



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

Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP 8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungs- massnahmen bei lärmarmen Be- lägen

**Paquet de recherche: Revêtements peu bruyants en zone
urbaines EP 8: L'efficacité acoustique des mesures de
nettoyage des revêtements peu bruyants**

**Research Package: Low-noise Pavements in Urban Areas
EP8: Acoustic effectiveness of cleaning measures on low-
noise pavements**

Grolimund + Partner AG
Emanuel Hammer, Dr. sc. ETH
Erik Bühlmann, Dipl. Geograf, Dipl. Akustiker SGA
Toni Ziegler, Dipl. Natw. ETH

**Forschungsprojekt ASTRA 2013/003 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

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)



Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP 8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungs- massnahmen bei lärmarmen Be- lägen

**Paquet de recherche: Revêtements peu bruyants en zone
urbaines EP 8: L'efficacité acoustique des mesures de
nettoyage des revêtements peu bruyants**

**Research Package: Low-noise Pavements in Urban Areas
EP8: Acoustic effectiveness of cleaning measures on low-
noise pavements**

Grolimund + Partner AG
Emanuel Hammer, Dr. sc. ETH
Erik Bühlmann, Dipl. Geograf, Dipl. Akustiker SGA
Toni Ziegler, Dipl. Natw. ETH

**Forschungsprojekt ASTRA 2013/003 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Toni Ziegler

Mitglieder

Erik Bühlmann

Dr. Emanuel Hammer

Begleitkommission

Präsidentin

Luzia Seiler-Scherer

Mitglieder

Sabine Würmli

Hans-Peter Beyeler

Sophie Hoehn

André Magnin

Olivier Jacobi

Benedikt Eberle

Cyril Durussel

Nicolas Gouneaud

Martin Bürgi (bis 2014)

Hanspeter Gloor

Dejan Lukic

Yves Pillonel

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Ausgangslage und Problemstellung.....	13
1.2 Ziel und Ergebnis des Forschungsprojektes	13
1.3 Organisation, Beteiligte und Interviewpartner.....	13
1.3.1 Organisation und Beteiligte	13
2 Lärmarme Strassenbeläge	15
2.1 Definition.....	15
2.2 Lärmarme Strassenbeläge in der Schweiz.....	15
2.2.1 Auf Autobahnen (im Hochgeschwindigkeitsbereich).....	15
2.2.2 Im Innerortsbereich (im Niedriggeschwindigkeitsbereich).....	16
2.3 Schmutzeintrag auf lärmarmen Strassenbelägen.....	16
2.4 Bisherige Reinigungsversuche auf lärmarmen Strassenbelägen	17
3 Reinigungsmassnahmen	19
3.1 Reinigungsverfahren	19
3.2 Mögliche Auswirkungen durch Belagsreinigung	20
4 Messkampagne	21
4.1 Auswahl der Messstrecken.....	21
4.2 Messverfahren	21
4.2.1 Rollgeräusch.....	22
4.2.2 Schallabsorption	22
4.2.3 Luftströmungswiderstand	22
4.2.4 Luftpermeabilität	23
4.2.5 Sandfleck.....	24
4.2.6 Wasserausfluss.....	25
4.3 Vorbereiten Messstrecken.....	25
4.4 Optimierung der Reinigungsverfahren	25
5 Resultate	27
5.1 Gewählte Feineinstellung der Reinigungsverfahren	27
5.2 Rollgeräuschpegel	29
5.3 Schallabsorptionsgrad.....	32
5.4 Oberflächentexturtiefe	33
5.5 Luftströmungswiderstand	34
6 Diskussion	37
6.1 Wirkung auf Lärminderung	37
6.2 Wirkung bezüglich Schallabsorption	38
6.3 Wirkung bezüglich Oberflächentextur	38
6.4 Wirkung bezüglich Porenzugänglichkeit.....	38
7 Schlussfolgerungen	41
7.1 Hauptergebnisse	41
7.2 Empfehlungen.....	41

7.3	Ausblick	41
	Anhänge	43
	Glossar	57
	Literaturverzeichnis	59
	Projektabschluss.....	61
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	65

Zusammenfassung

Auf mehreren Strassenabschnitten in der Schweiz, liegen Beläge mit guten akustischen Eigenschaften; sogenannte lärmarme Beläge. Es ist bekannt, dass die akustischen Eigenschaften mit dem Alter abnehmen. Mit diesem Forschungsprojekt wurde die mögliche Verbesserung der akustischen Wirkung durch die Anwendung verschiedener Reinigungsmassnahmen getestet und quantifiziert. Bei der Auswahl der Reinigungsverfahren wurde darauf geachtet, dass eine möglichst grosse Bandbreite an Verfahren getestet werden kann. Folgende Verfahren wurden schlussendlich ausgewählt: Kehren mit anschliessendem Absaugen, Sprühbalken (Hochdruckreinigung) anschliessendem Absaugen, Rotoplast (Hochdruckreinigung mit drehbarem Arm) anschliessendem Absaugen.

Das Ziel der Forschungsarbeit ist eine quantitative Bestimmung der Verbesserung der akustischen Wirkung lärmarmen Strassenbeläge im Innerortsbereich, welche durch diese Reinigungsmassnahmen erreicht werden können. Im Fokus stehen dabei einerseits die erreichbare Pegelreduktion unmittelbar nach der Reinigung, sowie die akustische Dauerhaftigkeit der Massnahmen. Hauptergebnis der Studie sind belagstypspezifische Empfehlungen für den Reinigungsunterhalt von leisen Strassenbelägen, mit dem Ziel, die akustische Wirkung dieser Beläge dauerhaft zu verbessern.

Für das Forschungsprojekt wurden je drei Teststrecken mit Grösst Korngrösse von 4 mm und 8 mm ausgewählt. Die Auswahl erfolgte aufgrund der Analyse der bei G+P AG vorhandenen Datenbank mit über 350 Belägen deren akustische Zustand über mehrere Jahre mit der CPX Methode bestimmt wurde. Dabei wurde die aktuelle Messung (in der Regel aus dem Jahr 2014) mit der Erstmessung kurz nach Einbau verglichen. Bei der Auswahl der Strecken wurde darauf geachtet, dass die Beläge intakt waren und wenig bis keine Kornausbrüche aufweisen.

Da die beiden Belagsklassen 4 mm und 8 mm spezifische Porenstrukturen aufweisen ist denkbar, dass für die beiden Klassen unterschiedliche Einstellungen der Reinigungsverfahren benötigt werden. Deshalb wurden vor der Reinigung auf beiden Belagsklassen verschiedene Einstellungen getestet und für die jeweiligen Belagsklassen optimiert. Für das Verfahren *Kehren* wurde für die definitive Reinigung der Beläge die gängige Drehzahl, wie sie für die kommunale Reinigung eingestellt ist, verwendet.

Es wurde eine maximale Wirkung der Reinigungsverfahren, auf die lärmreduzierenden Eigenschaften der Beläge, von maximal 0.8 dB festgestellt. Auf 4 mm Belägen konnten sowohl mit den Reinigungsverfahren *Rotoplast* und *Sprühbalken* eine Wirkung erzielt werden. Auf 8 mm Belägen ist das *Sprühbalken* Verfahren am effektivsten. Für beide Belagsklassen führt das Reinigungsverfahren *Kehren* zu keiner Verbesserung der lärmreduzierenden Eigenschaften. Die Wirkung der Reinigung auf 4 mm Belägen zeigt sich auf konsistente Weise in erster Linie durch eine Verbesserung der Luftströmungseigenschaften und in geringerem Masse der Schallabsorptionseigenschaften. Auf 8 mm Belägen ist die Wirkung tendenziell geringer. Aufgrund Inkonsistenz in den verschiedenen Messresultaten können keine gesicherten Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung der Reinigung auf die Schallentstehungsmechanismen und Schallabsorption gemacht werden.

Aus den Resultaten konnten folgende Empfehlungen erarbeitet werden:

- Aufgrund der geringfügigen Wirkung auf die lärmreduzierenden Eigenschaften sollte die Planung des Reinigungsunterhalts von lärmarmen Belägen auf sorgfältigen Kosten/Nutzen-Analysen basieren.
- Auf 4 mm Belägen wird empfohlen die Reinigungsverfahren Sprühbalken oder Rotoplast jeweils mit Absaugvorrichtung einzusetzen.
- Auf 8 mm Belägen wird empfohlen das Reinigungsverfahren Sprühbalken mit Absaugvorrichtung anzuwenden.
- Generell aber insbesondere bei älteren Belägen sollte sichergestellt werden, dass es durch die Anwendung von Hochdruckreinigungsverfahren zu keiner Beschädigung der Belagsoberfläche kommt.

Obwohl ein geringfügiger Reinigungseffekt bezüglich den lärmreduzierenden Eigenschaften erzielt werden konnte, war es nicht möglich die genaue Lage des Schmutzeintrages im Porengefüge des Strassenbelages zu eruieren. Als Fokus zukünftiger Forschungsanstrengungen sollte die genaue Lage und Eigenschaften des eingetragenen Schmutzes analysiert werden.

Résumé

Plusieurs tronçons routiers en Suisse ont des revêtements de bonne qualité acoustique, que l'on nomme revêtements phono absorbants. On sait que la qualité acoustique de ces revêtements s'estompe avec le temps. Ce projet de recherche investigate et quantifie l'amélioration possible de cette évolution acoustique à travers la mise en place de différentes pratiques d'entretien. Le choix des mesures d'entretien considérées dans ce projet a été fait de manière à ce que le plus grand nombre d'entre elles soient actuellement en pratique. Les mesures suivantes ont été retenues: machine de *balayage* comportant un aspirateur, *rampe de pulvérisation* (nettoyage à haute pression) puis aspiration, *Rotoplast* (nettoyage à haute pression avec bras tournant) puis aspiration.

L'objectif de ce projet de recherche est la détermination quantitative d'une amélioration de l'évolution acoustique des revêtements phono absorbants par le biais de différentes pratiques d'entretien en zone urbaine. L'accent est mis tout d'abord sur la réduction du niveau sonore obtenue immédiatement après l'entretien, mais aussi sur la durabilité de ces mesures. Le résultat principal de l'étude est l'élaboration de recommandations d'entretien spécifiques à certains types de revêtement. L'objectif est d'améliorer l'évolution acoustique de ces revêtements de manière durable.

Pour le projet de recherche, trois tronçons d'étude ont été sélectionnés avec une taille maximale de grain de 4 mm et trois autres avec une taille maximale de grains de 8 mm. Cette sélection se base sur l'analyse de la base de données de G+P AG, qui contient des informations sur l'état acoustique de plus de 350 revêtements, déterminés sur plusieurs années avec la méthode CPX. Cela permet de comparer le mesurage actuel (généralement datant de 2014) et celui d'origine, peu de temps après l'installation du revêtement. Les revêtements choisis sont restés intacts, avec peu ou pas d'éclatement de granulats.

Puisque les catégories de revêtements de 4 mm et de 8 mm ont des structures de pores différentes, différentes caractéristiques d'entretien ont été testées et optimisées pour chacune de ces deux classes. Pour la pratique du *balayage*, c'est le nombre de tours tel que défini pour l'entretien communal qui est utilisé pour l'entretien définitif.

Il a été constaté que l'effet maximal des mesures d'entretien sur la qualité acoustique des revêtements est au maximum de 0.8 dB. Pour les revêtements de type 4mm, les techniques d'entretien au *Rotoplast* ou par *rampe de pulvérisation* ont une efficacité acoustique. Pour les revêtements de type 8mm c'est la *rampe de pulvérisation* qui est la plus efficace. Pour les deux types de revêtement cependant, le balayage n'entraîne pas d'amélioration des propriétés acoustiques. La réduction du bruit pour les revêtements de type 4 mm se traduit principalement par un flux d'air constamment amélioré, et dans une moindre mesure par une meilleure capacité d'absorption acoustique. Pour les revêtements de type 8 mm, ces effets sont moins importants. L'inhomogénéité des résultats des mesures ne permet pas de tirer de conclusions avérées sur les mécanismes de production et d'absorption du son. Les recommandations suivantes découlent des résultats obtenus.

- La planification de l'entretien des revêtements phono absorbants devrait être basée sur un bon rapport coût/utilité.
- L'entretien par *rampe de pulvérisation* ou *Rotoplast*, tous deux suivis de l'aspiration est recommandé pour les revêtements de type 4 mm.
- Pour les revêtements de type 8 mm, un entretien par *rampe de pulvérisation* puis aspiration est recommandé.
- Il faut veiller à ne pas endommager la surface du revêtement lors du nettoyage à haute pression, tout particulièrement lors de l'entretien de revêtements âgés.

Bien qu'un léger impact de l'entretien sur l'amélioration des propriétés acoustiques d'un revêtement ait pu être montré, l'emplacement exact de l'entrée de la salissure dans les pores à la surface du revêtement reste à déterminer. La suite des recherches devrait

donc se porter sur la localisation exacte et l'analyse des caractéristiques de cette salissure.

Summary

There are road surfaces with good acoustic properties at several road sections in Switzerland, so-called low-noise road surfaces. It is known that the acoustic properties decrease with age. In the framework of this research project the improvement of the acoustical properties by applying several street cleaning techniques to the low noise road surfaces was analysed and quantified. Care was taken to consider a large variety of established street cleaning techniques in our study. Following techniques have been selected for our analysis: *Sweeping* with a subsequent vacuuming, *spray bars* (high-pressure cleaner) with a subsequent vacuuming and *Rotoplast* (high-pressure cleaner with a rotating arm) with a subsequent vacuuming.

The goal of this research study is to quantify the improvement of the acoustic effect of low noise road surfaces in built-up areas achieved due to the selected street cleaning techniques. Thereby, the accessible level reductions directly after the cleaning process as well as the acoustical durability achieved due to the street cleaning techniques are the main focus of this study. The main results are pavement specific recommendations to the cleaning maintenance of low noise road surface with the goal to sustainably improve the acoustic properties of these surfaces.

Two times three test tracks were selected having maximum aggregate size of 4 mm and 8 mm, respectively. The selection is based on the analysis of the available database at G+P AG containing more than 350 road surfaces its acoustical condition was measured with the CPX method. The actual measurement (usually from the year 2014) was compared with the initial measurement performed directly after installation of the surface. Particular emphasis was laid on the intactness of the surfaces as well as the low or not existent outbreak of aggregates.

Since the two surface classes of 4 mm and 8 mm feature specific pore structures, it is possible that the two classes need different settings of the street cleaning techniques. Therefore, several settings were tested and optimized before the actual cleaning of the selected surfaces. The common rotation speed used for municipal cleaning was chosen for the technique *sweeping*.

A maximum effect of the street cleaning techniques applied on low noise road surfaces at a maximum of 0.8 dB(A) was determined. Both cleaning techniques *Rotoplast* and *spray bars* resulted in an effect at the 4 mm surface class. At the surface class of 8 mm *spray bars* resulted in the most effective cleaning technique. The cleaning technique *sweeping* did not result in an improvement of noise reducing properties for none of the surface classes. The effect of cleaning the 4 mm surface class was consistently defined by an improvement of the airflow properties and to a lesser extent by the sound absorption capacity. The determined effect on 8 mm surfaces was generally lower. Due to inconsistency within the measurement results no firm conclusions can be drawn concerning the cleaning effect on sound generation mechanisms and sound absorption. Following recommendations were derived from the results:

- Due to the low effect of the street cleaning techniques on the noise reducing abilities of the surfaces, the planning of the street cleaning maintenance of low noise road surfaces should be based on a thoroughly cost-benefit analysis.
- It is recommended to apply the techniques *Rotoplast* and *spray bars*, each having a subsequent vacuuming system, at 4 mm surface classes.
- The street cleaning technique *spray bars* with a subsequent vacuuming is recommended to be applied at the 8 mm surface class.
- Generally, we consider it necessary to ensure that the application of high-pressure street cleaning techniques do not destroy the road surface - especially with regard to older road surfaces.

Although the application of street cleaning techniques on low noise road surfaces resulted in a marginal effect regarding a reduction of noise reducing abilities, it was not

possible to determine the exact positions of dirt in the pore structure of the road surface. For future research activities we recommend to analyse the exact position and properties of the incorporated dirt in the porous structure.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Auf mehreren Strassenabschnitten in der Schweiz, liegen Beläge mit guten akustischen Eigenschaften; sogenannte lärmarme Beläge. Es ist bekannt, dass die akustischen Eigenschaften mit dem Alter abnehmen [1], [2]. Mit diesem Forschungsprojekt wurde die mögliche Verbesserung der akustischen Wirkung durch die Anwendung verschiedener Reinigungsmassnahmen getestet und quantifiziert.

Im Forschungsprojekt EP3 [3] wurden in einer ersten Phase geeignete Verfahren des betrieblichen Unterhalts für lärmarme Beläge innerorts erfasst. Mit einer qualitativen Herleitung wurde versucht, auf Basis physikalischer Zusammenhänge die akustische Wirkung der Unterhaltsverfahren zu erfassen. Diese sind im Vergleich zu Messungen als weniger aussagefähig zu bezeichnen. Im Schlussbericht des Forschungsprojektes wird deshalb gefolgert, dass zur Erhöhung der Aussagefähigkeit der Untersuchung der Eignung von Unterhaltsverfahren systematische (für alle Kategorien) empirisch-quantitative Messungen und Tests durchzuführen sind, welche die Entwicklung der Lärminderung vor und nach Anwendung des Verfahrens messtechnisch erfassen sollten.

1.2 Ziel und Ergebnis des Forschungsprojektes

Im Jahr 2003 wurden vom ASTRA zwei Forschungsprojekte zum Thema „Lärmarme Beläge im Niedergeschwindigkeitsbereich“ initiiert. Darin wurden lärmarme Beläge anhand von ausgewählten bestehenden Strecken und neu eingebauten Teststrecken in der Schweiz untersucht [4], [5]. Die positiven Erfahrungen aus diesen Projekten haben die Bundesämter ASTRA und BAFU dazu bewogen, ein Forschungspaket zum Thema „Lärmarme Beläge innerorts“ zu starten. Dieses soll Kontinuität bei der Behandlung der Fragestellungen zu lärmarmen Belägen gewährleisten.

Ziel des Forschungspaketes „Lärmarme Beläge innerorts“ ist:

- den Einsatz lärmarmer Strassenbeläge zu fördern und einen weiteren Entwicklungsschub bei diesen Belägen zu bewirken;
- die Akzeptanz gegenüber lärmarmen Belägen zu fördern und mit den betroffenen Strasseneigentümern eine Win-Win-Situation zu erreichen.

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist eine quantitative Bestimmung der Verbesserung der akustischen Wirkung lärmarmer Strassenbeläge im Innerortsbereich, welche durch verschiedene im Forschungsprojekt EP3 [3] erfasste Reinigungsmassnahmen erreicht werden können. Im Fokus stehen dabei einerseits die erreichbare Pegelreduktion unmittelbar nach der Reinigung, sowie die akustische Dauerhaftigkeit der Massnahmen. Hauptergebnis der Studie sind belagstypspezifische Empfehlungen für den Reinigungsunterhalt von leisen Strassenbelägen, mit dem Ziel, die akustische Wirkung dieser Beläge dauerhaft zu verbessern.

1.3 Organisation, Beteiligte und Interviewpartner

1.3.1 Organisation und Beteiligte

Das Forschungspaket „Lärmarme Beläge innerorts“ ist in drei Teilprojekte untergliedert (Abb. 1):

- TP1: Forschung und Innovation

- TP2: Test und Validierung
- TP3: Langzeitüberwachung

Die Phase 1 im Teilprojekt TP1 beinhaltet fünf Einzelprojekte:

- EP1: Rezepturen für lärmarme Beläge
- EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge
- EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge
- EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge
- EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden

Die Phase 2 im Teilprojekt TP1 wurde später gestartet und beinhaltet drei Einzelprojekte:

- EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den potentiellen Einsatz in der Schweiz
- EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen
- EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung

Der vorliegende Bericht beschreibt die Ergebnisse des „EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen“.

Die Einbettung des „EP8“ innerhalb des Forschungspaketes „Lärmarme Beläge innerorts“ und des Teilprojektes „TP1: Forschung und Innovation“ ist in Abb. 1 dargestellt.

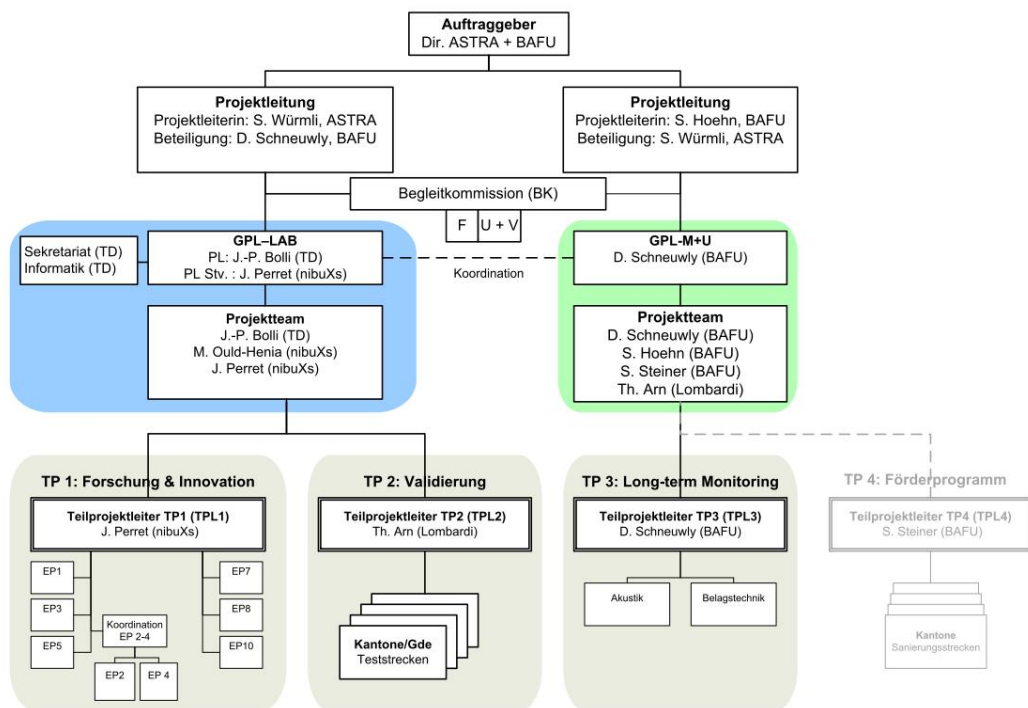


Abb. 1: Organigramm Forschungspaket "lärmarme Beläge innerorts"

2 Lärmarme Strassenbeläge

2.1 Definition

Die Definition eines lärmarmen Strassenbelages in der Schweiz bezieht sich auf eine minimal zu erreichende akustische Wirkung welche im Vergleich zu einem theoretischen Referenzbelag des schweizerischen Strassenlärmmodells Stl-86+ [6] zu erreichen ist. Sofern ein Belag eine initiale Lärminderung von mindestens -3 dB(A) aufweist und über die Lebensdauer eine Lärminderung von mindestens -1 dB(A) aufweist. In Abb. 2 ist dieser Sachverhalt schematisch dargestellt.

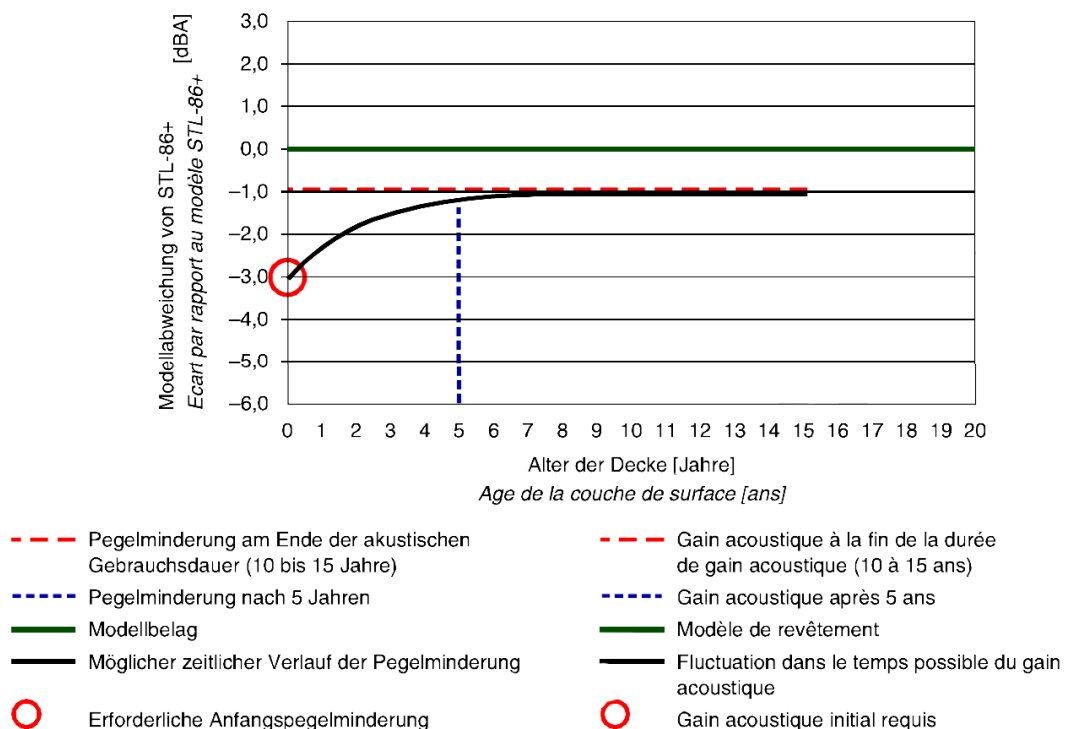


Abb. 2: Schematische Darstellung der Definition lärmarmen Beläge (VSS/SR 640425)

2.2 Lärmarme Strassenbeläge in der Schweiz

2.2.1 Auf Autobahnen (im Hochgeschwindigkeitsbereich)

Im Jahre 1979 wurde erstmals ein Versuch gestartet offenporige Beläge auf Strassen einzubauen, sogenannte PA-Beläge (*porous asphalt*). Diese Beläge versprachen ein hohes Lärminderungspotenzial sowie eine durch die erhöhte Drainagefähigkeit ermöglichte Verbesserung der Verkehrssicherheit im Vergleich zu dichten Asphaltdeckschichtarten [7].

PA-Beläge wurden vor allem in den Jahren 1993 und 1998 eingebaut. Heute werden diese Beläge bloss erneuert und nicht mehr auf neuen Strassenabschnitten eingebaut. Im Jahr 2005 waren ca. 250 km des Nationalstrassennetzes mit PA-Belägen ausgestattet [7].

Werden PA-Beläge im Innerortsbereich eingebaut, weisen sie bereits nach geringer Zeit fortschreitende Verstopfung auf. Deshalb werden diese Beläge nur auf Hochgeschwindigkeitsstrassen mit homogenem fließendem Verkehr eingebaut. Im Innerortsbereich werden PA-Beläge im Allgemeinen nicht mehr eingesetzt.

2.2.2 Im Innerortsbereich (im Niedriggeschwindigkeitsbereich)

Für den Innerortsbereich wurden zunächst Beläge der Typen ACMR 4 und vor allem ACMR 8 eingebaut. Nach einigen Jahren gab es immer mehr Eigenentwicklungen von Belägen verschiedener Firmen. Einige Beispiele sind Nanosoft, Sapaphone, Famsiphonogrip, Perrphone, etc.

Im Jahr 2013 wurde mit der VSS Norm SNR 640436 [8] *Semidichtes Mischgut und Deckschichten* erfolgreich der Grundstein zur breiten Anwendung von lärmarmen Strassenbelägen im Innerortsbereich gelegt. Die Norm ermöglicht den Strasseneigentümern, bei einer beliebigen Bauunternehmung einen lärmarmen Strassenbelag zu bestellen und anschliessend das gelieferte Mischgut sowie die eingebaute Deckschicht gegenüber den Normanforderungen zu prüfen. (SDA 4 und SDA 8 Beläge für diverse Hohlraumgehaltsklassen A, B, C, D).

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde eine Kategorisierung der Beläge mit Grösstkorngrösse 4 mm (SDA 4) und 8 mm (SDA 8) vorgenommen. Die Kategorisierung erfolgte aufgrund der Annahme, dass die beiden Belagsklassen eine unterschiedliche Porenstruktur aufweisen können und dabei abweichendes Verhalten bei Schmutzeintrag und Reinigung haben können.

Bis heute (Stand 2014) wurden über 370 lärmarme Beläge im Innerortsbereich eingebaut (siehe Abb. 3).

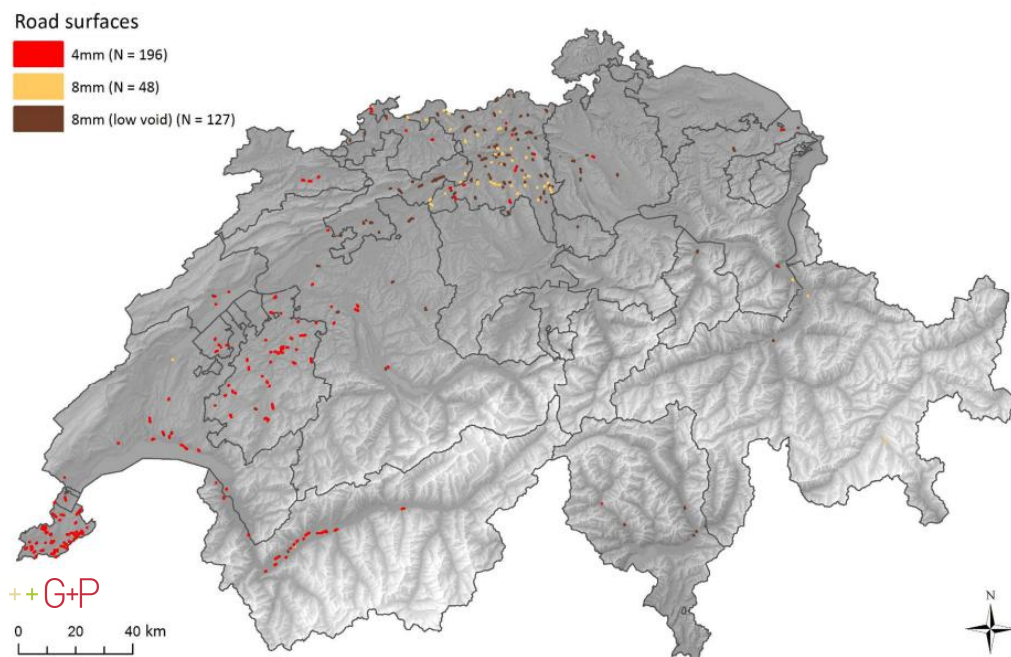


Abb. 3: Realisierte lärmarme Beläge im Innerortsbereich der Schweiz (Stand 2014).

Die Fragestellung des vorliegenden Forschungsprojektes bezieht sich einzig auf lärmarme Beläge im Innerortsbereich (SDA 4 und SDA 8 Beläge).

2.3 Schmutzeintrag auf lärmarmen Strassenbelägen

Durch das Befahren von Strassenbelägen entsteht durch die Interaktion von Reifen-Fahrbahn Reifenabrieb und Belagsabrieb. Diese Partikel werden teils aufgewirbelt, können sich setzen und in die Poren gelangen [9]. Zudem wird z.B. bei Bauarbeiten oder landwirtschaftlichen Aktivitäten Schmutz an der Oberfläche abgelagert, welcher durch den Verkehr auf dem Belag verteilt wird. Bei höheren Geschwindigkeiten (über 80 km/h) und den wasserdurchlässigen porösen Belägen die auf Autobahnen zur Anwendung

kommen kann der Verkehr die Poren teilweise durch eine Selbstreinigung wieder freigeben [10]. Die akustische Wirkung bleibt in diesen Situationen deswegen längerfristig erhalten. Ist der Belag wasserdurchlässig können sich bei tieferen Geschwindigkeiten, wie sie im Innerortsbereich vorherrschen, Partikel in den Poren ablagern, da die Selbstreinigung nicht greift. Deshalb wurde für den Innerortsbereich eine neue Generation von lärmarmen Strassenbelägen entwickelt. Bei diesen Belägen soll durch eine feine Porenstruktur Wasser und Schmutz nicht mehr in den Belag eindringen können und bei Niederschlag über die Oberfläche abtransportiert werden. Solche Beläge kommen seit ca. 2005 zum Einsatz. Wiederholte akustische Messungen auf diesen Belägen haben gezeigt, dass es trotzdem zu einer Verminderung der Porenzugänglichkeit und damit der lärmreduzierenden Eigenschaften kommt. Es wird davon ausgegangen, dass die Schmutzablagerung nicht tief in den Belag eindringen kann.

2.4 Bisherige Reinigungsversuche auf lärmarmen Strassenbelägen

Es gab bereits viele Bestrebungen in verschiedenen Studien um die Effektivität verschiedener Reinigungsverfahren auf lärmarmen Belägen zu testen. Diese wurden vor allem auf wasserdurchlässigen porösen Belägen auf Autobahnen angewendet [11]–[14]. Viele davon waren jedoch erfolglos. Die Studie von [15] zeigte zum Beispiel, dass das gängige Verfahren mit Besen bloss eine akustische Wirkung von +/- 0.1 dB aufwies. Eine japanische Studie [16] hat allerdings gezeigt, dass ein Fahrzeug, welches Wasser mit hohem Druck auf den Belag presst, das verschmutzte Wasser aufsaugt. Dabei werden Vibrationen übertragen bevor der Absaugvorgang durchgeführt wird, um so eine effektive Wirkung zu erzielen.

Da bei der neuen Generation von lärmarmen Belägen im Innerortsbereich von einer oberflächlichen oder oberflächennahen Schmutzablagerung ausgegangen wird, besteht die Möglichkeit dass diese mit dafür optimierten Reinigungsverfahren entfernt werden kann. In diesem Forschungsbericht werden verschiedene Reinigungsverfahren für im Innerortsbereich eingebaute lärmarme Beläge getestet und evaluiert ob die lärmindernden Eigenschaften der Beläge wieder zurückgewonnen werden können.

3 Reinigungsmassnahmen

3.1 Reinigungsverfahren

Im Forschungsprojekt EP3 wurden verschiedene Reinigungsverfahren zusammengetragen und in folgende Kategorien eingeteilt: Kehren mit Absaugvorrichtung, sprengen/schwemmen (Niederdruckreinigung ohne Aufnahme), Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme und Schrubbsaugverfahren. Nach einer Evaluation verschiedener Reinigungsfirmen wurde zusammen mit der Firma Hügli AG die oben genannten und weiteren Reinigungsverfahren für unser Forschungsprojekt evaluiert. Bei der Auswahl der Reinigungsverfahren wurde darauf geachtet, dass eine möglichst grosse Bandbreite an gängigen Verfahren getestet werden kann. Folgende Verfahren wurden schlussendlich ausgewählt:

- Kehren mit anschliessendem Absaugen (Standardverfahren als Referenz; siehe Abb. 4)



Abb. 4: Reinigungsverfahren kehren mit anschliessendem Absaugen

- Sprühbalken (Hochdruckreinigung) anschliessendem Absaugen (siehe Abb. 5)



Abb. 5: Reinigungsverfahren Sprühbalken mit anschliessendem Absaugen

- Rotoplast (Hochdruckreinigung mit drehbarem Arm) anschliessendem Absaugen (siehe Abb. 6)



Abb. 6: Reinigungsverfahren Rotoplast mit anschliessendem Absaugen

Bei Testmessungen auf zwei Strecken wurden die Reinigungsverfahren für die beiden Belagsklassen mit Grösst Korngrösse 4 mm und 8 mm getestet und optimiert (siehe Kapitel 4.2.5).

3.2 Mögliche Auswirkungen durch Belagsreinigung

Die Studie von [17] und [18] haben gezeigt, dass die mechanische Besenreinigung Partikel im Mikrometerbereich zerkleinern können und so feine Partikel (im Nanometerbereich) aufgewirbelt werden und teils auch sedimentieren. Dies kann nicht nur für die Lufthygiene einen negativen Einfluss haben, sondern auch zur Verstopfung der Poren und somit zur Reduktion der belagsakustischen Eigenschaften der Strassenbeläge beitragen. Der Einsatz von Wasser führt zu einer Bindung der Partikel und somit zu einer effektiveren Reinigung. Allerdings kann der Einsatz von Wasser auch zu einer Verschlammung führen. Dies kann zur Folge haben, dass die im Wasser aufgelösten Schmutzpartikel die Poren verstopfen und dort aufgrund der klebrigen Masse liegen bleiben und austrocknen. Aus lufthygienischen Gründen wurde der Fokus im vorliegenden Forschungsprojekt auf wasserbindenden Verfahren gelegt.

Zusätzlich sollte bei der Belagsreinigung beachtet werden, dass aufgrund der mechanischen Belastung der Reinigungsverfahren die Oberfläche der Strassenbeläge beansprucht werden können. Durch exzessives Reinigen (hoher Wasserdruck oder harte Borsten mit schneller Drehzahl) der Beläge ist ein minimales Risiko vorhanden, dass Kornausbrüche entstehen können. Falls ein Belag gereinigt wird, welcher bereits Kornausbrüche aufweist, kann das Risiko für eine stärkere Beschädigung des Belages erhöht sein, da Körner in der Belagsformation verschoben werden können und so die belagsakustischen Eigenschaften zu reduzieren vermögen als zu erhöhen. Die in Kapitel 4.2.5 beschriebenen Testmessungen hatten zum Ziel eine solche Beschädigung des Belages ausschliessen zu können.

4 Messkampagne

4.1 Auswahl der Messstrecken

Für das Forschungsprojekt wurden je drei Teststrecken mit Grösstkorngrösse von 4 mm und 8 mm ausgewählt. Die Auswahl erfolgte aufgrund der Analyse der bei G+P AG vorhandenen Datenbank mit über 350 Belägen deren akustische Zustand über mehrere Jahre mit der CPX Methode bestimmt wurde. Dabei wurde die aktuelle Messung (in der Regel aus dem Jahr 2014) mit der Erstmessung kurz nach Einbau verglichen. Es wurde sichergestellt, dass die Gesamtpegelzunahme seit Einbau mindestens 2 dB beträgt um eine messtechnisch nachweisbare Wirkung der Reinigungsverfahren erzielen zu können. Zusätzlich soll der Pegelwert vor allem in den höheren Frequenzen (um ca. 2'000 Hz) zugenommen haben, da dieser Frequenzbereich als Indikator für Luftströmungsgeräusche in der Kontaktzone verwendet werden kann [19]. Nehmen die Pegel in dieser Frequenz deutlich zu, ist dies ein Hinweis auf die Verringerung der Porenzugänglichkeit bzw. ein Indiz für Schmutzeintrag [20].

Bei der Auswahl der Strecken wurde darauf geachtet, dass die Beläge intakt waren und wenig bis keine Kornausbrüche aufweisen. Dazu dürfen auf einem Belag lediglich geringfügige Zunahmen im Bereich der tiefen Frequenzen nachgewiesen werden. Eine Zunahme bei tiefen Frequenzen bedeutet eine lärmtechnische Verschlechterung der Oberflächentextur. Tab. 1 zeigt die sechs ausgewählten Messstrecken anhand der oben genannten Kriterien.

Tab. 1 Ausgewählte Messstrecken

Grösst-korn-grösse	Belagstyp	Ort	Hohlraumgehalt [Marshall-%]	Einbau-jahr	Anfangs-wirkung [dB(A)]	Gesamtpegel-zunahme [dB]	Zunahme bei 500 Hz [dB]	Zunahme bei 2000 Hz [dB]	messbare Streckenlänge [m]
4 mm	Nanosoft 4	Bardonnex	n.b.	2010	-7.9	3.7	0.7	6.1	560
	Sapaphone 4	Thônex	n.b.	2009	-5.2	3.7	1.0	4.8	1760
	Nanosoft 4	Villars-Sur-Glâne	n.b.	2011	-8.8	4.4	0.6	4.0	800
8 mm	SDA 8B	Lyss	11.2	2012	-4.6	3.0	0.9	1.3	720
	ACMR 8	Muhen	11.9	2007	-5.3	3.0	1.6 ¹	1.9 ¹	460
	ACMR 8	Teufenthal	9.2	2012	-3.6	2.2	0.5	1.2	380

Die in Tab. 1 ausgewählten Messstrecken wurden vorgängig visuell begutachtet um allfällige Beschädigungen seit der letzten Messung ausschliessen zu können.

4.2 Messverfahren

Um die Effektivität der Reinigungsverfahren zu evaluieren wurden verschiedene Messverfahren angewendet:

- Akustische Eigenschaften: Rollgeräuschmessungen CPX (close proximity), Schallabsorptionsmessungen (PU-Sonde);
- Porenzugänglichkeit: Luftströmungswiderstand, Luftpermeabilität;
- Oberflächentextureigenschaften: Sandfleckverfahren, Wasserausflussverfahren.

¹ im Vergleich zur Erstmessung CPX im Jahr 2009

4.2.1 Rollgeräusch

Mit Rollgeräuschmessungen kann auf die akustische Wirkung des Strassenbelages geschlossen werden. Zur Erhebung und Quantifizierung der akustischen Wirkung durch die Reinigung der Beläge, wurde mit dem CPX (close proximity)-Messverfahren gemäss ISO/DIS 11819-2 [21] und ASTRA/BAFU 2013 [22] gemessen.

Die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen werden durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt (siehe Abb. 7). Im Messanhänger werden zwei normierte Messreifen montiert, welche belagsabhängig für die zwei Hauptfahrzeugkategorien PW und LKW die Reifen-Fahrbahn-Geräusche erzeugen. Diese werden durch zwei vor und hinter den Reifen angebrachte Messmikrofone aufgezeichnet. Die Mikrofonsignale, die Fahrgeschwindigkeit, GPS-Daten sowie mehrere Umgebungsvariablen werden laufend von einem Messsystem aufgezeichnet. Die gemessenen Pegel repräsentieren die absoluten Schallpegel in 20 cm Distanz zum Reifen. Für die Interpretation der Resultate interessiert aber die Abweichung vom in der Schweiz gültigen Emissionsmodell StL-86+ [6]. Dazu wurden die CPX-Pegel an einer Vielzahl von Standorten mit Vorbeifahrtmessungen (SPB) korreliert und mittels Regressionsmodellen umgerechnet. Angegeben wird die Abweichung in Dezibel zum Normbelag/Modell.

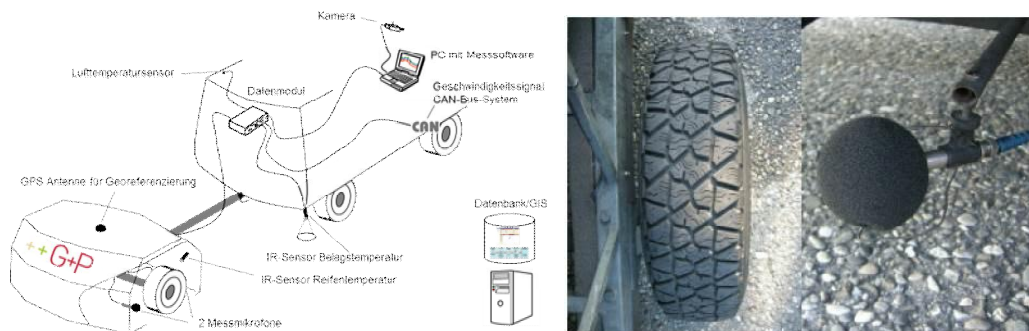


Abb. 7: CPX-Messsystem von G+P (links) und Messreifen mit Messmikrofon (rechts)

Aufgrund erhöhter Genauigkeitsansprüche wurden, abweichend zu den Vorgaben der Norm, die Anzahl Messfahrten pro Testreifensatz von zwei auf fünf erhöht. Die Messungen wurden vor der Reinigung und nach der Reinigung auf jedem Abschnitt (0 bis 3) durchgeführt.

4.2.2 Schallabsorption

Die Schallabsorptionseigenschaften eines Strassenbelages können einen grossen Einfluss auf das Ausmass des Horneffekts und auf die Schallausbreitung haben. Sie sind stark frequenzspezifisch und abhängig von dessen Schichtdicke, der Porosität, der Porenform, deren Verbindungsgrad untereinander und dem spezifischen Strömungswiderstand. Diese Parameter verändern sich mit zunehmender Verschmutzung.

Um die Effektivität der Reinigungsverfahren hinsichtlich der Reinigung blockierter Porenzugänge und verschmutzter Poren beurteilen zu können, werden Schallabsorptionsmessungen mit dem PU-Verfahren (gemäss [23]) durchgeführt. Die Messungen wurden vor der Reinigung und nach der Reinigung auf jedem Abschnitt (0 bis 3) durchgeführt. In der linken und rechten Radspur, sowie zwischen den Radspuren wurden pro Abschnitt jeweils sechs Einzelmessungen verübt und gemittelt.

4.2.3 Luftströmungswiderstand

Der Luftströmungswiderstand gibt Aufschluss über den Hohlraumgehalt und der Verbindungsgrad der Poren innerhalb der Deckschicht des Strassenbelages. Je niedriger der Luftströmungswiderstand desto einfacher kann die Luft aus der Kontaktzone Reifen-

Fahrbahn entweichen oder hineingesogen werden, was gleichzeitig zu einer Abnahme des Luftströmungsschalls führt. Ein verbesserter Luftströmungswiderstand kann durch eine Optimierung der Oberflächentextur (mit einem gewissen Mass an Oberflächenrauheit) oder durch das Vorhandensein von untereinander verbundenen Hohlräumen im Strassenbelag erreicht werden.

Der Luftströmungswiderstand wurde in Anlehnung an die ISO 9053 [24] sowie DIN EN 29053 [25] gemessen. Die erwähnten Normen beschreiben eine Methode, die für Labormessungen vorgesehen ist. Da jedoch in unserem Fall die Messungen in situ durchgeführt wurden, waren einige Anpassungen der Versuchsanordnung notwendig. Es wurde das in Deutschland üblicherweise angewandte modifizierte Verfahren angewendet [26].

Ein Schema der verwendeten Messapparatur ist in Abb. 8 dargestellt. Gemessen wird der Überdruck in der Kammer in Abhängigkeit des geregelten Durchflusses der eintretenden Luft. Beide Messgrössen stehen theoretisch in einer linearen Abhängigkeit, wobei die Steigung von der Geschwindigkeit, bei der die Luft durch den Belag entweichen kann, abhängt.

Der Luftströmungswiderstand einer Deckschicht wird definiert als Quotient des Überdruckes in der Kammer zum Durchfluss. Der spezifische Strömungswiderstand wird definiert als Quotient des Überdruckes zur Strömungsgeschwindigkeit. Der spezifische Luftströmungswiderstand eines Strassenbelages wird empirisch bei einer Luftströmungsgeschwindigkeit von genau 0.0125 m/s bestimmt.

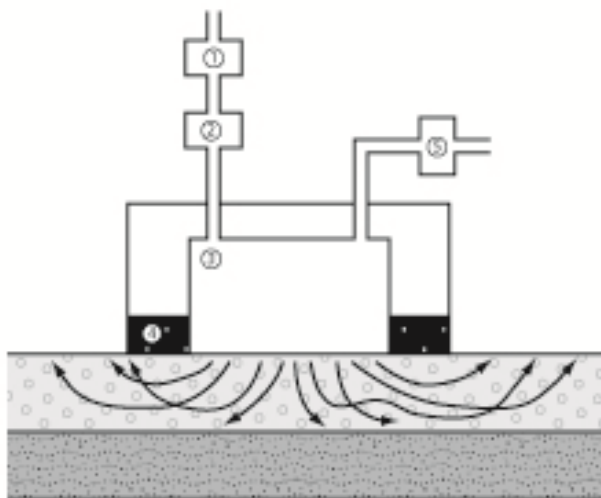


Abb. 8: Messapparatur für die Bestimmung des Luftströmungswiderstandes. Die Messapparatur zur Bestimmung des Luftströmungswiderstandes besteht aus (1) Kompressor, (2) Durchflussregler, (3) Kammer, (4) Dichtung und (5) Differenzdrucksensor. Der Innendurchmesser der Kammer beträgt 100 mm.

Charakteristisch für semi-poröse Beläge sind Werte $<15'000 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$ für Beläge mit 4 mm Grösstkorn und Werte $<10'000 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$ für Beläge mit 8 mm Grösstkorn. Typisch für offenporige Beläge sind Werte $<5000 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$ für Beläge mit 4 mm Grösstkorn und Werte $<1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}/\text{m}$ für Beläge mit 8 mm Grösstkorn.

4.2.4 Luftpermeabilität

Für die Optimierung/Feineinstellung der Reinigungsverfahren wurde ein Messverfahren verwendet, welches ohne grossen Aufwand die Resultate rasch wiedergeben konnte und auf leicht nasser Fahrbahn noch zuverlässige Ergebnisse liefert. Dabei wurde das von Weibel AG eigen entwickelte Luftpermeabilitätsverfahren verwendet (siehe Abb. 9).



Abb. 9: Luftpermeabilitätsverfahren entwickelt von Weibel AG.

Die Anlage misst den Druckverlust in einem Druckbehälter, bei dem kontinuierlich Luft über einen abdichtenden Aufsatz in den Asphalt strömt. Mit dem Druckverlust pro Zeitsprung (1 s) wird eine Ersatzfläche berechnet, die Durchströmungsfläche. In unserem Projekt wurde die Durchströmungsfläche bei gemessenen 220 mbar berechnet.

4.2.5 Sandfleck

Mit dem Sandfleckverfahren wurde geprüft, ob die Makrotexturtiefe der Fahrbahnoberfläche durch die Reinigungsverfahren wiederhergestellt werden konnte. Dabei wurde ein Becher mit 30'000 mm³ Volumen Quarzsand auf den Belag gestreut und mit einem Verteilerwerkzeug gleichmässig zu einem kreisförmigen Fleck verteilt (siehe Abb. 10), dessen Durchmesser gemessen wird. Das Sandvolumen wird durch die bedeckte Fläche dividiert, wobei man einen Wert für die mittlere Tiefe der Sandschicht erhält, d.h. eine mittlere Texturtiefe.



Abb. 10: Gleichmässig verteilter Sand auf Belag für Messung der Makrotexturtiefe nach SN 640 511-1.

4.2.6 Wasserausfluss

Als weiteres Prüfverfahren für die Optimierung/Feineinstellung der Reinigungsverfahren, wurde das Wasserausflussverfahren nach Moore (SN 640 510b) angewendet. Mit diesem Verfahren konnte ohne grossen Aufwand der Wasserabfluss durch die Textur der Fahrbahnoberfläche gemessen werden. Dabei wurde die Zeitperiode gemessen, in welcher eine bestimmte Menge Wasser zwischen einem dünnen Abdichtungsring und der Oberflächentextur des Belages ausfliesst (siehe Abb. 11).



Abb. 11: Messverfahren Ausfluss nach Moore.

4.3 Vorbereiten Messstrecken

Um die Effektivität der Reinigungsverfahren direkt miteinander vergleichen zu können, werden die Messstrecken auf jeweils einer Fahrbahn in vier etwa gleich grosse Teilabschnitte unterteilt worauf die einzelnen Verfahren zur Anwendung kommen (siehe Abb. 12). Abschnitt 0 dient als Referenz und bleibt ungereinigt. Abschnitt 1 wird mit dem Reinigungsverfahren *Kehren mit Absaugvorrichtung* gereinigt, Abschnitt 2 mit *Sprühbalken mit Hecksauganlage* und Abschnitt 3 mit *Rotoplast mit Hecksauganlage* (näheres zu den Reinigungsverfahren, siehe Kapitel 3.1).

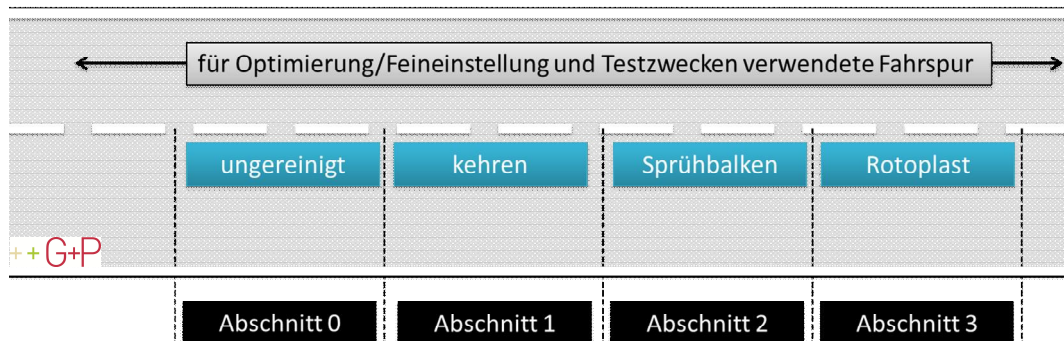


Abb. 12: Schematische Darstellung der unterteilten Messstrecke.

Um zu verhindern, dass allfällige akustische Inhomogenität im Strassenbelag zu Falschinterpretationen führen, werden vorgängig zu der Reinigung Nullmessungen gemacht. So kann die nach der Reinigung ermittelte lärmreduzierende Wirkung direkt mit dem Ausgangszustand vor der Reinigung verglichen werden.

4.4 Optimierung der Reinigungsverfahren

Wie in Kapitel 3.1 erläutert, wurden drei Reinigungsverfahren für dieses Forschungsprojekt ausgewählt. Um die einzelnen Reinigungsverfahren für lärmarme Beläge im Innerortsbereich zu optimieren werden verschiedene Einstellungen getestet. Da die beiden Belagsklassen 4 mm und 8 mm spezifische Porenstrukturen aufweisen ist

denkbar, dass für die beiden Klassen unterschiedliche Einstellungen der Reinigungsverfahren benötigt werden. Deshalb wurde vor der Reinigung auf der Gegenfahrspur in Villars-Sur-Glâne FR (4 mm) und Muhen AG (8 mm) verschiedener Einstellungen getestet. Die getesteten Einstellungen sind in Tab. 2 aufgelistet. Die Testfahrten wurden mit Fahrgeschwindigkeiten von ca. 2 km/h für Sprühbalken und *Rotoplast* und 10 km/h für die Reinigung mit Besen durchgeführt.

Tab. 2 *Getestete Einstellungen für die Optimierung der Reinigungsverfahren*

Belagsklasse	Belagstyp	Ort	Reinigungsverfahren	Wasserdruck [bar]
4 mm	Nanosoft 4	Villars-Sur-Glâne	Sprühbalken	80
				114
			Rotoplast	~190
				350
				~650
				80
8 mm	ACMR 8	Muhen	Sprühbalken	114
				150
				180
			Rotoplast	350
				480
		Rotoplast doppelte Reinigung	480	

Zur Auswahl der optimalen Einstellung wurden das Luftpermeabilitätsverfahren sowie die Wasserausflussverfahren auf den Testabschnitten angewendet und die Ergebnisse Vorort ausgewertet und verglichen.

5 Resultate

5.1 Gewählte Feineinstellung der Reinigungsverfahren

Für das Verfahren *Kehren* wurde für die definitive Reinigung der Beläge die gängige Drehzahl, wie sie für die kommunale Reinigung eingestellt ist, verwendet. Für die beiden Verfahren *Sprühbalken* und *Rotoplast* wurden die in Tab. 2 aufgelisteten Einstellungen mit dem Luftpermeabilitätsverfahren von Weibel AG und dem Ausfluss nach Moore evaluiert um die Effektivität der Feineinstellung der Reinigungsverfahren quantitativ bewerten zu können.

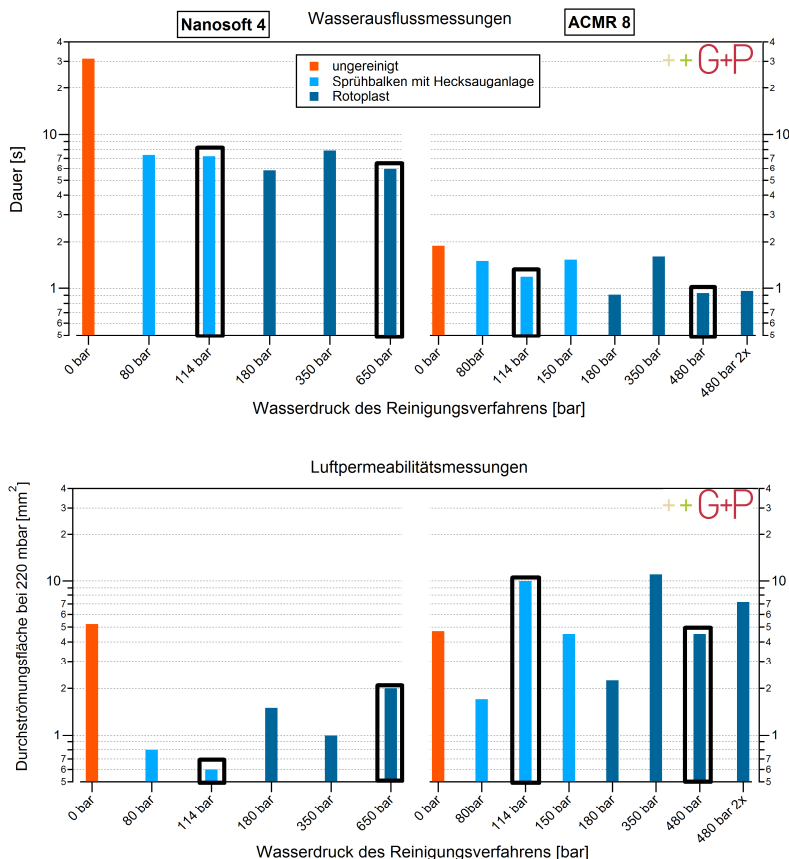


Abb. 13: Wasserausflussmessungen (oben; Ausfluss nach Moore, SN 640 510b) und Luftpermeabilitätsmessungen (unten) zur Optimierung/Feineinstellung des Wasserdruckes der beiden Reinigungsverfahren *Sprühbalken* und *Rotoplast*. Der schwarze Rahmen zeigt die jeweilige ausgewählte Feineinstellung.

Abb. 13 zeigt die Resultate der Luftpermeabilitäts- und Wasserausflussmessungen für die angewendeten Wasserdrücke der beiden Reinigungsverfahren *Sprühbalken* und *Rotoplast*. Anhand der Wasserausflussmessungen ist zu erkennen, dass die Oberflächenrauigkeit mit der Reinigung verbessert werden konnte. Allerdings ist keine systematische Veränderung mit zunehmendem Wasserdruck des Reinigungsverfahrens festzustellen. Beim Luftpermeabilitätsverfahren ist die Durchströmungsfläche jedoch nicht wie zuvor angenommen auf dem ungereinigten Testabschnitt am geringsten. Bei der Messung auf dem Belag ACMR 8 traten Probleme mit der Abdichtung zwischen dem Gerät und Belag auf. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass das Verfahren durch die Ausströmung der Luft, lose Schmutzpartikel verschieben vermag. Gleichwohl sind die Messungen mit dem Luftpermeabilitätsverfahren für die unterschiedlichen Druckeinstellungen mehrheitlich konsistent zueinander und mit den Ergebnissen des Wasserausflussverfahrens vergleichbar. Ebenfalls sind Unterschiede in der Effektivität

der einzelnen Reinigungsverfahren zu erkennen. Aufgrund der Ergebnisse wurden folgende Feineinstellungen für die Hauptuntersuchung ausgewählt:

Für die 4 mm Belagsklasse wurde anhand der Messungen entschieden, den *Sprühbalken* mit einem Wasserdruck von 114 bar und 200 l/min zu verwenden, da beide Permeabilitätsverfahren eine Verbesserung mit höherem Druck zeigten. Für das Reinigungsverfahren *Rotoplast* wurde der höchstmögliche Wasserdruck von 650 bar und 80 l/min verwendet, da auch hier beide Permeabilitätsverfahren die bestmöglichen Resultate mit höchstem Druck zeigten.

Bei der 8 mm Belagsklasse in Abb. 13 ist zu erkennen, dass die Durchströmungsfläche beim *Sprühbalken* mit einem Wasserdruck von 150 bar kleiner ist und auch das Wasserausflussverfahren einen höheren Wert zeigt im Vergleich zum Wasserdruck von 114 bar. Deshalb wurde bei der Reinigung der Strassenbeläge mit Grösst Korngrösse von 8 mm der *Sprühbalken* mit einem Wasserdruck von 114 bar und 220 l/min verwendet. Für das Verfahren *Rotoplast* wurde bei einem Wasserdruck von 480 bar mit dem Luftpermeabilitätsverfahren eine tiefere Durchströmungsfläche gemessen im Vergleich zum Wasserdruck von 350 bar. Allerdings ist anzunehmen, dass die Luftpermeabilitätsmessungen für das Verfahren *Rotoplast* auf der Belagsklasse 8 mm fehlerbehaftet sind. Aus diesem Grund wurde hier mehr den Wasserausflussmessungen vertraut. Diese zeigen, dass das Verfahren *Rotoplast* eine leicht effektivere Reinigung mit einem Wasserdruck von 480 bar im Vergleich zu 350 bar bewirkt. Zusätzlich wurde erkannt, dass ein zweimaliges reinigen des Belages mit einem Wasserdruck von 480 bar kein Unterschied in der Effektivität der Reinigung ergibt. Deshalb wurde für die Reinigung der Belagsklasse 8 mm mit dem Verfahren *Rotoplast* ein Wasserdruck von 480 bar und ca. 80 l/min gewählt (mit einmaliger Reinigung).

Tab. 3 zeigt eine Zusammenfassung der gewählten Feineinstellungen der Reinigungsverfahren pro Belagsklasse.

Belagsklasse	Reinigungsverfahren	gewählter Wasserdruck [bar]	Wassermenge
4 mm	Sprühbalken mit Hecksauganlage	114	ca. 220 l/min
	Rotoplast	650	ca. 80 l/min
8 mm	Sprühbalken mit Hecksauganlage	114	ca. 220 l/min
	Rotoplast	480	ca. 80 l/min

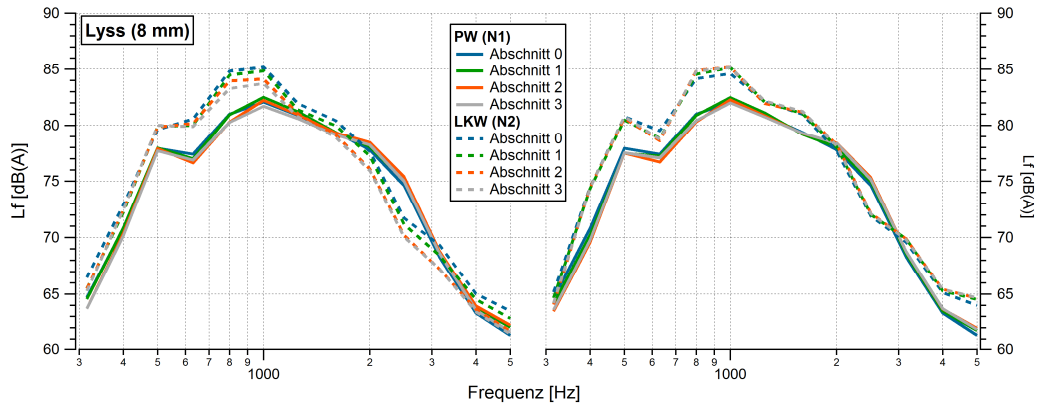
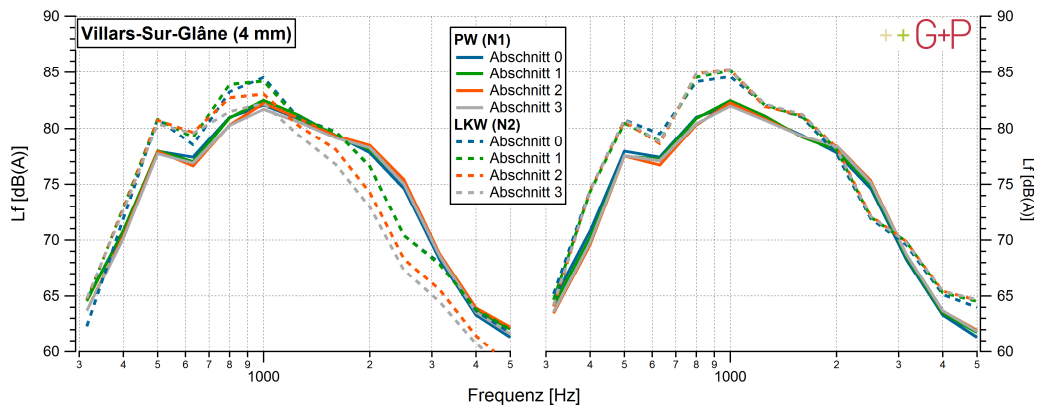
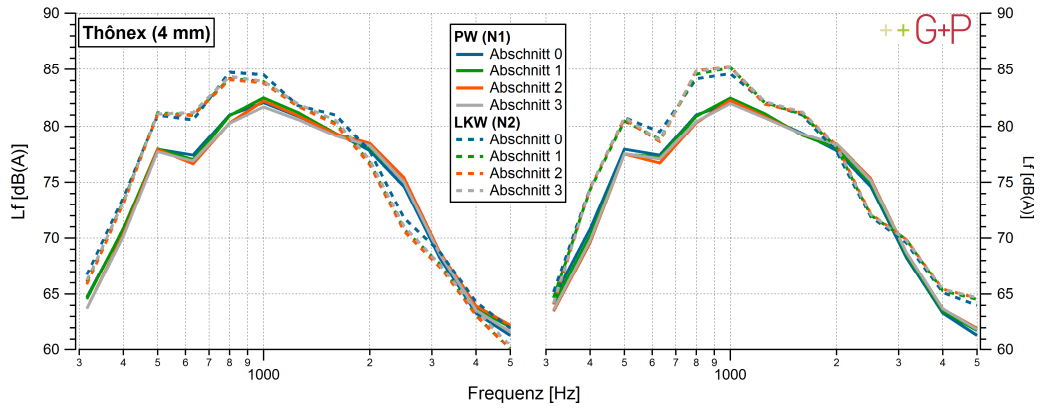
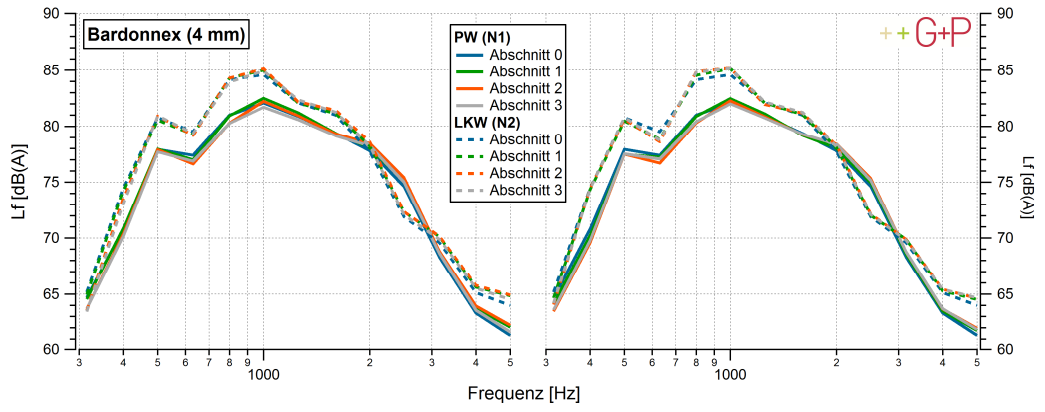
5.2 Rollgeräuschpegel

Vor sowie nach der Reinigung wurden Rollgeräuschmessungen mit dem CPX-Verfahren auf den sechs selektierten Messstrecken durchgeführt. Die Messungen wurden Abschnittsweise miteinander verglichen, so dass keine Artefakte aufgrund von Inhomogenität in den Strecken auftreten können. Damit auch eventuelle Messfehler oder Umwelteinflüsse der CPX-Messungen ausgeschlossen werden können, wurden die Messungen auf dem ungereinigten Abschnitt 0 zum Zeitpunkt nach der Reinigung mit den Messungen zum Zeitpunkt vor der Reinigung abgeglichen. Dieser resultierende Abgleichungsfaktor wurde auf die Abschnitte 1 bis 3 angewendet.

Tab. 4: Einfluss Reinigung auf lärmreduzierende Wirkung für PW (N1) und LKW (N2).

Ort	Abschnitt	Veränderung der akustischen Wirkung [dB]	
		PW (N1)	LKW (N2)
Bardonnex, Nanosoft 4 (2010)	0	±0.0	±0.0
	1	-0.1	±0.0
	2	±0.0	±0.0
	3	+0.2	+0.2
Thônex, Sapaphone 4 (2009)	0	±0.0	±0.0
	1	±0.0	+0.1
	2	-0.2	±0.0
	3	-0.2	-0.1
Villars-Sur-Glâne, Nanosoft 4 (2011)	0	0.0	±0.0
	1	-0.1	+0.2
	2	-0.8	-0.2
	3	-0.2	+0.1
Lyss, SDA 8B (2012)	0	±0.0	±0.0
	1	+0.4	+0.1
	2	+0.1	+0.1
	3	+0.1	±0.0
Muhen, ACMR 8 (2007)	0	±0.0	0.0
	1	-0.1	0.2
	2	-0.1	-0.3
	3	+0.4	0.1
Teufenthal, ACMR 8 (2012)	0	±0.0	±0.0
	1	-0.2	±0.0
	2	-0.2	±0.0
	3	-0.1	±0.0

Generell ist zu erkennen, dass die akustische Wirkung der Belagsreinigung relativ gering ausfällt mit maximaler Wirkung auf dem Nanosoft 4 Belag in Villars-Sur-Glâne von -0.8 dB für PW und -0.3 dB für LKW. Weiter ist zu erkennen, dass die Beläge ACMR 8 in Muhen und SDA 8B in Lyss eine Zunahme auf den Abschnitten 3, bzw. 1 aufweisen. In Abb. 14 sind die Spektren der Rollgeräuschmessungen vor und nach der Reinigung aller Teststrecken für PW (N1) und LKW (N2) dargestellt. Werden die Rollgeräuschspektren der Abschnitte im Zustand vor der Reinigung miteinander verglichen (jeweils links in Abb. 14), ist zu erkennen, dass bei allen Messstrecken eine leichte akustische Inhomogenität zwischen den verschiedenen Abschnitten vorliegt. Diese Inhomogenität ist hauptsächlich zwischen 500 und 2'500 Hz und ab 4'000 Hz zu erkennen.



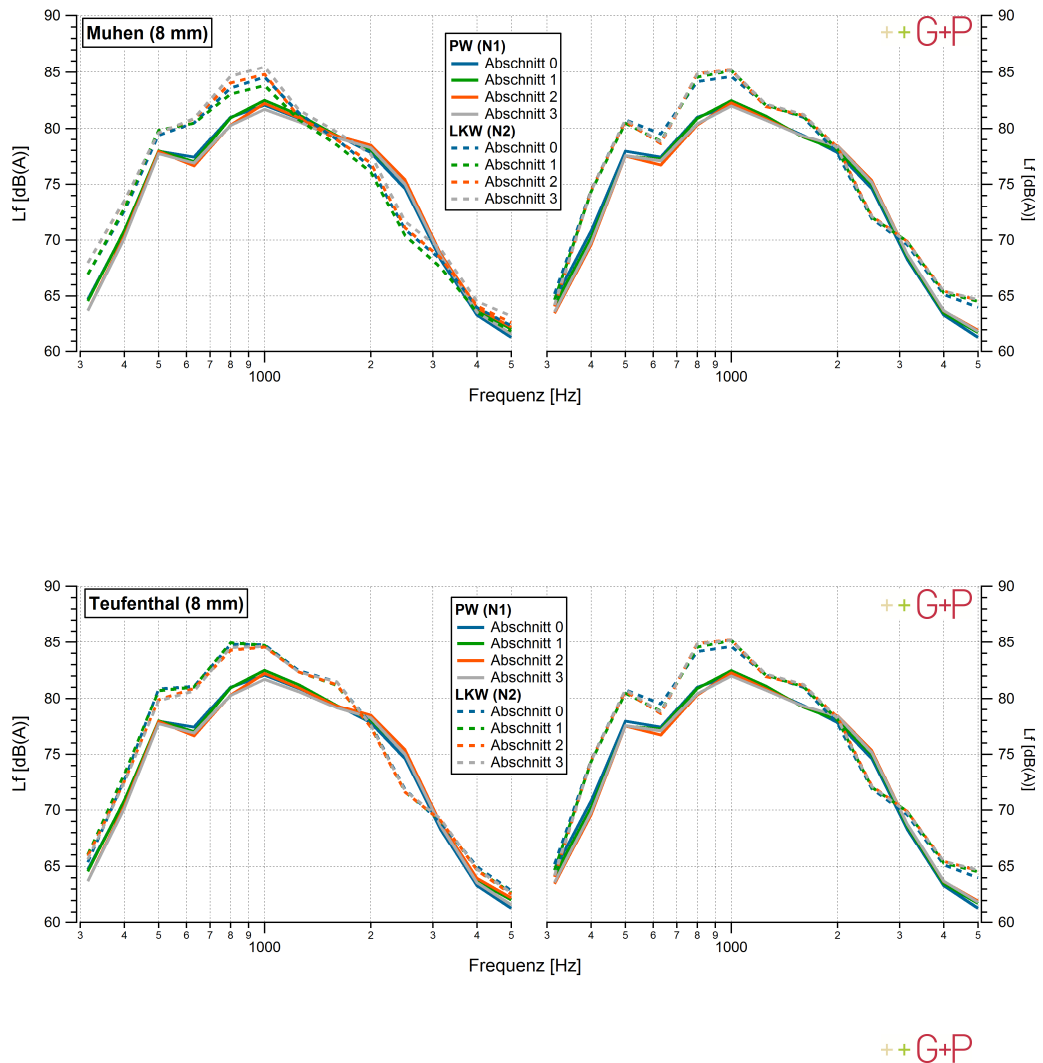


Abb. 14: Frequenzanalyse der CPX-Messungen für PW (N1) und LKW (N2) in dB(A) (Mittelwert pro Teststrecke). Links sind die Nullmessungen dargestellt, welche vorgängig zur Belagsreinigung durchgeführt wurden. Rechts sind die Messungen, welche zwei Tage bis eine Woche nach der Reinigung durchgeführt wurden.

Mit der Differenz der Messungen nach und vor der Reinigung per Abschnitt (siehe Abb. 15), kann die akustische Wirkung der Reinigung nachgewiesen werden. Abb. 15 zeigt in dB wie stark die Abnahme des Pegels aufgrund der Belagsreinigung ist.

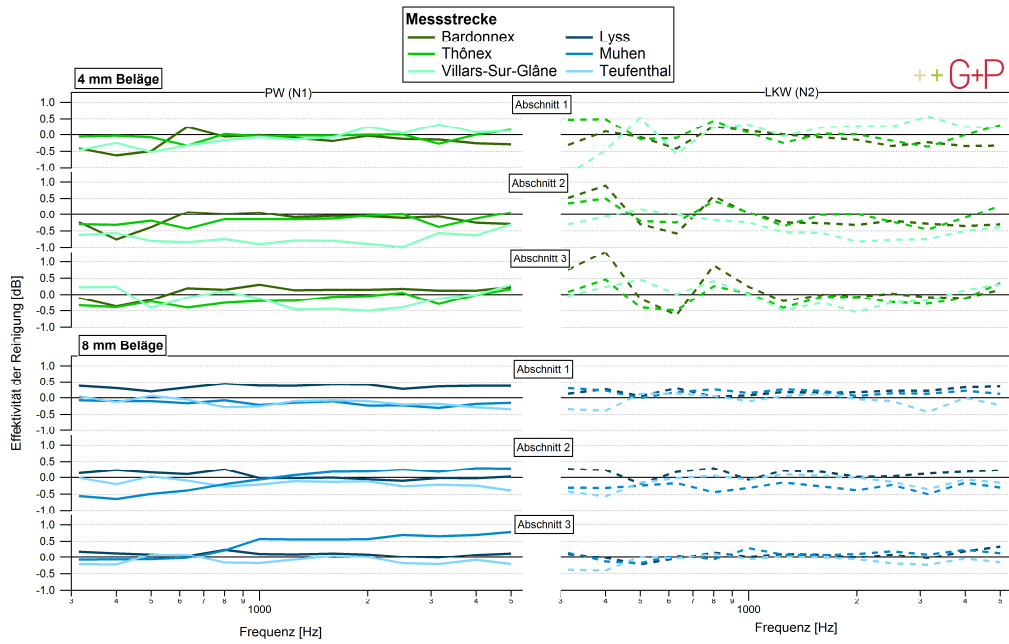


Abb. 15: Differenz der CPX-Messung vor (Nullmessung) und nach der Reinigung der Beläge auf den Messstrecken der Belagsklassen 4 mm (oben) und 8 mm (unten) für PW (links) und LKW (rechts).

5.3 Schallabsorptionsgrad

Vor sowie nach der Reinigung wurden Schallabsorptionsmessungen mit der PU-Sonde durchgeführt. Wie bei den CPX-Messungen (siehe Kapitel 5.2) wurden die vor und nach der Reinigung durchgeführten Schallabsorptionsmessungen Abschnittsweise miteinander verglichen, so dass keine Artefakte aufgrund von Inhomogenität in den Strecken auftreten können; indem auf dem ungereinigten Abschnitt 0 zum Zeitpunkt nach der Reinigung mit den Messungen zum Zeitpunkt vor der Reinigung abgeglichen. Dieser resultierende Abgleichungsfaktor wurde auf die Abschnitte 1 bis 3 angewendet.

Abb. 16 zeigt die Wirkung der Reinigung auf die Schallabsorptionseigenschaften auf allen vier Abschnitten. Eine maximale Wirkung bezüglich Schallabsorption von +0.16 dB auf der Frequenz von 1'000 Hz wurde auf dem Belag in Thônex festgestellt. Diese Wirkung wurde mit dem *Rotoplast* Reinigungsverfahren erreicht. Ebenfalls eine eher gute Wirkung bezüglich Schallabsorption wurde mit demselben Reinigungsverfahren auf dem Belag in Villars-Sur-Glâne mit +0.08 dB auf der Frequenz von 2'000 Hz erzielt. Auf den Belägen in Lyss und Teufenthal, welche zur Belagsklasse 8 mm gehören, ist nach der Reinigung eher eine Verschlechterung der schallabsorbierenden Eigenschaften erkennbar.

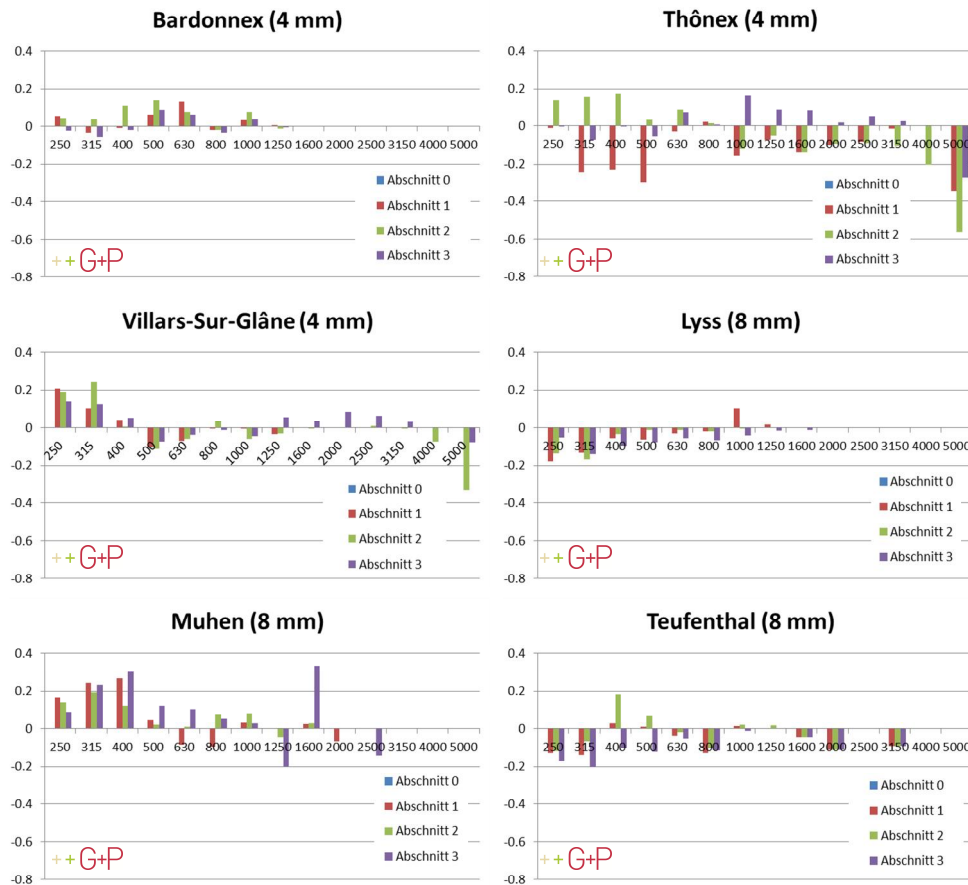


Abb. 16: Spektrale Wirkung der Schallabsorptionsmessungen (Differenz der Messungen vor minus nach der Reinigung der Beläge) auf allen vier Abschnitten (Abschnitt 0: ungereinigt, Abschnitt 1: gereinigt mit Kehren, Abschnitt 2: gereinigt mit Sprühbalken, Abschnitt 3: gereinigt mit Rotoplast).

5.4 Oberflächentexturtiefe

Die Oberflächenrauigkeit ist ein Parameter, welcher den Reinigungseffekt abbilden kann. Nimmt die Oberflächenrauigkeit zu, kann die Luft in der Kontaktzone zwischen Reifen und Fahrbahn besser entweichen/angesogen werden, was zu einer Abnahme der Luftströmungsgeräusche führt. Deshalb wurden auf dem ungereinigten und den drei gereinigten Belagsabschnitten mit dem einfachen Verfahren, der Sandfleckmethode (siehe 4.2.5), die Oberflächentexturtiefe bestimmt.

Abb. 17 zeigt die mittlere Oberflächentexturtiefe für alle Messstrecken auf allen vier gemessenen Belagsabschnitten.

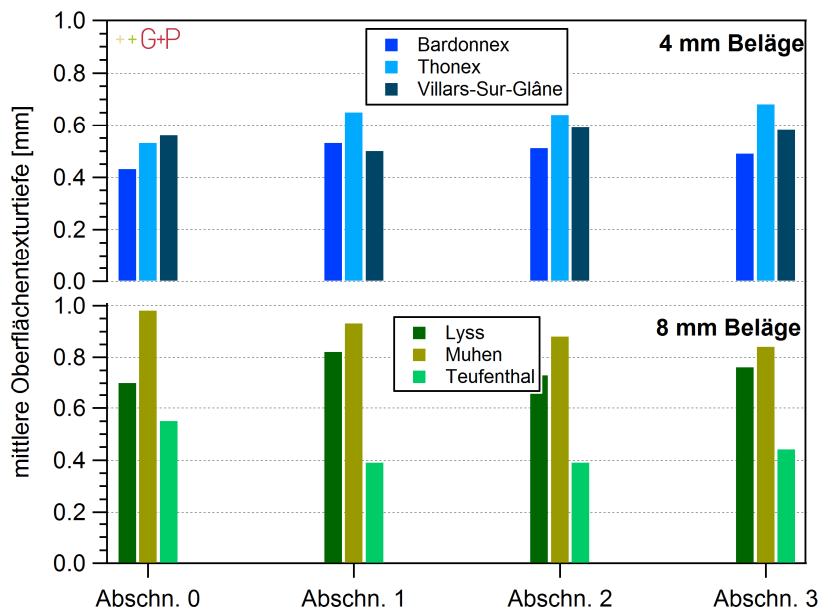


Abb. 17: Mittlere Oberflächentexturtiefe gemessen anhand der Sandfleckmethode (SN 640 511-1) aller Messstrecken auf den vier Belagsabschnitten (Abschn. 0: ungereinigt, Abschn. 1: gereinigt mit Kehren, Abschn. 2: gereinigt mit Sprühbalken, Abschn. 3: gereinigt mit Rotoplast). Die Messstrecken sind unterteilt nach 4 mm Belagsklasse (oben) und 8 mm Belagsklasse (unten).

Insgesamt ist zu erkennen, dass die Oberflächentexturtiefe bei der 8 mm Belagsklasse im Mittel grösser ist im Vergleich zur 4 mm Belagsklasse. Innerhalb der Belagsklassen weisen die Beläge in Thônex (6 Jahre nach Einbau) und in Muhen (8 Jahre nach Einbau) die grösste Oberflächentexturtiefe auf.

Bei der Belagsklasse 4 mm wurde bei allen Messstrecken eine geringfügige Zunahme der Oberflächentexturtiefe auf den gereinigten Abschnitten festgestellt im Vergleich zu zum jeweiligen ungereinigten Abschnitt. Bei der Belagsklasse 8 mm ist kein eindeutiger Trend festzustellen.

5.5 Luftströmungswiderstand

Ein wichtiger Parameter, welcher den Reinigungseffekt abbilden kann, ist die Porenzugänglichkeit des Strassenbelages. Diese wurde anhand des normierten Luftströmungswiderstandverfahrens evaluiert. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abb. 18 dargestellt. Bei der Belagsklasse 4 mm spricht man von semi-dichten oder porösen Belägen, falls der Luftströmungswiderstand bei 0.0125 m/s kleiner als 15'000 Pa s m⁻¹ beträgt. Bei der Belagsklasse 8 mm muss der Wert kleiner 10'000 Pa s m⁻¹ betragen damit man von einem porösen oder semi-dichten Belag ausgehen kann.

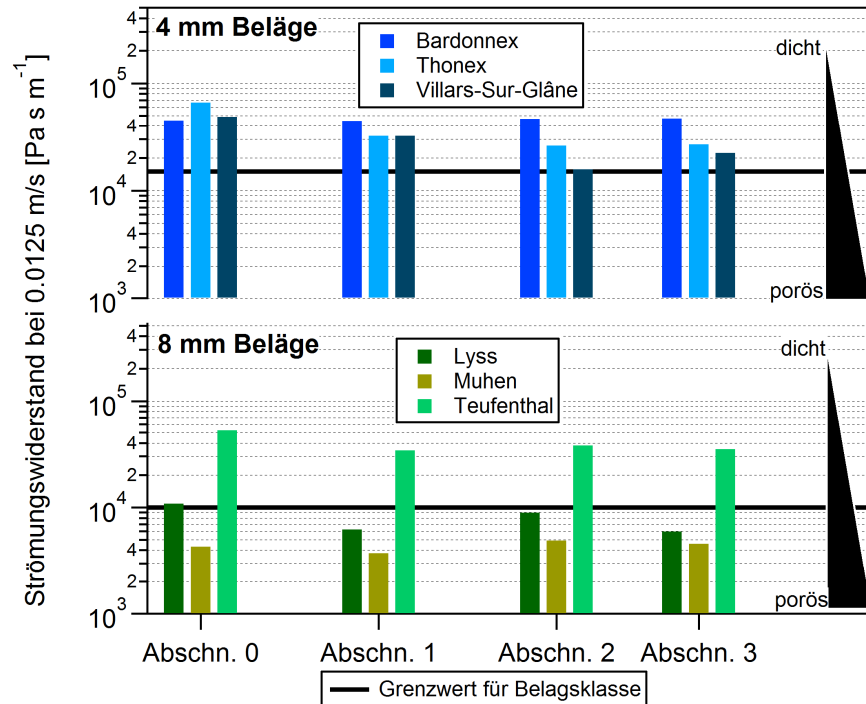


Abb. 18: Luftströmungswiderstand bei 0.0125 m/s gemessen anhand des Lufttopf-Verfahrens (nach DIN EN 29053) aller Messstrecken auf den vier Belagsabschnitten (Abschn. 0: ungereinigt, Abschn. 1: gereinigt mit Kehren, Abschn. 2: gereinigt mit Sprühbalken, Abschn. 3: gereinigt mit Rotoplast). Die Messstrecken sind unterteilt nach 4 mm Belagsklasse (oben) und 8 mm Belagsklasse (unten).

Insgesamt fällt der Effekt der verschiedenen Reinigungsverfahren auf den Luftströmungswiderstand relativ gering aus. Ausnahmen bilden die 4 mm Beläge in Villars-Sur-Gläne und Thônex sowie der 8 mm Belag in Lyss. Bei diesen beiden Belägen, konnte eine Reduktion des Luftströmungswiderstandes aufgrund der Reinigungsverfahren *Sprühbalken* und *Rotoplast* nachgewiesen werden.

6 Diskussion

6.1 Wirkung auf Lärminderung

Im Hauptfokus des vorliegenden Projektes steht die Wirkung der Belagsreinigung auf die lärmreduzierenden Eigenschaften des Strassenbelages. Diese ist in Tab. 5 in Bezug auf den Gesamtpegel, sowie für einzelne Indikatorerzbänder dargestellt. Analog der in [20] vorgestellten Methodik werden die Rollgeräuschpegel einzelner Terzbänder dafür verwendet um Schlüsse auf die Veränderung der Lärmentstehung zu schliessen: Das Terzband bei 400 Hz der gemessenen Reifen-/Fahrbahngeräuschen wurde benutzt um die akustische Wirkung von der Belagsoberfläche anhand von Vibrationsschall zu charakterisieren. Da das Terzband bei 1'000 Hz des gemessenen Spektrums der Reifen-/Fahrbahngeräusche virtuell unabhängig von der Oberflächentextur ist und eine Frequenz repräsentiert, welche eine effektive Lärmreduktion durch Schallabsorption bewirkt, wurde die Frequenz als Indikator für die akustische Wirkung der Schallabsorption benutzt. Das Terzband der 2'000 Hz Frequenz wurde benutzt um die akustische Wirkung betreffend Luftströmungsgeräusche zu charakterisieren.

Tab. 5: Einfluss Reinigung auf lärmreduzierende Wirkung für PW und LKW anhand einzelner Indikatorerzbänder 400, 1'000 und 2'000 Hz.

Ort	Abschnitt	PW (N1)			LKW (N2)		
		400 Hz	1'000 Hz	2'000 Hz	400 Hz	1'000 Hz	2'000 Hz
Bardonnex, Nanosoft 4 (2010)	0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	1	-0.6	±0.0	±0.0	+0.1	+0.1	-0.2
	2	-0.8	+0.1	-0.1	+0.9	+0.1	-0.3
	3	-0.4	+0.3	+0.2	+1.3	+0.2	-0.1
Thônex, Sapaphone 4 (2009)	0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	1	±0.0	±0.0	±0.0	+0.5	+0.1	±0.0
	2	-0.3	-0.1	±0.0	+0.5	+0.1	±0.0
Villars-Sur-Glâne, Nanosoft 4 (2011)	0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	1	-0.2	-0.1	+0.2	-0.5	+0.3	+0.3
	2	-0.6	-0.9	-0.9	-0.1	-0.2	-0.8
Lyss, SDA 8B (2012)	0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	1	+0.3	+0.4	+0.4	+0.3	+0.1	+0.2
	2	+0.2	±0.0	-0.1	+0.2	-0.1	±0.0
Muhen, ACMR 8 (2007)	0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	0.0	±0.0
	1	-0.1	-0.2	-0.2	+0.2	+0.1	+0.1
	2	-0.6	-0.1	+0.2	-0.3	-0.3	-0.4
Teufenthal, ACMR 8 (2012)	0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	1	-0.1	-0.3	-0.1	-0.4	-0.1	±0.0
	2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.6	-0.1	±0.0
	3	-0.2	-0.2	±0.0	-0.4	-0.1	-0.1

Interpretation:

- Marginal bis geringfügige Verbesserung der lärmreduzierenden Wirkung durch alle Reinigungsverfahren auf den Gesamtpegel (n=13), aber in Einzelfällen auch geringfügige Verschlechterung (n=5), siehe Tab. 4.
- Der insgesamt grösste Reinigungseffekt wurde auf dem 4 mm Belag in Villars-Sur-Glâne mit knapp 1 dB mit dem Sprühbalken erzielt.
- Die Auswertung der Indikatorfrequenzen zeigt, dass das Reinigungsverfahren Kehren bezüglich Schallabsorptions- und Luftströmungseigenschaften eine geringfügige bis keine Wirkung zeigt. Auf 4 mm Belägen scheint es sich jedoch tendenziell positiv auf die Oberflächentextureigenschaften auszuwirken (siehe negative Werte in Tab. 5).
- Mit dem Reinigungsverfahren Sprühbalken wird in den meisten Fällen eine Verbesserung bezüglich Schallabsorptions- und Luftströmungseigenschaften erreicht.

Diese Tendenz geht nicht in allen Fällen mit einer Verbesserung der akustischen Wirkung in Bezug auf die Gesamtpegel einher.

- Das Reinigungsverfahren *Rotoplast* wirkt sich ebenfalls positiv auf die bezüglich Schallabsorptions- und Luftströmungseigenschaften aus. Allerdings wird die Verbesserung vermehrt auf 4°mm Belägen festgestellt.
- Die geringfügige Verschlechterung welche in Muhen mit dem Reinigungsverfahren *Rotoplast* zustande kommt, äussert sich vor allem in einer Zunahme der Schallpegel in den Indikatorfrequenzen für Schallabsorptions- und Luftströmungseigenschaften. Dies könnte auf eine Verschlämzung bzw. Verschlechterung der Porenzugänglichkeit hindeuten.
- Die geringfügige Verschlechterung der lärmreduzierenden Wirkung auf dem Belag in Lyss mit dem Reinigungsverfahren *Kehren* geht mit einer Zunahme der Indikatorfrequenz für Vibrationsgeräusche einher. Es ist möglich, dass das Reinigungsverfahren eine geringfügige Verschlechterung der Oberflächentextur durch Kornausbrüche herbeigeführt hat.

6.2 Wirkung bezüglich Schallabsorption

Alle drei Reinigungsverfahren vermögen die Schallabsorptionseigenschaften der Beläge nicht bis geringfügig zu verbessern. Die wesentlichste Verbesserung wurde mit dem Reinigungsverfahren *Rotoplast* auf den 4°mm Belägen erreicht. Dieses Phänomen ist konsistent mit der Beobachtung in Abschnitt 6.1 bei welcher hauptsächlich bei 4 mm Belägen eine Verbesserung der Indikatorfrequenz für Schallabsorptionseigenschaften festgestellt wurde.

6.3 Wirkung bezüglich Oberflächentextur

In der Theorie sollte der ungereinigte Abschnitt (Abschn. 0) aufgrund der mit Schmutz gefüllten Oberfläche, die kleinste Oberflächentexturtiefe aufweisen im Vergleich zu den drei gereinigten Belagsabschnitten (Abschn. 1 bis 3). Sämtliche Reinigungsverfahren führten auf 4 mm Belägen zu einer Zunahme der Oberflächenrauigkeit. Entsprechend scheinen die Reinigungsverfahren oberflächliche Schmutzablagerungen zu entfernen. Auf den 8 mm Belägen ist bezüglich Oberflächenrauigkeit keine eindeutige Tendenz festzustellen. Die Messstrecke Lyss weist als Einzige in dieser Klasse eine leichte Zunahme in der Oberflächentexturtiefe auf. Dieses Resultat ist konsistent mit den Rollgeräuschmessungen bei der Indikatorfrequenz für Vibrationsgeräusche, welche ebenfalls lediglich beim 8 mm Belag in Lyss eine Zunahme zeigte. Bei den anderen beiden Messstrecken dieser Belagsklasse, Muhen und Teufenthal, ist eine leichte bis starke Abnahme der mittleren Oberflächentexturtiefe zu verzeichnen.

Generell sind aufgrund der verschiedenen Reinigungsverfahren keine markanten Unterschiede in der Oberflächentexturtiefe ersichtlich. Dies ist womöglich auf die mässige Genauigkeit des Messverfahrens zurückzuführen.

6.4 Wirkung bezüglich Porenzugänglichkeit

Es ist anzunehmen, dass die Porenzugänglichkeit mit der Effektivität der Reinigungsverfahren zunimmt, d.h. im Vergleich zum ungereinigten Abschnitt 0 eine tendenzielle Abnahme des Luftströmungswiderstands zu erkennen sein sollte.

Im ungereinigten Zustand (Abschnitt 0) überschreiten bei der Belagsklasse 4 mm alle untersuchten Messstrecken den Richtwert für poröse Beläge, wobei bei der Belagsklasse 8 mm die Messstrecken in Lyss und Muhen anhand der Grenzwerte als semi-dicht bis porös gelten (siehe Abb. 18).

Durch die Reinigung mit dem *Sprühbalken* auf dem 4 mm Belag in Villars-Sur-Glâne konnte der zuvor als dicht beurteilte Belag (siehe Abschn. 0 in Abb. 18) wieder als porös eingestuft werden. Dieses Resultat ist konsistent mit der Beobachtung in Abschnitt 6.1 bei welcher beim entsprechenden Belag eine Verbesserung der Indikatorfrequenz für

Luftströmungseigenschaften festgestellt wurde. Die Luftströmungswiderstandsmessungen deuten darauf hin, dass auch beim 4 mm Belag in Thônex einige Poren wieder freigesetzt werden konnten. Allerdings ist der Effekt geringfügig, so dass dieser Belag immer noch oberhalb des Richtwertes für poröse Beläge liegt.

Die Reinigung auf dem 8 mm Belag in Lyss führte ebenfalls zu einer Abnahme des Luftströmungswiderstandes v.a. bei den Reinigungsverfahren *Kehren* und *Rotoplast*. Da mit dem Reinigungsverfahren *Kehren*, bloss oberflächlicher Schmutz entfernt werden kann, deutet dies womöglich auf eine Wiederherstellung der Rugosität hin, nicht aber einer Wiederherstellung der Poren.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Hauptergebnisse

- **Wirkung auf Lärmpegel:** Geringfügige bis keine Wirkung der Reinigungsverfahren auf die lärmreduzierenden Eigenschaften (maximale Wirkung 0.8 dB)
- **Reinigungsverfahren:** Auf 4 mm Belägen konnten sowohl mit den Reinigungsverfahren *Rotoplast* und *Sprühbalken* eine Wirkung erzielt werden. Auf 8 mm Belägen ist das *Sprühbalken* Verfahren am effektivsten. Für beide Belagsklassen führt das Reinigungsverfahren *Kehren* zu keiner Verbesserung der lärmreduzierenden Eigenschaften.
- **Wirkungsweise 4 mm:** Die Wirkung der Reinigung auf 4 mm Belägen zeigt sich auf konsistente Weise in erster Linie durch eine Verbesserung der Luftströmungseigenschaften und in geringerem Masse der Schallabsorptionseigenschaften.
- **Wirkungsweise 8 mm:** Auf 8 mm Belägen ist die Wirkung tendenziell geringer. Aufgrund Inkonsistenz in den verschiedenen Messresultaten können keine gesicherten Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung der Reinigung auf die Schallentstehungsmechanismen und Schallabsorption gemacht werden.

7.2 Empfehlungen

- Aufgrund der geringfügigen Wirkung auf die lärmreduzierenden Eigenschaften sollte die Planung des Reinigungsunterhalts von lärmarmen Belägen auf sorgfältigen Kosten/Nutzen-Analysen basieren. Folgende Richtpreise können für eine Kosten/Nutzen-Analyse benutzt werden:
 - Reinigung im Umkreis von 50 km der Reinigungsfirma
 - Installation: 250 Fr. pauschal
 - Hecksauganlage/Rotoplast: 0.15 Fr./m²
 - Reinigung im Umkreis von 150 km der Reinigungsfirma
 - Installation: 450 Fr. pauschal
 - Hecksauganlage/Rotoplast: 0.15 Fr./m²
- Auf 4 mm Belägen wird empfohlen die Reinigungsverfahren *Sprühbalken* oder *Rotoplast* jeweils mit Absaugvorrichtung einzusetzen.
- Auf 8 mm Belägen wird empfohlen das Reinigungsverfahren *Sprühbalken* mit Absaugvorrichtung anzuwenden.
- Generell aber insbesondere bei älteren Belägen sollte sichergestellt werden, dass durch die Anwendung von Hochdruckreinigungsverfahren zu keiner Beschädigung der Belagsoberfläche kommt.

7.3 Ausblick

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde der Reinigungseffekt konventioneller Reinigungsverfahren auf lärmarmen Strassenbelägen im Innerortsbereich untersucht. Obwohl ein geringfügiger Reinigungseffekt bezüglich den lärmreduzierenden Eigenschaften erzielt werden konnte, war es nicht möglich die genaue Lage des Schmutzeintrages im Porengefüge des Strassenbelages zu eruieren. Als Fokus zukünftiger Forschungsanstrengungen sollte die genaue Lage und Eigenschaften des eingetragenen Schmutzes analysiert werden. Zudem ist es denkbar angepasste Reinigungsverfahren zu entwickeln, welche den Schmutz an der spezifischen Stelle effektiver entfernen können. Weiter ist zu untersuchen, ob der Reinigungseffekt konventioneller Verfahren durch frühzeitige und regelmässige Anwendung gesteigert werden kann.

Anhänge

I	Faktenblätter	45
I.1	Faktenblatt: Reinigungsverfahren.....	45
I.2	Faktenblatt: Wirkung der Reinigungsverfahren auf lärmarmen Belägen	46
II	Belagsfotos	48
II.1	Belagsklasse 4 mm	49
II.2	Belagsklasse 8 mm	52
III	Vorgängige belagsakustische Gütemessungen	55

I Faktenblätter

I.1 Faktenblatt: Reinigungsverfahren

Getestete Reinigungsverfahren

Kehren



Aufbau:	Rotationsbesen mit Walze (mittig) und Aufsaugmechanismus
Funktionsweise:	kehrt Schmutz mit Besen und Walze und nimmt ihn mit Walze und Saugvorrichtung auf.
Arbeitsgeschwindigkeit:	2 bis 5 km/h

Sprühbalken



Aufbau:	Sprühbalken mit Wasserdüsen und Aufsaugsystem
Funktionsweise:	Sprühbalken mit mehreren Wassersprühdüsen reinigen mit Druck von 80 bis 150 bar. Wassermenge bis zu 220 l/min. Anschliessend wird Schmutz mit Saugsystem aufgenommen.
Arbeitsgeschwindigkeit:	2 bis 5 km/h
Richtpreis:	Installation: 250.- (Reinigung im Umkreis von 50 km) Reinigung: 0.15.-/m ²

Rotoplast



Aufbau:	Am Ende zweier rotierender Balken angeordnete Sprühdüsen mit Aufsaugsystem
Funktionsweise:	Zweimal vier Balken orthogonaler Ausrichtung mit Wassersprühdüsen an jedem Ende reinigen mit einem Druck von bis zu 650 bar. Wassermenge bis zu 220 l/min. Anschliessend wird Schmutz mit einem Saugsystem aufgenommen.
Arbeitsgeschwindigkeit:	~2 km/h
Richtpreis:	Installation: 450.- (Reinigung im Umkreis von 150 km) Reinigung: 0.15.-/m ²

I.2 Faktenblatt: Wirkung der Reinigungsverfahren auf lärmarmen Belägen

Wirkung Reinigungsverfahren

Reinigungsverfahren

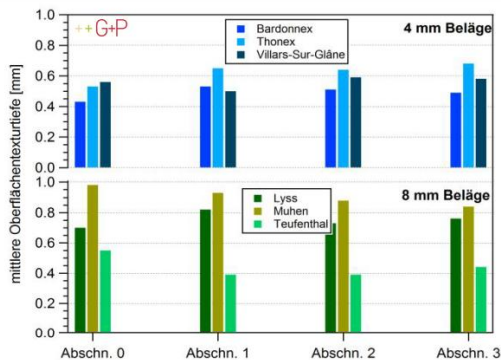
Abschn. 0: ungereinigt

Abschn. 1: kehren und saugen

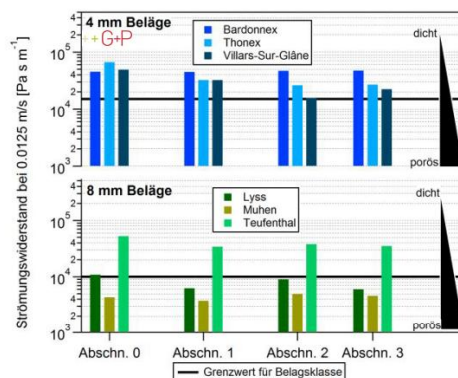
Abschn. 2: Sprühbalken mit Hecksauganlage

Abschn. 3: Rotoplast mit Hecksauganlage

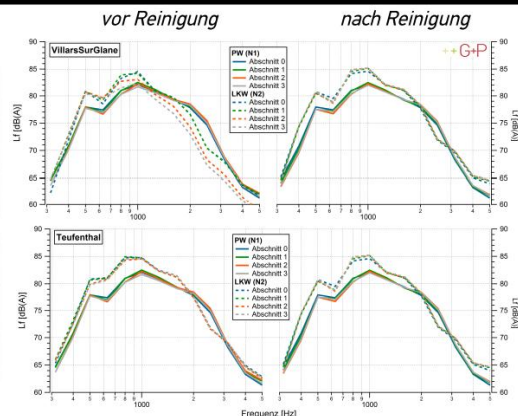
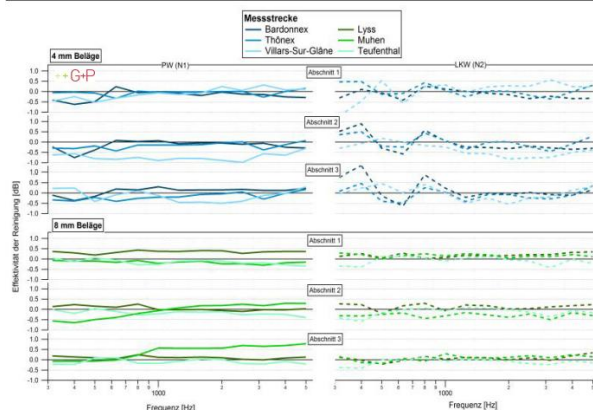
Oberflächentextur



Porenzugänglichkeit



Wirkung auf Röllgeräuschpegel



















> Fazit / + Empfehlungen

- > **Wirkung auf Lärmpegel:** Geringfügige bis keine Wirkung der Reinigungsverfahren auf die lärmreduzierenden Eigenschaften (maximale Wirkung 0.8 dB)
- > **Reinigungsverfahren:** Auf 4 mm Belägen konnten sowohl mit den Reinigungsverfahren Rotoplast und Sprühbalken eine Wirkung erzielt werden. Auf 8 mm Belägen ist das Sprühbalken Verfahren am effektivsten. Für beide Belagsklassen führt das Reinigungsverfahren Kehren zu keiner Verbesserung der lärmreduzierenden Eigenschaften.
- > **Wirkungsweise 4 mm:** Die Wirkung der Reinigung auf 4 mm Belägen zeigt sich auf konsistente Weise in erster Linie durch eine Verbesserung der Luftströmungseigenschaften und in geringerem Masse der Schallabsorptionseigenschaften.
- > **Wirkungsweise 8 mm:** Auf 8 mm Belägen ist die Wirkung tendenziell geringer. Aufgrund Inkonsistenz in den verschiedenen Messresultaten können keine gesicherten Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung der Reinigung auf die Schallentstehungsmechanismen und Schallabsorption gemacht werden.
- + Aufgrund der geringfügigen Wirkung auf die lärmreduzierenden Eigenschaften sollte die **Planung des Reinigungsunterhalts** von lärmarmen Belägen auf sorgfältigen **Kosten/Nutzen-Analysen** basieren.
- + Auf **4 mm Belägen** wird empfohlen die Reinigungsverfahren **Sprühbalken oder Rotoplast** jeweils mit Absaugvorrichtung einzusetzen.
- + Auf **8 mm Belägen** wird empfohlen das Reinigungsverfahren **Sprühbalken** mit Absaugvorrichtung
- + Generell aber insbesondere bei älteren Belägen sollte sichergestellt werden, dass durch die Anwendung von **Hochdruckreinigungsverfahren zu keiner Beschädigung** der Belagsoberfläche kommt.









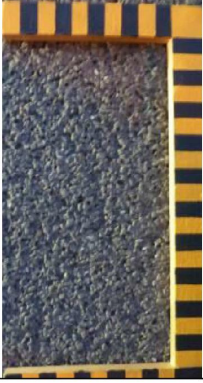





II Belagsfotos













In den nachfolgenden Tabellen 1 bis 3 werden die Belagsfotos, welche bei den Nullmessungen (vor der Reinigung) und bei den Erstmessungen (nach der Reinigung) aufgenommen wurden.

II.1 Belagsklasse 4 mm

		nach der Reinigung			
		Fahrspurmitte	rechte Radspur	Fahrspurmitte	rechte Radspur
Tab. 1: Belagsfotos von Nanosoft 4 (2010) in Bardonnex	vor der Reinigung rechte Radspur				
	Fahrspurmitte				
	rechte Radspur				
	Fahrspurmitte				
	Abschnitt 0 (ungereinigt)	Abschnitt 1 (Kehren)	Abschnitt 2 (Sprühbalken)	Abschnitt 3 (Rotoplast)	

Tab. 2: Belagsfotos von Sapaphone 4 (2009) in Thönex

	nach der Reinigung	
	rechte Radspur	Fahrspurmitte
		
		
		
		
	vor der Reinigung	
	rechte Radspur	Fahrspurmitte
Abschnitt 0 (ungereinigt)		
Abschnitt 1 (Kehren)		
Abschnitt 2 (Sprühbalken)	leider kein Bild vorhanden	leider kein Bild vorhanden
Abschnitt 3 (Rotoplast)		

















Abschnitt 0 (ungereinigt)	vor der Reinigung		nach der Reinigung	
	rechte Radspur	Fahrspurmitte	rechte Radspur	Fahrspurmitte
Abschnitt 1 (Kehren)				
Abschnitt 2 (Sprühbalken)				
Abschnitt 3 (Rotoplast)				

Tab. 3: Belagsfotos von Nanosoft 4 (2011) in Villars-Sur-Glâne

















II.2 Belagsklasse 8 mm

Tab. 4: Belagsfotos von SDA 8B (2012) in Lyss

		nach der Reinigung			
		Fahrspurmitte	rechte Radspur	Fahrspurmitte	rechte Radspur
vor der Reinigung	rechte Radspur				
	Fahrspurmitte				
	rechte Radspur				
	Fahrspurmitte				
	Abschnitt 0 (ungereinigt)	Abschnitt 1 (Keuren)	Abschnitt 2 (Sprühbalken)	Abschnitt 3 (Rotoplast)	

		nach der Reinigung			
		rechte Radspur	Fahrspurmitte	Fahrspurmitte	rechte Radspur
Tab. 5: Belagsfotos von ACMR 8 (2007) in Muhen vor der Reinigung	rechte Radspur				
	Fahrspurmitte				
	rechte Radspur				
	Fahrspurmitte				
	Abschnitt 0 (ungereinigt)	Abschnitt 1 (Kehren)	Abschnitt 2 (Sprühbalken)	Abschnitt 3 (Rotoplast)	

Tab. 6: Belagsfotos von ACMR 8 (2012) in Teufenthal

	vor der Reinigung		nach der Reinigung	
	rechte Radspur	Fahrspurmitte	rechte Radspur	Fahrspurmitte
Abschnitt 0 (ungereinigt)				
Abschnitt 1 (Kehren)				
Abschnitt 2 (Sprühbalken)				
Abschnitt 3 (Rotoplast)				

III Vorgängige belagsakustische Gütemessungen

Damit die Resultate der Oberflächenrauigkeit, Luftströmungswiderstandes und belagsakustische Güte auf den vier Abschnitten aller Beläge miteinander verglichen werden können, wurden vorgängig zu der Reinigung sogenannte Nullmessungen mit dem CPX und der Schallabsorption durchgeführt. So können Fehler aufgrund von Inhomogenität der Strecke vernachlässigt werden.

Abb. 1 zeigt den Streckenverlauf der Rollgeräuschmessungen CPX für PW und LKW. Dabei wurden nur die Daten verwendet, bei welchen Schachtdeckel, Fussgängerstreifen, sonstige Markierungen oder Kreisel nicht überfahren wurden (siehe rote Markierung in Abb. 1). Es ist zu erkennen, dass die Beläge Nanosoft 4 und Sapaphone 4 in Bardonnex und Thônex, sowie der Belag ACMR 8 in Teufenthal eine relativ homogene akustische Belagsgüte auf der gesamten Länge aufweisen. Die Beläge Nanosoft 4, ACMR 8 und SDA 8B in Villars-Sur-Glâne, Muhen und Lyss hingegen, weisen eine grosse Inhomogenität auf. Der Belag in Muhen scheint gegen Ende der Strecke eine Zunahme der akustischen Belagsgüte aufzuweisen, wobei die Rollgeräusche entstehend durch den in Lyss liegenden Belag tendenziell abnehmen. Deshalb war es, v.a. für die eher stark inhomogenen Strecken Villars-Sur-Glâne, Muhen und Lyss, wichtig für die Messungen der akustischen Belagsgüte, Nullmessungen durchzuführen.



Abb. 1: Streckenverlauf der CPX-Messungen für PW (N1; blau) und LKW (N2; grün). Die Teststrecke (rot) zeigt die Daten, welche unbeeinflusst von Schachtdeckeln, Fussgängerstreifen, sonstige Markierungen oder Kreiseln sind und in die Auswertung mit eingeflossen sind.

Glossar

Begriff	Bedeutung
ACMR	Rauasphalt (engl. <i>asphalt concrete macro rough</i>)
CPX	Close Proximity Methode zur Messung des Reifen-Fahrbahn Geräusches
PU	Schalldruck und Schallschnelle
SDA	Semidichter Asphalt (lärmarme Beläge)
Stl-86+	Rechenmodell für Strassenverkehrslärm

Literaturverzeichnis

Normen

- [8] "VSS 640436 - Semidichtes Mischgut und Deckschichten." 2013.
- [21] Iso/Dis 11819-2, "Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2 : Close-proximity method," p. 73, 2012.

Dokumentation

- [1] E. Hammer, S. Steiner, and E. Bühlmann, "Long-term acoustical performance of low noise road surfaces in urban areas in Switzerland," in *Euronoise 2015*, 2015, pp. 1315–1320.
- [2] E. Bühlmann and S. Steiner, "Influence of environment- and traffic-related factors on acoustic ageing of low-noise road surfaces in Switzerland," pp. 1321–1326, 2015.
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Umwelt BAFU "Lärmarme Strassenbeläge innerorts Schlussbericht 2007", <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00704/index.html?lang=de> 2008.
- [4] Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Umwelt BAFU, "Lärmarme Strassenbeläge innerorts Schlussbericht 2010," <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01612/index.html?lang=de> 2011.
- [5] Gesamtprojektleitung Forschungspaket, "Lärmarme Beläge innerorts," 2011.
- [6] BUWAL/ EMPA, "Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, Teil 1, StL-86," 1987.
- [7] M. R. Jürgen Haberl, Johann Litzka, Peter Renken, Thomas Lobach, André-Gilles Dumont, "D-A-CH – Forschungsprojekt Nutzungszeiten offenerporiger Asphaltdeckschichten," *Forschungsauftrag VSS 2007/501 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute*, 2008.
- [8] "VSS 640436 - Semidichtes Mischgut und Deckschichten." 2013.
- [9] Nicolas Bukowiecki, Robert Gehrig, Peter Lienemann, Matthias Hill, Renato Figi, Brigitte Buchmann, "PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassen-," no. August 2009.
- [10] E. van Blokland, G.J., Kuijpers, A., Gerritsen, "Twee-laags ZOAB, handleiding voor wegbeheerders," *CROW publication No. 161*, 2001.
- [11] Asphalt Review, "Cleaning of open graded (porous) asphalt and removal of excess bitumen from flushed sprayed seal (chipseal)," *Asphalt Review Online*, 2001.
- [12] S. Samuels, *Advice to road authorities provided by Dr S.E. Samuels*. 2002.
- [13] OECD, "Roadside Noise Abatement," *Report prepared by an OECD Scientific Expert Group, OECD, Paris, France*, 1995.
- [14] M+P, "Ervaringen reinigen wegdekken," 2008.
- [15] U. Sandberg and J. A. Ejsmont, *Tyre/road noise reference book*. 2002.
- [16] T. Matsuda, T. Inagaki, and Y. Masuyama, "Investigation and examination concerning function recovery of drainage asphalt pavement," in *ROAD ENGINEERING ASSOCIATION OF ASIA AND AUSTRALASIA (REAAA), CONFERENCE, 9TH, 1998, WELLINGTON, NEW ZEALAND, VOL 2*, 1998.
- [17] F. Amato, X. Querol, C. Johansson, C. Nagl, and A. Alastuey, "Science of the Total Environment A review on the effectiveness of street sweeping , washing and dust suppressants as urban PM control methods," *Sci. Total Environ.*, vol. 408, no. 16, pp. 3070–3084, 2010.
- [18] J. German and G. Svensson, "Metal content and particle size distribution of street sediments and street sweeping waste," no. 1998, pp. 191–198, 2001.
- [19] U. Sandberg, "Road traffic noise—The influence of the road surface and its characterization," *Appl. Acoust.*, vol. 21, no. 2, pp. 97–118, 1987.
- [20] E. Bühlmann and T. Ziegler, "Interpreting measured acoustic performance on Swiss low-noise road surfaces using a tyre / road interaction model," pp. 1–6, 2012.

-
- [21] Iso/Dis 11819-2, "Acoustics — Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise — Part 2 : Close-proximity method," p. 73, 2012.
-
- [22] ASTRA und BAFU, "Leitfaden Strassenlärm," 2006.
-
- [23] F. Jacobsen and H.-E. de Bree, "A comparison of two different sound intensity measurement principlesa)," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 118, no. 3, pp. 1510–1517, 2005.
-
- [24] "Acoustics - Materials for acoustical applications - Determination of airflow resistance," *ISO 9053*, vol. 1, 1991.
-
- [25] "Akustik – Materialien für akustische Anwendungen – Bestimmung des Strömungswiderstandes," *DIN EN 29053*, 1993.
-
- [26] Männel M., "Prüfung akustisch relevanter Parameter im Labor und in-situ, 4. Informationstage, Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis," *Müller-BBM, Gelsenkirchen*, 2008.
-

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: 12.10.2015

Grunddaten

Projekt-Nr.: 2013/003

Projekttitel: Forschungsprojekt EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen

Enddatum: 31.10.2015

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

- + Wirkung auf Lärmpegel: Es wurde eine geringfügige bis keine Wirkung der Reinigungsverfahren auf die lärmreduzierende Eigenschaften (maximale Wirkung 0.8 dB) festgestellt.
- + Reinigungsverfahren: Auf 4 mm Belägen konnten sowohl mit den Reinigungsverfahren Rotoplast als auch Sprühbalken eine Wirkung erzielt werden. Auf 8 mm Belägen ist das Sprühbalken Verfahren am effektivsten. Für beide Belagsklassen führt das Reinigungsverfahren Kehren zu keiner Verbesserung der lärmreduzierenden Eigenschaften.
- + Wirkungsweise 4 mm: Die Wirkung der Reinigung auf 4 mm Belägen zeigt sich auf konsistente Weise in erster Linie durch eine Verbesserung der Luftströmungseigenschaften und in geringerem Masse der Schallabsorptionseigenschaften.
- + Wirkungsweise 8 mm: Auf 8 mm Belägen ist die Wirkung tendenziell geringer. Aufgrund Inkonsistenz in den verschiedenen Messresultaten können keine gesicherten Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung der Reinigung auf die Schallentstehungsmechanismen und Schallabsorption gemacht werden.



Zielerreichung:

Die im Forschungsprojekt angestrebten Zielaussagen konnten vollumfänglich umgesetzt werden:

- + Die erreichbare Pegelreduktion wurde unmittelbar nach dem Einsatz der Unterhaltmassnahmen ermittelt und die akustischen Dauerhaftigkeit der Massnahmen wurde bestimmt.
- + Es erfolgte eine Kategorisierung und Bewertung in Abhängigkeit der realisierten Wirkungszunahme der verschiedenen Unterhaltmassnahmen.
- + Belagstypspezifische Empfehlungen für den betrieblichen Unterhalt von leisen Strassenbelägen wurden eruiert, mit dem Ziel, die akustische Wirkung dieser Beläge dauerhaft zu verbessern.

Allerdings wurde aufgrund der analysierten Daten ersichtlich, dass die erreichbare Pegelreduktion durch effiziente Reinigungsmassnahmen auf lärmarmen Belägen gering ausfällt. Aus diesem Grund wurden die ursprünglich geplanten Folgemessungen, welche die akustische Dauerhaftigkeit der Reinigungsmassnahmen hätten evaluieren sollen, nicht durchgeführt.

Folgerungen und Empfehlungen:

- + Aufgrund der geringfügigen Wirkung auf die lärmreduzierenden Eigenschaften sollte die Planung des Reinigungsunterhalts von lärmarmen Belägen auf sorgfältigen Kosten/Nutzen-Analysen basieren.
- + Auf 4 mm Belägen wird empfohlen die Reinigungsverfahren Sprühbalken oder Rotoplast jeweils mit Absaugvorrichtung einzusetzen.
- + Auf 8 mm Belägen wird empfohlen das Reinigungsverfahren Sprühbalken mit Absaugvorrichtung anzuwenden.
- + Generell aber insbesondere bei älteren Belägen sollte sichergestellt werden, dass durch die Anwendung von Hochdruckreinigungsverfahren zu keiner Beschädigung der Belagsoberfläche kommt.

Publikationen:

Neben der Publikation des Forschungsberichts in der Mobilityplattform wird ein Beitrag für eine internationale Konferenz sowie ein Artikel in der Zeitschrift "Strasse und Verkehr" angestrebt.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Ziegler

Vorname: Toni

Amt, Firma, Institut: VR-Präsident, Grolimund + Partner AG

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:

Hauptziel der Forschungsarbeit war eine quantitative Bestimmung der Verbesserung der akustischen Wirkung lärmarmen Strassenbeläge im Innerortsbereich, welche durch Reinigungsmassnahmen erreicht werden können. Grundsätzlich konnte mit keiner der Reinigungsart (Kehren, Rotoplast und Sprühbalken) die akustische Wirkung der getesteten Beläge spürbar verbessert werden (maximal gemessene Verbesserung 0.8 dB(A)). Beläge mit einer Körnung von maximal 4 mm wiesen eine etwas stärker spürbare Verbesserung der akustischen Wirkung auf als solche mit einer 8er-Körnung. Die maximal gemessenen Verbesserungen konnten nach dem Einsatz des Rotoplast (bei 4er-Körnung) und mit dem Sprühbalken (bei 4er und 8er-Körnung) erreicht werden. Das Kehren brachte keine Verbesserung der akustischen Eigenschaften. Obwohl ein geringfügiger Reinigungseffekt bezüglich der lärmreduzierenden Eigenschaften erzielt werden konnte, war es nicht möglich die genaue Lage des Schmutzeintrages in das Porengefüge des Strassenbelages zu eruieren.

Umsetzung:

Mit dem aktuellen Stand der Reinigungstechniken ist es nicht möglich eine Verbesserung oder Wiederherstellung der akustischen Eigenschaften eines Belages zu erreichen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Als Fokus zukünftiger Forschungsanstrengungen sollte die genaue Lage und Eigenschaften des eingetragenen Schmutzes analysiert werden.

Einfluss auf Normenwerk:

keiner

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Seiler

Vorname: Luzia

Amt, Firma, Institut: ASTRA

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

29.2.16

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (Dienstleistungen --> Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare) heruntergeladen werden.