeit der Kb-Wert-Ableitung werden die tatsächlich ermittelten Belagsgütwerte (SPB) mit den abgeleiteten Werten (CPX) verglichen. Die Wertepaare sind dieselben wie bei der Herleitung. In Abb. 13 und Abb. 14 ist die Differenz der abgeleiteten Kb-Werte minus der tatsächlichen Kb-Werte für jeden Messort dargestellt.

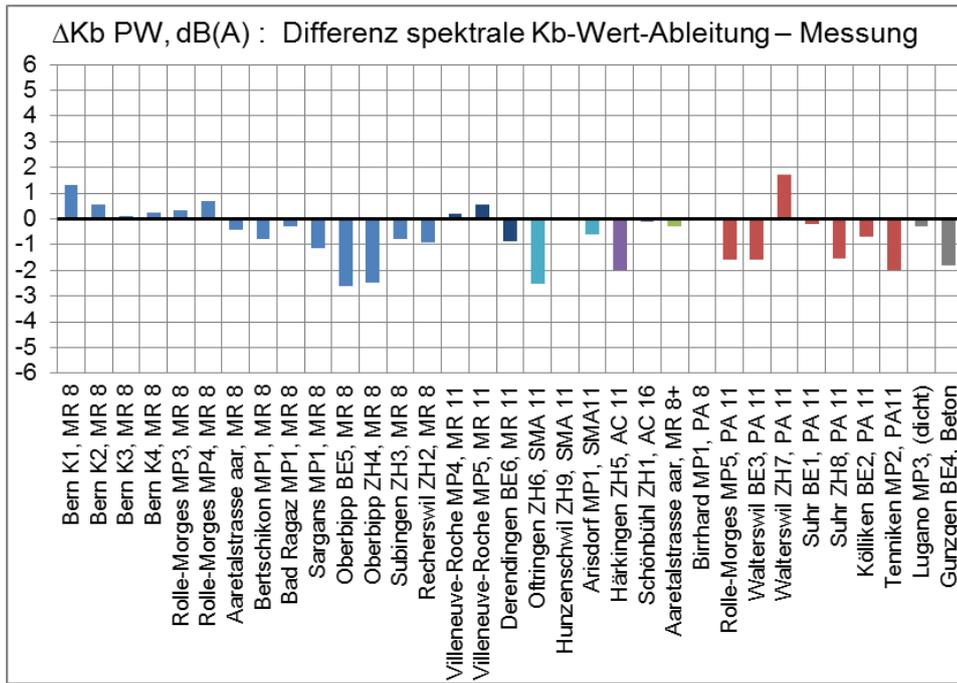


Abb. 13 Differenz der Kb-Werte für PW an jedem Messort.

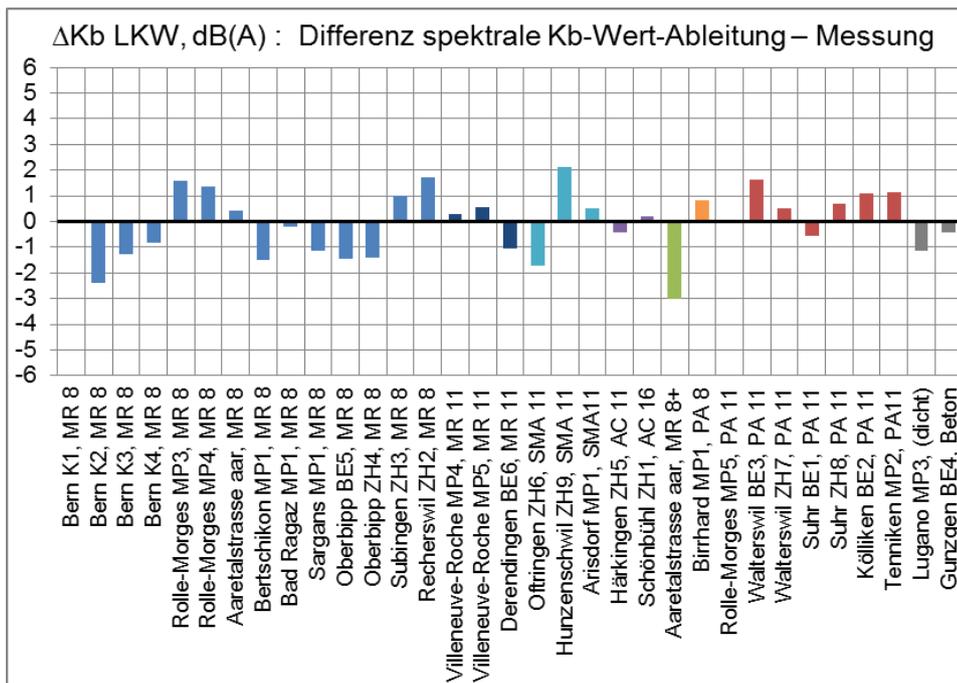


Abb. 14 Differenz der Kb-Werte für LW an jedem Messort.

Abb. 15 und Abb. 16 zeigen die sich ergebenden Differenzen bei Anwendung der bisherigen Umrechnung nach Anhang 1c zum Leitfaden Strassenlärm.

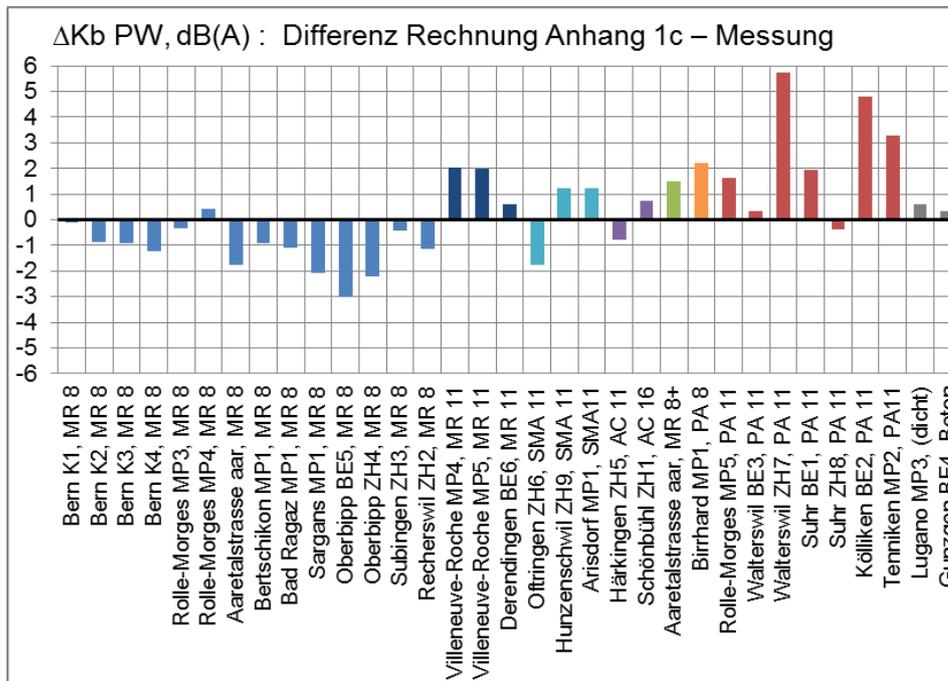


Abb. 15 Differenz der Kb-Werte nach Anhang 1c für PW an jedem Messort.

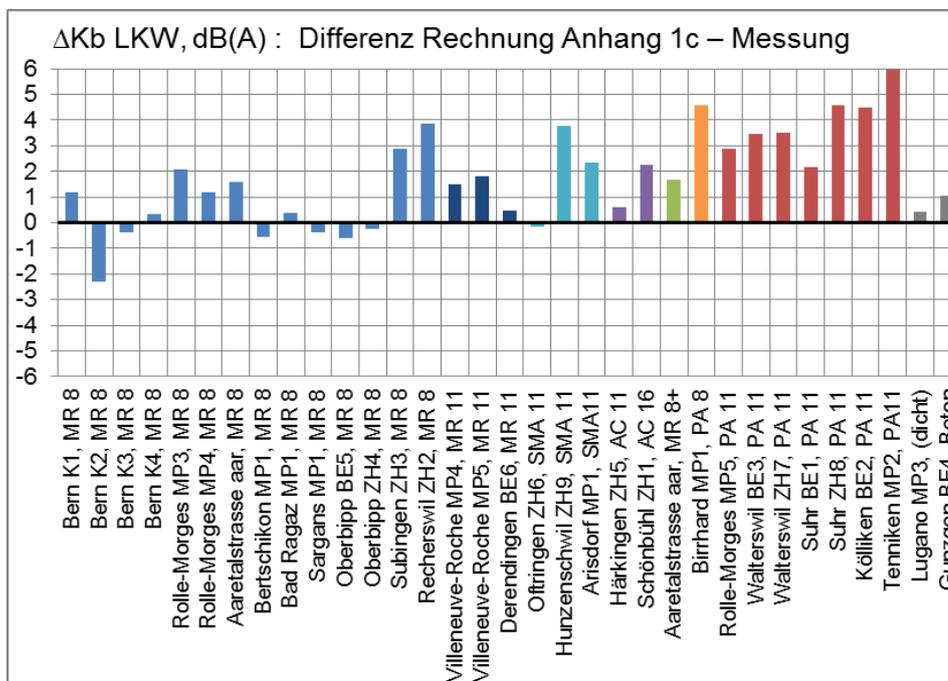


Abb. 16 Differenz der Kb-Werte nach Anhang 1c für LW an jedem Messort.

Je kürzer die Säulen in den Diagrammen sind, desto besser stimmt der aus CPX-Daten berechnete Kb-Wert mit dem tatsächlichen, anhand von SPB-Messungen ermittelten überein. Eine positive Säule zeigt an, dass die Umrechnung den tatsächlichen Kb-Wert überschätzt, eine negative, dass er ihn unterschätzt.

In *Tab. 13* sind die Mittelwerte der Beträge der Differenzen, die Standardabweichungen, die Extremwerte und die Spannweite sowohl für die Kb-Wert-Ableitung als auch für die Berechnung nach Anhang 1c zum Leitfaden Strassenlärm zusammengestellt:

$|\overline{\Delta K_b}|$  Mittelwerte der Beträge der Differenzen

Std. Abw.  $\sigma$  Standardabweichung

Max, Min Extremwerte

Max-Min Spannweite

**Tab. 13** Mittelwerte der Differenzbeträge und Extremwerte der Kb-Wert-Ableitung

dB(A)	Kb-Wert-Ableitung		Umrechnung nach Anhang 1c	
	PW	LW	PW	LW
Max	1.7	2.1	5.8	6.0
$ \overline{\Delta K_b} $	0.9	1.0	1.5	2.0
Min	-2.6	-3.0	-3.0	-2.3
Max-Min	4.4	5.1	8.8	8.3
Std. Abw. $\sigma$	1.1	1.2	1.9	1.9

Die Spannweite bei PW hat sich mit 4.4 dB(A) halbiert und die mittleren Abweichungen zu den tatsächlichen Kb-Werten betragen etwa 1 dB(A) für beide Fahrzeuggruppen. Das bedeutet, dass die Kb-Wert-Ableitung nicht nur im Mittel näher am tatsächlichen Kb-Wert liegt, sondern auch die Extremwerte, vor allem die der positiven Differenzen.

Die Standardabweichung über alle Wertepaare beträgt für PW 1.1 dB(A) und für LW 1.2 dB(A). Die Messunsicherheit bei der SPB-Methode beträgt im Mittel etwa 1 dB(A) und bei der CPX-Methode etwa 0.5 dB(A). Die kombinierte Unsicherheit beider Messmethoden ergibt 1.1 dB(A). Somit bewegt sich die Standardabweichung der Kb-Wert-Ableitung etwa im Rahmen der kombinierten Messunsicherheit beider Messmethoden.

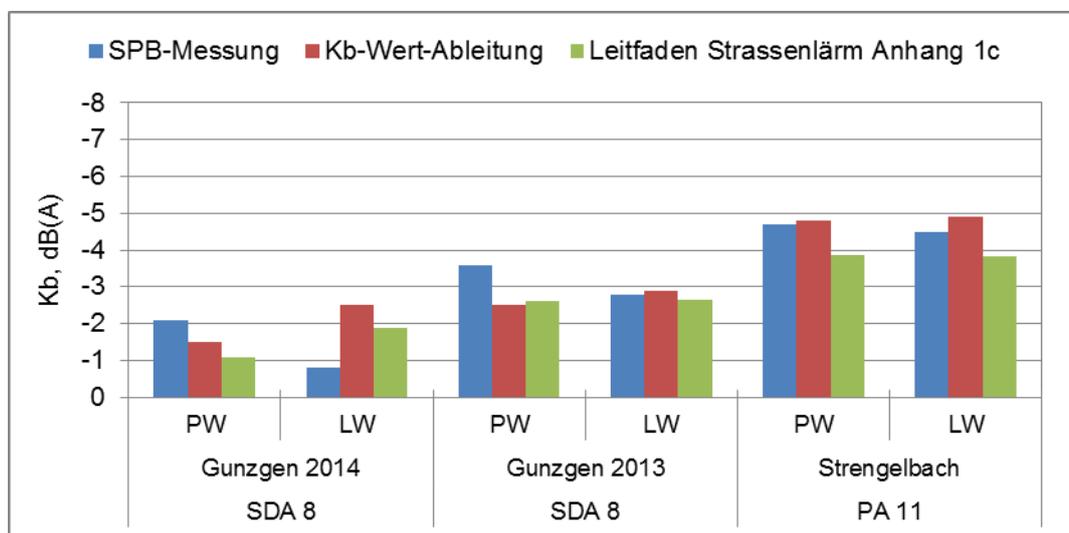


## 7 Validierung der Kb-Wert-Ableitung

Zur Validierung der Kb-Wert-Ableitung wurden uns von der Ingenieurgesellschaft Grolimund + Partner AG drei weitere CPX-SPB-Wertepaare zur Verfügung gestellt, die nicht in der Datenbank für die Entwicklung der Kb-Wert-Ableitung enthalten sind. Allerdings wurden uns nicht die Resultate der SPB-Messungen übermittelt, sondern nur die anhand der SPB-Messungen ermittelten Abweichungen gegenüber dem Referenzmodell StL-86+. In *Tab. 14* sind die sich aus den zur Verfügung gestellten Daten ergebenden Kb-Werte zusammengestellt. Die Kb-Werte, die sich aus den SPB-Messungen, der hier beschriebenen Ableitung der Kb-Werte aus den CPX-Messungen und dem linearen Regressionsmodell des Anhangs 1c zum Leitfaden Strassenlärm zur Umrechnung von CPX- in Kb-Werte ergeben, sind in *Abb. 17* zusammengefasst dargestellt.

**Tab. 14** Wertepaare zur Validierung, Kb Werte in dB(A) aus SPB-Messung und Berechnungen.

Ort	Belag	Jahr	Fahrzeug-kategorie	CPX-Pegel	Kb-Wert aus		
					SPB-Messung	Kb-Wert-Ableitung	Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c
Gunzgen 1	SDA 8	2014	PW	96.6	-2.1	-1.5	-1.1
			LW	96.2	-0.8	-2.5	-1.9
Gunzgen 2	SDA 8	2013	PW	95.6	-3.6	-2.5	-2.6
			LW	95.6	-2.8	-2.9	-2.7
Strengelbach	PA 11	2014	PW	94.6	-4.7	-4.8	-3.9
			LW	94.6	-4.5	-4.9	-3.8



**Abb. 17** Kb-Werte für PW und LW an drei Messorten als Resultat der SPB-Messung in Form der Abweichung gegenüber dem Referenzmodell StL-86+, der hier beschriebenen Kb-Wert-Ableitung und dem linearen Regressionsmodell nach Anhang 1c von 2013 zum Leitfaden Strassenlärm.

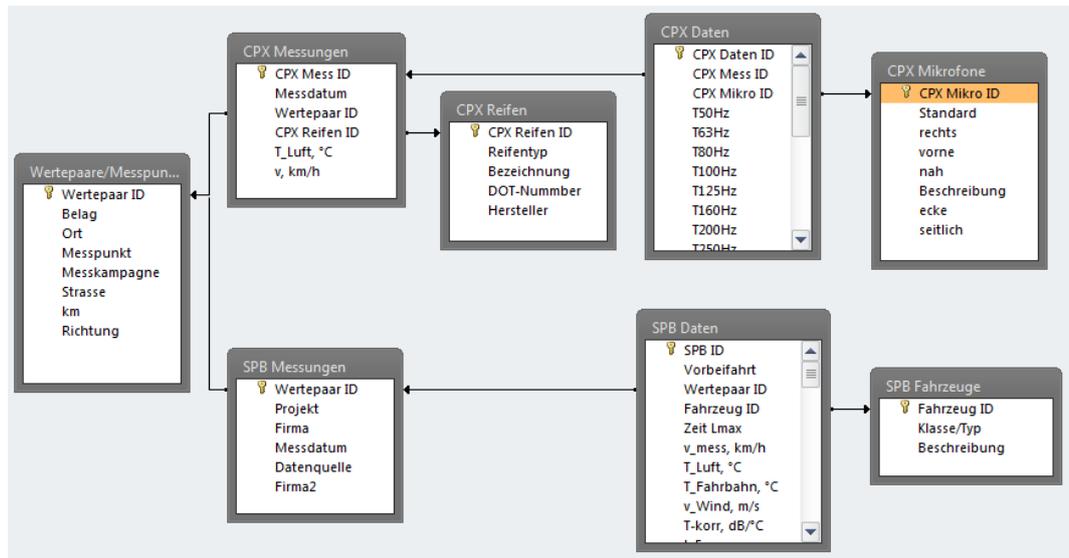
Wie *Abb. 17* zeigt, werden in drei der sechs Fälle Verbesserungen der Differenz zwischen den anhand der CPX-Messung berechneten Kb-Werten und den als Abweichung gegenüber dem Referenzmodell StL-86+ aus den SPB-Messungen ermittelten Kb-Wer-

ten erreicht (Gunzgen 2014 PW, Strengelbach PW und LW). In zwei der sechs Fälle bleiben die Differenzen nahezu gleich (Gunzgen 2013) und in einem Fall ergibt sich mit der Kb-Wert-Ableitung eine um 0.7 dB(A) höhere Differenz (Gunzgen 2014 LW).

Für die grössere Abweichung im letzten Fall findet sich keine Erklärung. Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass die Kb-Wert-Ableitung für die Fahrzeugkategorie PW, also die Ableitung auf Basis des Reifens P (SRTT Reifen) der CPX-Messung, tendenziell zielsicherer funktioniert, die Differenzen zu den aus SPB-Messungen ermittelten Abweichungen gegenüber dem Referenzmodell StL-86+ im Mittel kleiner ausfallen als bei Ableitungen für die Fahrzeugkategorie LW, die auf CPX-Messungen mit dem Reifen H (AVON Reifen) basieren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass CPX-Messungen mit dem Reifen H aufgrund der schlecht definierten Eigenschaften und damit grösseren Streuung der akustischen Eigenschaften dieses Reifentyps zu einer grösseren interindividuellen Streuung von Messresultaten führen als CPX-Messungen mit dem Reifen P. Da Kb-Werte im Zehntel dB Bereich aufgelöst werden müssen, spielen mess- und messsystembedingte Streuungen eine grosse Rolle. Die Verfahren zur Kb-Wert-Berechnung anhand von CPX-Messungen (Kb-Wert-Ableitung und Regressionsmodell nach Anhang 1c) liefern für gleiche CPX-Pegel innerhalb eines Verfahrens immer den gleichen Wert. Die CPX-Pegel sind jedoch für ein und denselben Fahrbahnbelag nicht gleich, weil die akustischen Eigenschaften der Messreifen streuen. Die messsystembedingten Streuungen schlagen damit auf die Kb-Wert-Berechnung durch. Je kleiner die messsystembedingte Streuung ist, desto sicherer ist auch das Resultat der Kb-Wert-Berechnung.

## 8 Datenbank aller CPX- und SPB-Messdaten

Für übergreifende Auswertungen der CPX- und SPB-Wertepaare und die Bestimmung der Kb-Wert-Ableitung wurden die Ergebnisse der Messungen in einer relationalen Datenbank (Microsoft Access) abgelegt, siehe Strukturschema in *Abb. 18*.



**Abb. 18** Struktur der relationalen Datenbank.

Übergeordnet führt die Tabelle „Wertepaare/Messpunkte“ den CPX- und SPB-Zweig zusammen und weist folgende allgemeine Daten auf:

Belag	Typbezeichnung mit Grösstkorn und ggf. Hohlraumklasse
Ort	nächstgelegener Ort
Messpunkt	Bezeichnung bei mehreren Messpunkten eines Ortes
Messkampagne	bei Wiederholungsmessungen
Strasse	Kurzbezeichnung der Strasse
km	Kilometrierung des Messpunkts
Richtung	+/- für die Richtung zu-/abnehmender Kilometer

Die CPX-Rohdaten werden über drei zur Soll-SPB-Messstelle nächstgelegene 20 m-Segmente gemittelt. Die Terzspektren jedes Mikrofonkanals jeder Messfahrt sind in der Tabelle „CPX Daten“ abgelegt. Die Mittelwerte der Geschwindigkeit, Luft- und Fahrbahntemperatur aller Messfahrten sind zusammen mit der Angabe des Datums und Messreifentyps in der Tabelle „CPX Messungen“ gespeichert. In den Tabellen „CPX Reifen“ sind die verwendeten Reifen und in „CPX Mikrofone“ deren Positionen abgelegt.

In der Tabelle „SPB Daten“ sind zusammen mit den akustischen Daten Fahrzeugklasse (ID), Uhrzeit, Vorbeifahrtgeschwindigkeit, Luft- und Fahrbahntemperatur, Windgeschwindigkeit, Temperaturkorrekturfaktor und Erfassungszeit  $t_{10}$  (Vorbeifahrtzeit) aller Vorbeifahrten abgelegt. Die akustischen Daten umfassen die A-bewerteten maximalen und energieäquivalenten Schalldruckpegel sowie das unbewertete Maximalpegel-Spektrum beider Mikrofonkanäle (sofern vorhanden). Da für die Auswertung nach Norm nicht alle diese Parameter nötig sind, werden diese Daten in der Praxis üblicherweise nicht erfasst und liegen daher nur bei den von Müller-BBM durchgeführten Messungen vor. Die Tabelle „SPB Messungen“ ergänzt die jeweilige einzelne SPB-Messkampagne um Anga-

ben zum Projekt, der Firma die gemessen hat und das Messdatum. Die Fahrzeugklassen sind in der Tabelle „SPB Fahrzeuge“ abgelegt.

## 9 Praktische Anwendung

Die hier beschriebene Kb-Wert-Ableitung lässt sich in einem einfachen Tabellenkalkulationsblatt hinterlegen und anwenden. *Abb. 19* zeigt eine solche Realisierung. Die erforderlichen Eingabedaten sind in der Abbildung rot gekennzeichnet. Einzige zusätzlich erforderliche Information gegenüber bisherigen Verfahren ist das Terzspektrum des CPX-Pegels. Bei Einsatz zeitgemässer akustischer Messsysteme stellt dies jedoch keinen Mehraufwand dar, da diese Systeme eine Spektralanalyse der akustischen Signale schon während der Messung erlauben. Nach Abschluss der Messungen stehen dann neben dem Gesamtpegel auch alle Terzpegel bereits zur Verfügung.

### Kb-Wert-Ableitung

Hohlraum Belag		d	d = dicht    p = "porös" = nicht dicht		Anleitung Eingabefelder sind rot hinterlegt Korrekturparameter sind blau hinterlegt Resultat ist grün hinterlegt				
Geschwindigkeitskorrektur		Reifen P	Reifen H						
$v_{CPX}$ , km/h	80.9	80.9							
$v_{ref}$ , km/h	80.0								
$B_{v}^{CPX}$ , dB(A)	30								
SPB-Zielgeschwindigkeit		PW	LW						
$v_{SPB}$ , km/h	120.0	80.0							
Temperaturkorrektur		Reifen P	Reifen H						
$T_L$ , °C	20.0	20.0							
$T_{ref}$ , °C	20.0								
$CT_{dicht}$ , dB(A)/°C	0.05								
$CT_{porös}$ , dB(A)/°C	0.03								
Umzurechnendes CPX-Spektrum									
$f$ , Hz	$L_{t,s,f}$ , dB(A)								
	CPX P	CPX H							
315	68.0	66.6							
400	73.5	71.3							
500	77.0	75.9							
630	80.1	84.7							
800	90.6	91.1							
1'000	90.4	88.2							
1'250	86.7	86.8							
1'600	85.1	86.8							
2'000	83.2	84.1							
2'500	80.7	78.5							
3'150	76.5	75.6							
4'000	73.5	72.3							
5'000	70.8	70.1							
Berechnetes SPB-Spektrum									
	$L_{Amax,t,s,f}$ , dB(A)								
	SPB PW	SPB LW							
	57.8	62.9							
	61.6	68.8							
	64.5	71.1							
	64.1	74.8							
	71.8	77.6							
	75.7	76.2							
	73.6	75.2							
	70.5	74.3							
	70.0	72.7							
	67.8	67.6							
	63.1	64.4							
	60.1	62.6							
	56.9	58.9							
Koeffizienten									
$\Delta Lw^*_{t,f}$ , dB(A)	$K_{t,f}$ , dB(A)		$B^{SPB}_{t,f}$ , dB(A)						
	dicht    porös		dicht    porös						
	P d	H d	P p	H p					
	P d	H d	P p	H p					
-0.18	-1.59	-15.8	-2.0	-18.1	-6.0	34	0	26	0
-1.02	-1.75	-16.6	-0.6	-20.0	-5.8	33	0	26	0
-0.54	-1.56	-16.6	-3.1	-21.0	-8.3	27	0	16	0
-0.65	-2.05	-18.4	-7.7	-21.2	-12.9	18	0	10	0
0.19	-1.26	-20.7	-12.1	-21.3	-15.9	11	0	7	0
0.95	-0.58	-18.9	-11.3	-20.3	-16.1	19	0	12	0
2.10	2.13	-20.1	-13.5	-20.7	-15.6	29	0	24	0
1.80	2.03	-21.3	-14.4	-21.3	-15.6	29	0	24	0
0.15	0.27	-18.3	-11.5	-19.4	-12.5	29	0	28	0
-0.27	0.18	-17.6	-10.9	-18.5	-11.3	29	0	28	0
0.13	0.57	-18.5	-11.6	-19.3	-12.0	29	0	28	0
-0.10	0.42	-18.2	-10.0	-18.6	-10.6	29	0	28	0
0.16	-0.56	-19.1	-10.5	-18.6	-10.0	29	0	28	0
CPX-Gesamtpegel									
$L$ , dB(A)	95.6	95.6							
SPB max-Gesamtpegel									
$L_{Amax}$ , dB(A)	80.5	83.8							

**Abb. 19** Beispiel für die Umsetzung der Kb-Wert-Ableitung in einem Tabellenkalkulationsblatt.



## Glossar

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
LSV	Lärmschutzverordnung
CPX	Belagsgütemessung nach der Close Proximity Methode
SPB	Belagsgütemessung nach der Statistical-Pass-By Methode
SEM	Stichproben-Emissionsmessung der Belagsgüte
PW	Personenwagen
LW	Lastwagen
Kb	Belagsgütewert
Reifentyp P	Passenger Car Tire, (PW typischer Reifen)
Reifentyp H	Heavy Duty Tire, (LW ähnlicher Reifen)
MR 8 bzw. ACMR 8	Asphaltbeton macro rugueux mit 8 mm Grösstkorn
PA 8	Poröser Asphalt mit 8 mm Grösstkorn
SMA 11	Splittmastixasphalt mit 11 mm Grösstkorn
AC 16	Asphaltbeton mit 16 mm Grösstkorn
k. A.	Keine Angabe
SN	Schweizer Norm
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute



## Literaturverzeichnis

---

### Verordnungen

- [1] Schweizerische Bundesrat (2010), „**Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986**“, SR 814.41, [www.admin.ch](http://www.admin.ch).
- 

### Normen

- [2] International Organization for Standardization (2012), „**Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2: The close-proximity method**“, *Layout for ISO 11819-2*.
- [3] International Organization for Standardization (2014), „**Acoustics – Temperature influence on tyre/road noise measurement – Part 1: Correction for temperature when testing with the CPX method**“, *Working Draft for ISO/TS 13471-1*
- 

### Vollzugshilfe für die Sanierung des BAFU+ASTRA

- [4] Bundesämter für Umwelt BAFU und Strassen ASTRA (2006), „**Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung, Stand Dezember 2006**“, Anhang 1c Version 31.0713, „**Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen auf Strassen**“
- 

### Schriftenreihe

- [5] Heutschi K (2004), „**SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenlärm**“, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.
- [6] Bundesamt für Umweltschutz (1987): „**Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, Teil 1: Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86**“, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60
-



# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 06.09.2016

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA 2011/007\_OBF  
 Projekttitel: Lärmschutzprojekte der ASTRA Filialen - Projektbegleitende Forschung Akustik  
 Enddatum: 30.06.2016

#### Texte

Zusammenfassung der Projektresultate:

Nach Einbau lärmarmen Deckbeläge ist ein Lärmmonitoring über die Dauer von 5 Jahren durchzuführen, das regelmässig durch Messungen der akustischen Belagsgüte mit Hilfe der Statistischen Vorbeifahrtmethode (SPB) erfolgt. Auch das CPX-Messverfahren steht hierfür zur Verfügung, wenngleich das Referenzmodell für die Bestimmung der akustischen Belagsgüte StL-86+ auf Vorbeifahrtpegeln beruht. Zur Bestimmung der akustischen Belagsgüte (KB-Werte) anhand von CPX-Pegeln muss deshalb ein zuverlässiges Umrechnungsverfahren zur Verfügung stehen.

Für die Entwicklung eines Modells zur Umrechnung von CPX-Messwerten in Belagskorrekturen KB wurde eine vorhandene Datenbasis (18 Strecken) durch Messungen von CPX- und SPB-Pegeln am selben Belagsabschnitt (CPX-SPB-Wertepaare) auf 15 weiteren Strecken ausgebaut. Die Strecken wurden so festgelegt, dass eine Vielfalt von sieben verschiedenen Belagstypen entstand. Die nach Anhang 1c zum Leitfaden Strassenlärm durchgeführten CPX-Messungen wurden durch Nahfeldmessungen mit einer Viel-Mikrofon-Anordnung zur Erfassung des Abstrahlverhaltens des rollenden Reifens in Abhängigkeit von der Fahrbahndeckschicht erweitert. Durch Berücksichtigung des Abstrahlverhaltens in Form einer Schalleistungsergänzung der gemessenen Schalldruckpegel der Rollgeräusche konnte die Korrelation der SPB- und CPX-Werte verbessert werden. Für die Umrechnung von CPX- in KB-Werte wurde ein neues Rechenmodell formuliert. Das neue Umrechnungsverfahren verbessert die Ermittlung von Belagsgütwerten anhand von CXP-Messwerten gegenüber dem im Anhang 1c beschriebenen Regressionsmodell. Sowohl Standardabweichung als auch Spannweite der Differenzen zwischen abgeleiteten und anhand von SPB-Messungen erhobenen KB-Werten reduzieren sich etwa auf die Hälfte.

Die Anwendung des Verfahrens erfolgt mit Hilfe einer einfachen Tabellenkalkulation. Einzige notwendige Erweiterung der CPX-Messung besteht in der Auswertung des Terzspektrums der gemessenen CPX-Pegel, die bisher nicht erforderlich war.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die hier beschriebene Kb-Wert-Ableitung verbessert die Ermittlung von Belagsgütwerten anhand von CXP-Messwerten gegenüber dem im Anhang 1c beschriebenen Regressionsmodell. Sie lässt sich mit einer einfachen Tabellenkalkulation realisieren. Eingegeben werden müssen nur die gemessenen CPX-Spektren beider Messreifentypen für den jeweiligen Belagsabschnitt, die tatsächliche Geschwindigkeit der CPX-Messfahrt und die Lufttemperatur während der Messung. Einzige notwendige Erweiterung der CPX-Messung besteht in der Auswertung des Terzspektrums der gemessenen CPX-Pegel. Dies stellt jedoch keinen Mehraufwand dar, da zeitgemässe akustische Messsysteme schon während der Messung eine Spektralanalyse erlauben und neben dem A-bewerteten Gesamtpegel auch die dazugehörigen Terzpegel abspeichern. Die Terzpegel stehen also nach der Messung ohne weitere Arbeitsschritte bereits zur Verfügung.

Folgerungen und Empfehlungen:

Das Verfahren kann sofort angewendet und in der Praxis der Lärmschutzprojekte des ASTRA eingesetzt werden. Da jedoch für die Validierung des Umrechnungsmodells lediglich drei unabhängige Datensätze zur Verfügung standen, sind weitere Tests des Modells anhand von zusätzlichen Messdaten für CPX-SPB-Wertepaare, das heisst die Erhebung weiterer CPX- und SPB-Pegel für identische Belagsabschnitte empfehlenswert. Dabei sollten möglichst unterschiedliche Belagstypen berücksichtigt werden.

Publikationen:

geplant

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Beckenbauer

Vorname: Thomas

Amt, Firma, Institut: Müller-BBM Schweiz AG, Gewerbestrasse 25, 4123 Allschwil

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

##### Beurteilung:

Die Forschungsarbeit hat ein neues Modell zur Umrechnung von CPX-Messdaten in Belagsgütewerte hergeleitet. Das Modell ist sinnvoll in einzelne Module gegliedert, die jeweils eine Schnittstelle zu einer physikalischen Grösse herstellen und so auch ein Zusammenspiel mit anderen Strassenlärmemissionsmodellen ermöglichen. Im Vergleich mit der CPX-Belagsgütewert-Umrechnung gemäss Leitfaden erzielt das neue Modell im für das Parametertuning verwendeten Datensatz deutlich kleinere Abweichungen zu den SPB-Referenz-Belagsgütebestimmungen. Bei der Anwendung auf einen zusätzlichen kleinen unabhängigen Datensatz (Validierung) widerspiegelten sich die Vorteile des neuen Modells allerdings weniger deutlich.

Die Forschungsarbeit ist sorgfältig und nach den Regeln der Kunst ausgeführt sowie nachvollziehbar, vollständig und gut lesbar dokumentiert.

##### Umsetzung:

Das neue Modell erfordert im Unterschied zur Methode gemäss Leitfaden spektrale CPX-Daten. Da dies messtechnisch keine Herausforderung darstellt, darf davon ausgegangen werden, dass diese Daten sowieso bereits standardmässig erhoben werden. Breite Anwendung dürfte das neue Modell aber erst nach Demonstration der höheren Aussagesicherheit anhand weiterer unabhängiger Messdaten finden. Die Begleitkommission legt Wert auf den Hinweis, dass die CPX-Temperaturkorrektur entsprechend dem aktuellen Stand der Normung und des Wissens erfolgen soll. Die in Abb. 19 des Berichts gezeigten Werte gelten nach heutiger Erkenntnis als zu klein.

##### weitergehender Forschungsbedarf:

Messtechnische Ermittlung weiterer CPX-SPB Wertepaare auf unterschiedlichen Belagstypen zur breiter abgestützten Validierung des oben hergeleiteten Modells.

##### Einfluss auf Normenwerk:

zur Zeit keinen

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Heutschi

Vorname: Kurt

Amt, Firma, Institut: Empa, Abt. Akustik / Lärminderung

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



# Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 15.03.2016

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1557	SVI 2010/001	Reklame im Strassenverkehr	2016
1555	SVI 2004/049	Sichere Schulwege – Gefahrenanalyse und Massnahmenplanung	2016
1554	VSS 2011/501	Evaluation des Frosttaumittelwiderstands von Beton – Vergleich von vier Prüfverfahren	2016
1551	VSS 2012/207	Akustische Installationen im Strassentunnel	2016
1550	VSS 2012/311	SERFOR: Voranalyse "Self Explaining and Forgiving Roads"	2016
1549	SVI 2011/015	Anforderungen an zukünftige Mobilitätsstudien	2016
1548	VSS 2010/404	Grundlagen für die Anforderungen an Schutzgeokunststoffe auf der Basis von neuen EN-Prüfmethoden	2016
1547	ASTRA 2011/012_OBF	Development of a self-healing asphalt road via induction heating	2015
1545	ASTRA 2011/013_OBF	Vergleich verschieden starker Asphalt-Belagsaufbauten: Ermittlung der Versagensgrenze eines T3-Normbelages mit der mobilen Grossversuchsanlage MLS10	2015
1544	VSS 2007/302	Rampenbewirtschaftung: Anforderungen an Regelungsverfahren	2015
1543	VSS 2012/402	Machbarkeitsstudie zur Reduktion von Feinstaub oder seiner Vorläufergase mittels spezieller Strassenbeläge	2015
1542	VSS 2011/713	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP3: Transformationskonzepte zwischen Bezugssystemen	2015
1541	VSS 2010/301	Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisell	2015
1540	AGE 2013/001_ENG	TOSA - Transport par bus avec Optimisation du Système d'Alimentation	2015
1539	FGU 2010/007	Modelling of anhydritic swelling claystones	2015
1538	SVI 2011/021	Forschungspaket Verkehr der Zukunft (2060): Initialprojekt	2015
1537	FGU 2010/007	Geotechnischer Indexwert für die Beurteilung des Potentials zur Quarzstaubbilastung	2015
1536	VSS 2012/201	Wirkungskontrolle von Strassenprojekten	2015
1535	VSS 2012/403	Einfluss der Gesteinskörnung auf den Chloridwiderstand von Beton	2015
1534	VSS 2009/102	Forschungsbündel Erhebung verkehrsplanerischer Grundlagedaten: Teilprojekt 2: Methoden der Verkehrsbeobachtung	2015
1533	VSS 2009/101	Forschungsbündel Erhebung verkehrsplanerischer Grundlagedaten: Synthesebericht	2015
1532	VSS 2009/101	Forschungsbündel Erhebung verkehrsplanerischer Grundlagedaten: Teilprojekt 1: Systematik und Glossar	2015
1531	VSS 2011/906	Datenaustausch zwischen Strasseninformationssystemen und Verkehrsmodellen	2015
1530	VSS 2010/402	Einfluss biogener Öle auf die Ökobilanz von Strassenbaubindemitteln	2015
1529	VSS 2005/404	Beschleunigte Alterungsmethode von heiss verarbeitbaren Fugenmassen zur Simulation des Einbaus	2015
1528	VSS 2011/308	Verkehrsablauf an ungesteuerten Knoten innerorts unter Berücksichtigung der verschiedenen Verkehrsarten; Ermittlung repräsentativer Richtwerte und Zusammenhänge	2015
1527	VSS 2006/510	Forschungspaket Brückenabdichtungen: Synthesebericht	2015
1526	VSS 2005/456	Paquet de recherche de recyclage des matériaux bitumineux de démolition des routes dans des enrobés à chaud : EP5: Formulation des enrobés avec matériaux recyclés	2015
1525	SVI 2004/058	Verträglichkeitskriterien für den Strassenraum innerorts	2015
1524	ASTRA 2012/003	Erarbeitung von Grundlagen zur Bemessung von Steinschlagschutzdämmen	2015
1523	VSS 2011/104	Monetarisierung des statistischen Lebens im Strassenverkehr	2015
1522	VSS 2011/106	Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Grundlagenbericht	2015
1521	VSS 2006/514_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP4 - Zerstörungsfreie Prüfungen von Verbund und Oberflächen	2015
1520	ASTRA 2008/013_OBF	Nächtliche Immissionsprognosen von Strassenlärm (Hochleistungsstrassen)	2015
1519	VSS 2009/201	Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln	2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1518	SVI 2011/024	Langsamverkehrsfreundliche Lichtsignalanlagen	2015
1517	VSS 2011/103	Bemessungsverkehrsstärken: Ein neuer Ansatz	2015
1516	VSS 2011/711	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP1: Zeitaspekte und Historisierung	2015
1515	SVI 2011/034	Längere Umsteigezeiten und Haltestellenaufenthaltszeiten - Auswirkungen und Massnahmen	2015
1514	VSS 2006/513_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP3 - Langzeitverhalten des Verbundes	2015
1513	VSS 2005/403	Fliesskoeffizienten von feinen Gesteinskörnungen aus der Schweiz	2015
1512	SVI 2004/069	Veloverkehr in den Agglomerationen - Einflussfaktoren, Massnahmen und Potenziale	2015
1511	VSS 2012/601	Die Physik zwischen Salz, Schnee und Reifen	2015
1510	VSS 2005/453	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen	2015
1509	ASTRA 2010/022	Markt- und Nutzermonitoring Elektromobilität (MANUEL)	2015
1508	VSS 2011/716	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP6: Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS-DWH)	2015
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1506	VSS 2006/512_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP2 - Flüssigkunststoff-Abdichtungen, Erfassen der Verbundproblematik	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1504	VSS 2005/504	Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhaltens von Belägen	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflasterungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffbarkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1464	VSS 2002/403	Récupération de liants modifiés aux polymères issus d'échantillons d'enrobés	2014
1463	VSS 2006/511_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP1 – Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1461	VSS 2001/506	Einfluss der Verdichtungstemperatur auf die Ergebnisse der Marshall-Prüfung und der Einbaukontrolle	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbaupasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		C	
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierrungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweißnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkierungsanlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrstechnischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebpartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbaus asphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
676	AGB 2011/002	Modelling the corrosion initiation of reinforced concrete exposed to deicing salts	2016
674	AGB 2010/006	Einfluss des Asphaltbelages auf die Dynamik von Fussgängerbrücken aus Beton und Stahl	2015
673	AGB 2006/017	Dynamic structural capacity of reinforced concrete slabs due to rockfall	2015
671	AGB 2009/008	Résistance à l'effort tranchant de dalles de roulement sous actions statiques et de fatigue	2015
670	AGB 2012/013	Optimierung und Validierung von Verfahren zur Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit in Stahlbeton	2015
669	AGB 2008/007	Zentrale Dokumentation der mechanischen Eigenschaften alter Bewehrungen	2015
668	AGB 2009/004_OBF	Multifunktionaler Hochleistungsoberflächenschutz für Kunstbauten	2015
667	AGB 2008/004	Résistance au déversement des poutres métalliques de pont	2015
666	AGB 2012/015	Structural Identification for Condition Assessment of Swiss Bridges	2015
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoeermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009

<b>Bericht-Nr.</b>	<b>Projekt Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Jahr</b>
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009