



# **Forschungspaket: Lärmarme Be- läge innerorts**

## **EP3: Betrieb und Unterhalt lärm- armer Beläge**

**Projet de recherche: Revêtements peu bruyants à  
l'intérieur des localités.**

**EP3: Exploitation et entretien de revêtements peu  
bruyants**

**Research Project: Low-noise Pavements in Urban Areas**

**EP3: Operations and Maintenance of Low-noise Pavements**

**WIFpartner AG, Zürich**

**Richard Staubli, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Wirtsch.-Ing. STV**

**Jennifer Dreyer, Dr. sc. ETH, Dipl.-Ing. TU, Dipl.-Wirtsch. Ing. FH**

**Marion Rutsche, Dr. phil. II, dipl. phys. ETH, BBA**

**Forschungsauftrag ASTRA 2010/012 auf Antrag des  
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

## Impressum

### **Forschungsstelle und Projektteam**

#### **Projektleitung**

Richard Staubli, Dipl. Bauing. ETH/SIA, Wirtsch.-Ing. STV

#### **Mitglieder**

Jennifer Dreyer, Dr. sc. ETH, Dipl.-Ing. TU, Dipl.-Wirtsch.Ing. FH

Marion Rutsche, Dr. phil. II, dipl. phys. ETH, BBA

### **Begleitkommission**

#### **Präsidentin**

Luzia Seiler

#### **Mitglieder**

Sabine Roos

Hans-Peter Beyeler

Gregor Schguanin

Alain Jacot

André Magnin

Oliver Jacobi

Benedikt Eberle

Cyril Durussel

Hanspeter Gloor

Gouneaud Nicolas

Martin Bürgi

Benedikt Koch

### **KO-Finanzierung des Forschungsauftrags**

Bundesamt für Umwelt, Abteilung Lärmbekämpfung

### **Antragsteller**

Bundesamt für Strassen ASTRA

### **Bezugsquelle**

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

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
	<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>7</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>11</b>
1.1	Anlass und Problemstellung.....	11
1.1.1	Strassenlärm in der Schweiz .....	11
1.1.2	Lärmarme Beläge als Lösung.....	11
1.1.3	Bedeutung des Unterhalts.....	12
1.2	Ziel und Ergebnis des Forschungsprojektes .....	12
1.3	Organisation, Beteiligte und Interviewpartner .....	13
1.3.1	Organisation und Beteiligte .....	13
1.3.2	Interviewpartner .....	14
1.4	Vorgehen in Arbeitsschritten.....	16
1.4.1	Schritt 1: Bildung Belagskategorien .....	16
1.4.2	Schritt 2: Recherche Unterhaltsverfahren.....	17
1.4.3	Schritt 3: Verfahrensbeurteilung und -auswahl .....	17
1.4.4	Schritt 4: Effizienz der ausgewählten Verfahren .....	17
1.4.5	Schritt 5: Auswertung und Empfehlungen.....	17
1.5	Aufbau des Forschungsberichtes.....	17
<b>2</b>	<b>System „Unterhalt lärmarme Beläge“</b> .....	<b>18</b>
2.1	Gegenstand der Untersuchung .....	18
2.1.1	Strassenverkehrsanlage .....	18
2.1.2	Beläge .....	18
2.1.3	Geschwindigkeitsbereich.....	19
2.1.4	Betrieblicher Unterhalt .....	19
2.2	Definition lärmarme Beläge.....	19
2.2.1	Schweiz.....	19
2.2.2	Deutschland.....	20
2.2.3	Niederlande .....	20
2.3	Systembildung.....	21
2.3.1	Systemischer Ansatz / Ursache-Wirkungs-Prinzip .....	21
2.3.2	Wirkungsweise lärmarmen Beläge .....	21
2.3.3	Zielgrösse und Betrachtungsebenen für den geeigneten Unterhalt während des Lebenszyklus.....	23
<b>3</b>	<b>Kategorisierung lärmarme Beläge</b> .....	<b>27</b>
3.1	Ziel der Kategorisierung.....	27
3.2	Massgebende Parameter .....	27
3.2.1	Hohlraumgehalt.....	27
3.2.2	Wasserdurchlässigkeit .....	28
3.2.3	Rauigkeitstiefe.....	29
3.3	Bildung der Belagskategorien.....	30
3.3.1	Theoretisch mögliche Parameterkombinationen.....	30
3.3.2	Plausibilitätsprüfung .....	31
3.3.3	Bildung der Kategorien .....	33

3.4	Referenzbeläge .....	35
<b>4</b>	<b>Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren .....</b>	<b>36</b>
4.1	Ziel und Vorgehen .....	36
4.2	Äussere Einwirkungen .....	37
4.2.1	Verschmutzung .....	37
4.2.2	Schnee / Eis.....	37
4.2.3	Belagsschäden.....	38
4.3	Unterhaltsverfahren (UV) innerorts .....	41
4.3.1	Reinigung .....	41
4.3.2	Winterdienst.....	42
4.3.3	Kleiner baulicher Unterhalt .....	43
4.4	Weg 1: Qualitative Herleitung .....	45
4.4.1	Bewertungssystematik .....	45
4.4.2	Sollzustand .....	48
4.4.3	Istzustand nach äusseren Einwirkungen.....	48
4.4.4	Istzustand nach Anwendung des Unterhaltsverfahrens.....	51
4.5	Weg 2, 3 und 4: Literatur, Experten, Praxis .....	65
4.5.1	Reinigung .....	65
4.5.2	Winterdienst.....	69
4.5.3	Kleiner baulicher Unterhalt .....	75
4.6	Finanzielle Aspekte .....	82
4.6.1	Ziel .....	82
4.6.2	Datenbasis .....	82
4.6.3	Organisation betrieblicher Unterhalt in Gemeinden und Städten .....	82
4.6.4	Systematik der Kosten .....	83
4.6.5	Kosten im betrieblichen Strassenunterhalt .....	84
4.6.6	Beispielgemeinden .....	85
4.6.7	Prozessbeschreibung betrieblicher Unterhalt in Gemeinden und Städten .....	87
4.6.8	Kostenanalyse Reinigung.....	89
4.6.9	Kostenanalyse Winterdienst.....	90
4.6.10	Kostenanalyse kleiner baulicher Unterhalt.....	93
4.6.11	Kosten Beispielgemeinden betrieblicher Strassenunterhalt.....	96
<b>5</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>98</b>
5.1	Empfohlene Unterhaltsverfahren.....	98
5.2	Strategische und planerische Ansätze .....	111
5.2.1	Streckenwahl .....	111
5.2.2	Planung / Koordination.....	111
5.2.3	Konstruktionsweise.....	111
5.2.4	Einbau .....	113
5.3	Kritische Würdigung und Ausblick.....	114
	<b>Anhänge.....</b>	<b>117</b>
	<b>Abkürzungen.....</b>	<b>165</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>167</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>174</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>175</b>
	<b>Projektabschluss.....</b>	<b>177</b>
	<b>Verzeichnis der Forschungsprojekte.....</b>	<b>182</b>

## Zusammenfassung

Mehr als 80% der von Strassenlärm über den Immissionsgrenzwerten betroffenen Menschen leben an Innerortsstrecken. Um die Lärmbelastung innerorts zu reduzieren macht der Gesetzgeber zwei Vorgaben:

- Das Umweltschutzgesetz sieht in Art. 11 vor, dass Lärm grundsätzlich durch Massnahmen an der Quelle zu begrenzen ist.
- Die Lärmschutzverordnung verlangt die Lärmsanierung aller Haupt- und übrigen Strassen bis 31. März 2018.

Lärmarme (lärmmindernde) Belägen stellen innerorts oft die einzige strassenseitig realisierbare Massnahme und gleichzeitig eine wirksame Massnahme zur Lärmreduktion an der Quelle dar. Im Vergleich zu herkömmlichen wirken lärmarme Beläge lärmreduzierend bei der Entstehung des Reifen-Fahrbahngeräusches.

Die positiven Erfahrungen mit den Neuentwicklungen aus vorangegangenen Projekten haben die Bundesämter ASTRA und BAFU dazu bewogen, ein Forschungspaket zum Thema „Lärmarme Beläge innerorts“ zu starten. Ziel des Forschungspaketes „Lärmarme Beläge innerorts“ mit vier Teilprojekten (TP1: Forschung und Innovation, TP2: Test und Validierung, TP3: Langzeitüberwachung, TP4: Impulsprogramm) ist es [1],

- den Einsatz lärmarmen Strassenbelägen 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.

Die erste Etappe dieses Forschungspaketes „TP1: Forschung und Innovation“ besteht aus fünf Einzelprojekten, zu denen das Forschungsprojekt „EP3: Betrieb und Unterhalt von lärmarmen Belägen“ gehört, dessen Ergebnisse in diesem Forschungsbericht vorgestellt werden.

Ziel des Forschungsprojekts EP 3 „Betrieb und Unterhalt lärmarmen Belägen innerorts“ ist die Untersuchung und Auswahl geeigneter Verfahren für den betrieblichen Unterhalt von lärmarmen Belägen innerorts.

Da systematische, quantitative Messungen der akustischen Wirkung eines Unterhaltsverfahrens auf lärmarme Beläge nicht vorliegen<sup>1</sup> und im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen sind, erfolgt die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren auf Basis systematischer, empirisch-qualitativer Erkenntnisgewinnung in drei Etappen. (Die erforderlichen Grundlagen sind in Kapitel 2 dargestellt.)

Ziel von Etappe 1 (Kapitel 3) ist es, lärmarme Beläge anhand für den Unterhalt ähnlicher Eigenschaften in Gruppen (Belagskategorien) einzuteilen, um geeignete Unterhaltsverfahren für die einzelnen Belagskategorien aufzeigen zu können. Die Kategorisierung erfolgt anhand ausgewählter Parameter. Das Ergebnis sind die vier Belagskategorien: „Poröse Beläge“ (Kat. 1), Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge (Kat. 2), „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ (Kat. 3) und „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“ (Kat. 4).

In Etappe 2 (Kapitel 4) wird eine Recherche der existierenden Unterhaltsverfahren je Tätigkeitsbereich (Reinigung, Winterdienst, kleiner baulicher Unterhalt) vorgenommen. Weiterhin werden die durch äussere Einwirkungen veränderten Belagszustände (Zustandsänderungen) im Vergleich zum Einbauzustand anhand des Systems „Lebenszyklus lärmarme Beläge“ definiert. Es folgt die Beurteilung, welche Unterhaltsverfahren bei welchen veränderten Belagszuständen der lärmarmen Beläge geeignet sind und dies je Kategorie anhand von Referenzbelägen. Die Beurteilung der Verfahren erfolgt auf drei Betrachtungsebenen („technisch-mechanisch“, „akustisch“ und „betrieblich“) und auf vier Wegen:

- qualitative Herleitung,

<sup>1</sup> Ausnahme: Untersuchung der Verschmutzung von Belägen der Kategorie 1 (offenporige, wasserundurchlässige, „poröse“ Beläge) durch die TU München (Simulationen, Teststrecken) [2].

- Literaturangaben,
- Expertenaussagen,
- Angaben zur Handhabung der Referenzbeläge in der Praxis.

Als weitere Betrachtungsebene werden die Kosten für den Unterhalt lärmarmen Beläge untersucht (Betrachtungsebene „finanziell“). Dies geschieht auf der Grundlage der Entwicklung der bestehenden Unterhaltskosten für das gesamte Strassennetz bei einem Einsatz von lärmarmen Belägen in Gemeinden und Städten. Die Mehrkosten im betrieblichen Unterhalt betragen für poröse Beläge der Kategorie 1 bis zu 20 %, für die übrigen drei Kategorien 2 bis 4 bis zu 3 %.

Etappe 3 (Kapitel 5) stellt die Ergebnisse, das heisst die aus technisch-mechanischer, akustischer, betrieblicher und finanzieller Sicht empfohlenen Unterhaltsverfahren, für die veränderten Belagszustände je Belagskategorie, tabellarisch dar. Die Anwendung dieser Tabellen ist praxisorientiert und sehr einfach: Zuerst wird der lärmarme Belag anhand seiner Parameter einer Belagskategorie zugeordnet. Dann kann in der entsprechenden Tabelle abgelesen werden, welche Unterhaltsverfahren bei welchem Belagszustand anzuwenden sind. Die entwickelten Empfehlungen sind damit sowohl für existierende lärmarme Beläge als auch für mögliche Neuentwicklungen anwendbar. Die Tabellen sind das zentrale Ergebnis dieser Forschungsarbeit. Es konnte aufgezeigt werden, dass für einen Grossteil der lärmarmen Beläge (Ausnahme: poröse Beläge, Kat. 1) bei allen untersuchten Zustandsänderungen eine ausreichende Anzahl an geeigneten Unterhaltsverfahren zur Verfügung stehen und welche Verfahren bei der jeweiligen Zustandsänderung je Kategorie als geeignet anzusehen sind. Die Tabellen ermöglichen es Praktikern, lärmarme Beläge einzusetzen und sie zu einem grossen Teil mit gängigen Unterhaltsverfahren zu unterhalten und zu erhalten.

Die Auswertungen dieses Projekts ermöglichen aus Sicht des betrieblichen Unterhalts vereinfachend zwei Aussagen zum Einsatz von lärmarmen Belägen innerorts:

- Lärmarme Beläge der Kategorie 1 „porös“:
  - akustische Wirkung kann durch Unterhalt nicht langfristig sichergestellt werden
  - besondere Anforderung bei der Anwendung bestimmter Verfahren
  - teilweise Spezialverfahren/Spezialgeräte erforderlich
  - Unterhalt organisatorisch aufwendiger in Gemeinde zu integrieren
  - relativ hohe Mehrkosten (bis zu 20%) im Vergleich zu herkömmlichen Belägen

#### **Einsatz innerorts nicht prioritär**

- Lärmarme Beläge der Kategorien 2 „wasserundurchlässig, hohlraumreich“, 3 „wasserundurchlässig, mit grober Textur“ und 4 „wasserundurchlässig, mit feiner Textur“
  - akustische Wirkung relativ unabhängig vom Unterhalt
  - keine besondere Anforderung bei der Anwendung bestimmter Unterhaltsverfahren
  - keine Spezialverfahren erforderlich; Spezialgeräte bedingt erforderlich
  - Unterhalt organisatorisch einfach einzubinden
  - geringe Mehrkosten (bis zu 3%)

#### **Einsatz innerorts vielversprechend**

## Résumé

Plus de 80% des personnes exposées à du bruit résultant de la circulation routière et qui dépasse les valeurs limites vivent à l'intérieur des localités. Afin de réduire le niveau sonore à l'intérieur des localités, les autorités législatives disposent de deux conditions cadre :

- Le bruit est limité en principe par des mesures prises à la source (limitation des émissions), selon l'art. 11 de la « Loi fédérale sur la protection de l'environnement ».
- L'assainissement et les mesures d'isolation acoustique doivent être réalisées jusqu'au 31 mars 2018 au plus tard pour les routes principales et les autres routes, comme prévu par l'art. 17 de la « Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) ».

Dans les localités, les revêtements peu bruyants (qui agissent à l'origine des émissions sonores) sont souvent la seule mesure réellement efficace qui peut être mise en place pour chaussée. Par rapport aux revêtements traditionnels, les revêtements peu bruyants atténuent le bruit émis dans la zone de contact entre pneus et chaussée.

Les expériences positives obtenues en matière de réalisation de revêtements peu bruyants dans des projets précédents ont convaincu l'OFROU et l'OFEV de soutenir conjointement un programme de recherche « Revêtements peu bruyants à l'intérieur des localités ». L'objectif global de ce programme, qui comprend quatre projets partiels (TP1 : Recherche et innovation, TP2 : Validation, TP3 : Monitoring (long terme) et contrôle de l'aboutissement et TP4 : Programme d'impulsion), est de :

- promouvoir l'utilisation des revêtements peu bruyants et favoriser leurs développement ;
- promouvoir l'acceptation des revêtements peu bruyants et favoriser une relation « win-win » avec les propriétaires des routes.

Le premier projet partiel, consacré à la recherche et à l'innovation (TP1), comprend cinq sous-projets, dont un intitulé « Exploitation et entretien de revêtements peu bruyants » (EP3). Ce sont les résultats du EP3 qui sont l'objet du présent rapport.

L'objectif du EP3 est l'évaluation et la sélection de méthodes d'exploitation et d'entretien appropriées aux caractéristiques des revêtements peu bruyants.

En l'absence de mesures quantitatives systématiques de l'effet des méthodes d'entretien sur les qualités phoniques des revêtements peu bruyants et du fait que de telles mesures quantitatives ne sont pas prévues dans ce projet, la sélection des méthodes s'est fait selon une méthode qui comprenait trois grandes étapes et est décrite au chapitre 2 du présent rapport.

L'étape 1 (chapitre 3) avait pour objectif de répartir les revêtements peu bruyants dans des catégories qui présenteraient des caractéristiques similaires en terme d'entretien, ceci afin de pouvoir attribuer à chaque catégorie les techniques d'entretien les plus adaptées. On a ainsi défini, à partir de différentes caractéristiques techniques, quatre catégories de revêtements peu bruyants: « Revêtements poreux » (cat. 1), « Revêtements imperméables à forte teneur en vide » (cat. 2), « Revêtements imperméables à texture grossière » (cat. 3) et revêtements imperméables à texture fine » (cat. 4).

L'étape 2 (chapitre 4) a consisté à établir une liste des méthodes d'entretien existantes en les regroupant par domaines d'activité (nettoyage, service hivernal, petit entretien constructif), puis à procéder à leur évaluation et à leur attribution aux catégories. Pour chacun de ces domaines, on a aussi défini l'état (sur la base d'une étude du "cycle de vie de revêtements silencieux") dans lequel le revêtement peut se trouver quand on envisage de procéder à son entretien.

L'évaluation s'est d'abord focalisée sur les aspects technico-mécaniques, acoustiques et ceux liés à l'exploitation. Elle a été menée selon quatre angles d'attaque :

- déduction qualitative,
- données de la littérature,

- enquête auprès d'experts,
- données issues d'expérience pratique pour les revêtements de référence.

On a complété cette évaluation en y intégrant les aspects financiers. Menée au niveau des réseaux routiers de communes ou de villes, l'analyse repose sur l'influence que l'introduction de revêtement peu bruyants aurait sur les coûts d'entretien en général. Au niveau du réseau, les frais supplémentaires engendrés par l'introduction de revêtements peu bruyants atteignent jusqu'à 20 % pour la catégorie 1, mais restent limités à 3 % pour les catégories 2 à 4.

L'étape 5 (chapitre 5) synthétise les résultats qui sont présentés dans des tableaux concernant pour chaque catégorie de revêtement les méthodes d'entretien conseillées, avec mention des évaluations technico-mécanique, acoustique, liée à l'exploitation et financière) et la prise en compte de leur état. Destinées avant tout aux praticiens, la lecture de ces tableaux est très intuitive et doit faciliter la mise en pratique des recommandations résultants du présent travail de recherche. Pour les utiliser, il suffit de classer le revêtement concerné dans une des quatre catégories en fonction de ses caractéristiques, puis de choisir, dans le tableau correspondant, la méthode la mieux adaptée. Les recommandations qui figurent dans les tableaux peuvent être appliquées aussi bien à des revêtements peu bruyants existants qu'à des éventuelles nouveautés dans ce domaine. Elles soulignent aussi qu'un grand nombre de méthodes traditionnelles peuvent être utilisées pour des revêtements peu bruyants (à l'exception de la catégorie 1).

Les résultats de ce projet permettent de faire, du point de vue de l'entretien, deux considérations concernant l'utilisation de revêtements peu bruyant à l'intérieur des localités:

- Revêtements peu bruyant de la catégorie 1 (poreux):
  - l'effet acoustique ne peut pas être assuré à long terme avec l'entretien;
  - il y a des exigences particulières pour l'application de certaines méthodes;
  - des méthodes spéciales et équipements spéciaux sont nécessaires;
  - intégrer l'entretien de ces revêtements dans l'organisation globale de l'entretien n'est pas toujours aisé;
  - les coûts d'entretien supplémentaires relativement élevés (jusqu'à 20%)

**L'utilisation de ces revêtements à l'intérieur des localités n'est pas conseillée.**

- Revêtements peu bruyants des catégories 2 à 4 :
  - l'effet acoustique est relativement indépendant de l'entretien;
  - il n'y a pas d'exigences spécifiques dans l'application des méthodes d'entretien;
  - aucune procédure particulière nécessaire, un équipement spécial parfois nécessaire;
  - facile à intégrer dans l'organisation globale des travaux d'entretien;
  - coûts d'entretien supplémentaires limités (allant jusqu'à 3%).

**L'utilisation de ces revêtements à l'intérieur des localités est à encourager.**



## Summary

Many people are exposed to road noise above legal immission limits. More than 80% of them live along urban roads.

To reduce the urban noise exposure, the legal authorities direct two specifications:

- The Environmental Protection Act provides in Article 11, that noise has to be restricted by source control measures.
- The Noise Protection Regulations request noise rehabilitation measures of all main and other roads until March 31st 2018

Low-noise surfaces are often the only possible rehabilitation measure on urban roads and at the same time an effective measure to reduce noise at the source. Compared to conventional surfaces low-noise surfaces reduce the appearance of noise during the contact of the tire and the surface.

The positive experiences with new developments in previous projects have induced the federal agencies ASTRA and BAFU to start a research package on the subject "Low-noise surfaces in urban areas". Following are the key aims for the four subprojects (TP1: Research and Innovation, TP2: Test and Validation, TP3: Long-Term-Monitoring, TP4: program of impulse):

- to promote the use of low-noise surfaces and initialize further developments
- to enforce the acceptance of low-noise surfaces and achieve a win-win-situation with affected owners of urban road networks

The first stage of the research package "TP1: Research and Innovation" consists of five separate subprojects, the results of the research project „EP3: Operations and Maintenance of Low-Noise Road Surfaces within the Urban Area" are presented in this research report.

Aim of the research project EP 3 is the analysis and evaluation of appropriate methods for the operational maintenance of low-noise surfaces in urban areas.

Since systematical, quantitative noise-level tests on the acoustic effect of maintenance methods are not existing and are not within the scope of this project, the selection of proper maintenance methods is based on a systematical, empirical-qualitative gaining of knowledge in three steps. (The basic principles are shown in chapter 2 of this report).

The aim of step one (chapter 3) is to qualify similar properties of low-noise surfaces and divide those into categories related to the maintenance in order to identify appropriate maintenance methods for each surface category. The categorization is based on selected parameters. As a result four surface categories were formed: "porous (cat. 1)", "water-impermeable with a high volume of pores (cat. 2)", "water-impermeable with a rough texture (cat. 3)" and "water-impermeable with a smooth texture (cat. 4)".

Step two (chapter 4) deals with a research of the existing maintenance methods concerning each area of activity (cleaning, winter services and maintenance repairs). Furthermore the condition of the surface is to be studied at the time of its placement (nominal condition) and subsequent to external influences (actual condition) based on the system "Life-cycle of low-noise surfaces". Furthermore there is an assessment of appropriated maintenance methods for different low-noise surface conditions considering each category according to reference surfaces. The evaluation is carried out on three levels of consideration (technical; acoustical; operational). It takes into account four methods:

- Qualitative derivation
- Literature research
- Expert assessments
- Practical experiences on the handling of reference surfaces in practice

As an additional level of consideration, the costs of maintaining low-noise surfaces are analyzed in reference to maintenance costs of the whole urban road network. The addi-

tional costs can be taxed up to 20% for porous surfaces (cat. 1) and up to 3% for surfaces of category 2, 3 and 4.

In step 3 (chapter 5) the results of appropriate maintenance methods per category and condition state based on technical, acoustical and operational aspects are illustrated in charts. The application of the charts is practical and easy: First the low-noise-surface is allocated to a category by its parameters. Then the corresponding chart shows the maintenance methods that shall be followed varying by the condition state. The resulting recommendations are applicable to both existing low-noise surfaces and for potential new developments. The charts are the central result of the research project. It could be illustrated that a sufficient number of appropriate maintenance methods are available for a majority of low-noise surfaces (except category 1, porous) and for all conditions states. The charts enable practitioners to apply low-noise surfaces and to maintain them by common maintenance methods.

The analysis allows two simplifying statements related to the use of low-noise surfaces in urban areas:

- Low-noise surfaces of category 1 (porous):
  - long-term acoustical performance cannot be ensured by maintenance
  - There are specific requirements in the appliance of maintenance methods
  - special methods are required and specific machines are partially needed
  - maintenance organization may be difficult to integrate into existing maintenance procedures
  - relatively high additional costs up to 20% compared to conventional surfaces

#### **Urban application is not prioritized**

- Low-noise surfaces of categories 2, 3 and 4:
  - acoustic performance independent of maintenance
  - no specific requirements in the appliance of maintenance methods
  - no special methods are needed / special machines limited needed
  - easy to integrate maintenance organization into the existing maintenance procedures
  - low additional costs up to 3% in comparison to conventional surfaces

#### **Urban application promising**

# 1 Einleitung

## 1.1 Anlass und Problemstellung

### 1.1.1 Strassenlärm in der Schweiz

Der Strassenverkehr ist eine bedeutende Lärmquelle in der Schweiz. Tagsüber sind 16% der Bevölkerung Strassenverkehrslärm ausgesetzt, nachts 10% ([3], S.6).

Im Jahr 2007 betragen die Lärmkosten des Strassenverkehrs in der Schweiz rund 1.1 Milliarden CHF, Tendenz steigend [4, 5]. Die Lärmkosten setzen sich zusammen aus Mietzinsausfällen und Gesundheitskosten:

- Mietzinsausfälle:  
Belärmte Wohnungen werden weniger nachgefragt als vergleichbare Wohnungen in ruhig gelegenen Gebieten und bringen daher eine niedrigere Miete ein ([4], Z-3).
- Gesundheitskosten:  
Menschen erkranken aufgrund von Strassenlärm ([4], Z-4).

Der Lärmschutz der Bevölkerung in der Schweiz ist in der Lärmschutzverordnung (LSV) geregelt. Die LSV verpflichtet die Strasseneigentümer dazu, über bestimmte Grenzwerte Lärm verursachende Strassenabschnitte zu sanieren ([6], Art. 13). Bis 31. März 2018 müssen die „Hauptstrassen“ und die „Übrigen Strassen“ in der Schweiz lärmsaniert sein ([6], Art. 17 Abs. 4).

### 1.1.2 Lärmarme Beläge als Lösung

Gemäss Umweltschutzgesetz ist Lärm durch Massnahmen an der Quelle zu begrenzen, soweit dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Strassen, die den Vorschriften nicht genügen, unterstehen der Sanierungspflicht ([7], Art. 11, 16).

Periodische Erhebungen des BAFU zeigen, dass die bisherigen Massnahmen zur Strassenlärmbekämpfung bei den „Hauptstrassen“ [8] und den „Übrigen Strassen“ vorwiegend bei der Vermeidung der Lärmausbreitung (Lärmschutzwände) und beim Schallschutz der Gebäude (Schallschutzfenster) ansetzen ([9], S. 15, 16).

Um die Bevölkerung jedoch umfassend und wirksam vor übermässigem Lärm zu schützen (bspw. auch im offenen Raum), sind reine Massnahmen zur Vermeidung der Lärmausbreitung und zum Schallschutz als unzureichend anzusehen. Strassenlärm sollte mittels Massnahmen an der Quelle bekämpft werden [7], [10].

Eine Massnahme an der Quelle sind lärmarme Strassenbeläge [11]. Sie wirken flächendeckend und sind – pro Person und pro dB Lärmreduktion gerechnet – um ein vielfaches kostengünstiger als beispielsweise Lärmschutzwände (Abbildung 1) ([12], S.32).

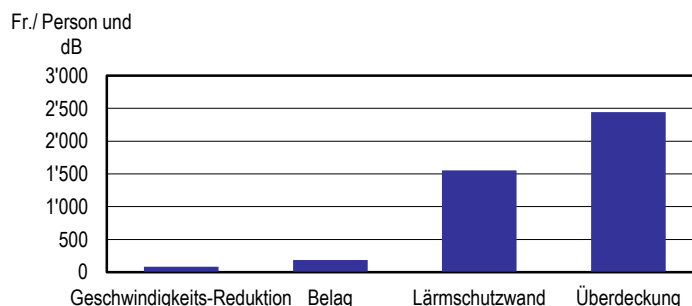


Abbildung 1: Kosten von Lärmschutzmassnahmen ([12], S.32)

Im Rahmen des Forschungsprojekts des Bundes „Lärmarme Strassenbeläge innerorts“ geben BAFU (ehemals BUWAL) und ASTRA seit 2007 konkrete Empfehlungen zur Rezeptur und zum Einbau von lärmarmen Strassenbelägen im Niedriggeschwindigkeitsbereich bis 60 km/h, um den Einsatz lärmarmen Beläge innerorts zu fördern [1].

### 1.1.3 Bedeutung des Unterhalts

In der Praxis herrschen Vorbehalte gegenüber dem Einsatz von lärmarmen Belägen, die oft durch eine zu geringe technisch-mechanische und akustische Lebensdauer sowie einen kostenintensiven Unterhalt begründet werden.

Für Gemeinden und Städte in der Schweiz gibt es zurzeit noch wenig Erfahrungen und keine Empfehlungen über einen geeigneten Unterhalt lärmarmen Beläge. Die Angst in der Praxis besteht, dass ein Belag im Rahmen des kommunalen Unterhalts möglicherweise mit einem ungeeigneten Unterhaltsverfahren behandelt wird, so dass seine lärmindernden und/oder seine technisch-mechanischen Eigenschaften eingeschränkt oder aufgehoben werden könnten. Dies hätte Reparaturen oder den Ersatz weit vor dem möglichen Ende der Lebensdauer eines Belages und somit erhöhte Kosten zur Folge.

Für den Unterhalt von lärmarmen Belägen sind daher Empfehlungen erforderlich, welche dazu beitragen, dass

- Vorbehalte gegenüber lärmarmen Belägen abgebaut werden,
- lärmarme Beläge vermehrt eingesetzt werden,
- lärmarme Beläge durch einen geeigneten Unterhalt während ihrer ganzen Lebensdauer technisch-mechanisch und akustisch wirksam sind.

## 1.2 Ziel und Ergebnis des Forschungsprojektes

Im Jahr 2003 wurden vom ASTRA zwei Forschungsprojekte zum Thema „Lärmarme Beläge im Niedriggeschwindigkeitsbereich“ initiiert. Darin wurden lärmarme Beläge anhand von ausgewählten bestehenden Strecken und neu eingebauten Teststrecken in der Schweiz untersucht [1]. 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 [1].

Ziel des Forschungspaketes „Lärmarme Beläge innerorts“ ist es [1],

- den Einsatz lärmarmen 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.

Ziel des Forschungsprojektes EP 3 als Teilprojekt des Forschungspaketes „Lärmarme Beläge innerorts“ ist es, die spezifischen Besonderheiten für Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge innerorts zu identifizieren. Es sind Lösungsansätze zu erarbeiten, welche geeignete Unterhaltsverfahren, deren Ausführungsintensität und -frequenz sowie die organisatorische Einbindung des Unterhalts im kommunalen Strassennetz aufzeigen [13]. Ergebnis dieses Forschungsprojektes EP 3 sind Empfehlungen für den Unterhalt von lärmarmen Strassenbelägen.

## 1.3 Organisation, Beteiligte und Interviewpartner

### 1.3.1 Organisation und Beteiligte

Das Forschungspaket „Lärmarme Beläge innerorts“ ist in drei Teilprojekte untergliedert (Abbildung 2):

- TP1: Forschung und Innovation
- TP2: Test und Validierung
- TP3: Langzeitüberwachung

Das Teilprojekt TP1 besteht aus fünf Einzelprojekten [1]:

- EP1: Rezepturen und Zusammensetzung von lärmarmen Belägen
- EP2: Labortechnische Bestimmung der akustischen Dauerhaftigkeit eines Strassenbelages
- EP3: Betrieb und Unterhalt von lärmarmen Belägen
- EP4: Labormethoden für die Bestimmung der akustischen Eigenschaften eines lärmarmen Belages
- EP5: Verbesserung des Genauigkeitsgrades akustischer Messmethoden

Weitere Einzelprojekte sollen in einer zweiten Phase definiert und bearbeitet werden.

Der vorliegende Bericht umfasst die Ergebnisse des „EP3: Betrieb und Unterhalt von lärmarmen Belägen“.

Die Einbettung des „EP 3“ innerhalb des Forschungspaketes „Lärmarme Beläge innerorts“ und des Teilprojektes „TP1: Forschung und Innovation“ ist in Abbildung 2 dargestellt.

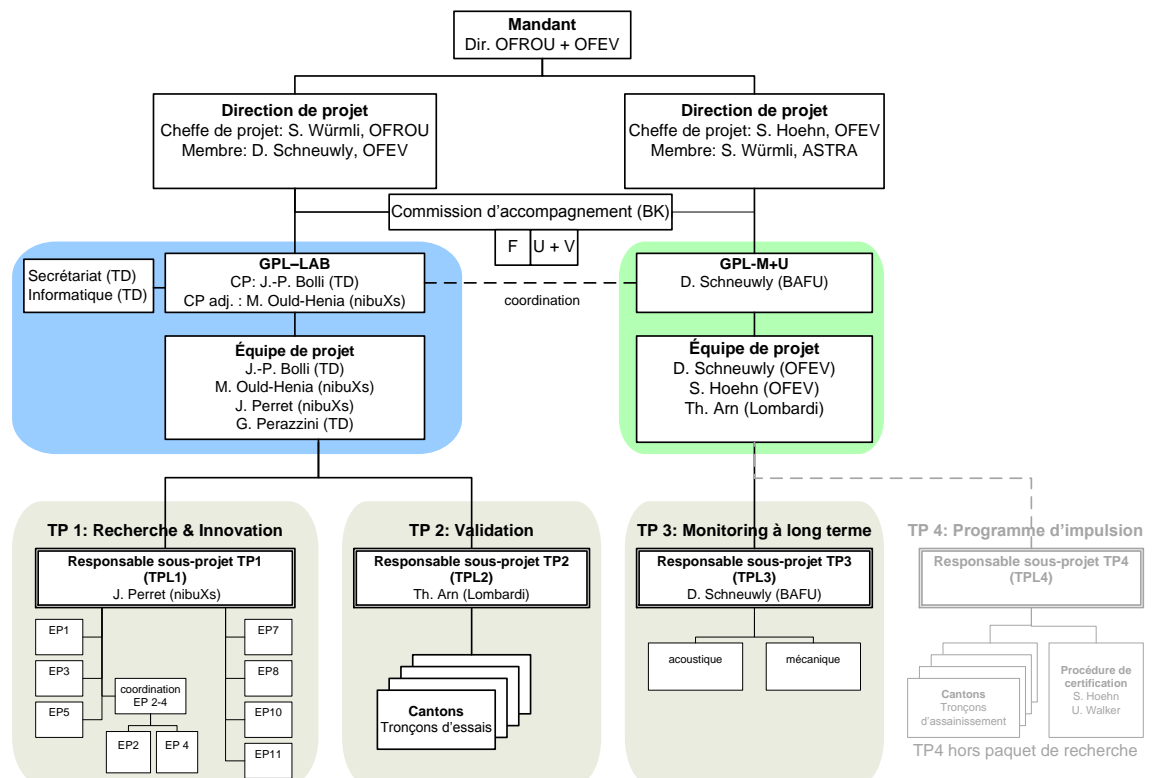


Abbildung 2: Organigramm des Forschungspaketes lärmarme Beläge innerorts

### 1.3.2 Interviewpartner

Die Erkenntnisse dieses Forschungsprojekts basieren massgeblich auf dem Fachwissen von Fachpersonen aus dem In- und Ausland (Tabelle 1). Als Experte im Forschungsteam stand der Materialtechnologe Niklaus Kornmayer von der Prüflabor AG in Mörschwil zur Verfügung. Herrn Kornmayer und allen Interviewpartnern sei an dieser Stelle für ihre fachkundigen und für dieses Projekt ausschlaggebenden Auskünfte herzlich gedankt.

*Tabelle 1: Interviewpartner*

Nachname	Vorname	Firma, Behörde	Position / Funktion
Anet	Christophe	Kanton Freiburg, Tiefbauamt	Sektorchef Lärmschutz
Attenberger	Alexander	Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg (D)	Stellvertretender Referatsleiter
Beckenbauer	Thomas	Müller-BBM Schweiz AG, Basel	Geschäftsführer
Bendtsen	Hans	Road Directorate, Danish Road Institute, Hedehusene (DK)	Senior Researcher, Noise
Beyeler	Hans-Peter	Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern	Fachingenieur Trasseaufbau/-oberbau
Boschung	René	Marcel Boschung AG, Matran	Mitglied der Geschäftsleitung
Brinkman	Gert	Engineering Public Works, Rotterdam (NL)	Senior Adviser Road Construction
Bürgisser	Philipp	impbautest, Oberbuchsitzen	Bereich Forschung
Büttikofer	Roger	Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt	Strassenmeister Kreis I
Cioni	Luca	Gemeinde Wettingen, Werkhof und Entsorgung	Leiter Werkhof
Collaud	Fabrice	Kanton Freiburg, Tiefbauamt	Sektion Strassenprojekte
Cosandey	Laurent	Bundesamt für Umwelt	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Cuénoud	Jean-Louis	Colas Suisse DG SA, Lausanne	Directeur Technique
de Graaff	Erik	m+p raadgevende ingenieurs, ES Vught (NL)	Beratender Ingenieur
Deflorin	Duri	ERZ Entsorgung und Recycling Zürich	Flotten-/ Winterdienstverantwortlicher
Egger	Clauderic	Kanton Freiburg, Tiefbauamt	Leiter Sektion Strassenunterhalt
Engeli	Peter	Stadt Zürich, Polizeidepartement	Logistik Fahrzeuge Schutz und Rettung
Früchting	Heiko	ASI Asphalt Strassen Instandsetzung GmbH, Hamburg (D)	Geschäftsführer
Gassmann	Peter	Wagner + Betontechnik AG	Stellvertreter Leitung Bauabteilung
Geling	Josef	agefa Technik und Vertrieb GmbH	Geschäftsführer
Gerkens	Peter	Bucher Schörling GmbH, Niederweningen	Leiter Produktmanagement
Gloor	Hanspeter	Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt	Leiter Sektion Lärmsanierung
Götzfried	Franz	Südsalz GmbH, Heilbronn (D)	Vorsitzender Ausschuss Salz des Verbandes der Kali- und Salzindustrie
Groenendijk	Jacob	KOAC•NPC Institut für Material- und Fahrbahnüberprüfung	Senior Consultant
Haldimann	Christian	Haldimann AG Transporte, Muldenservice, Entsorgung	Inhaber

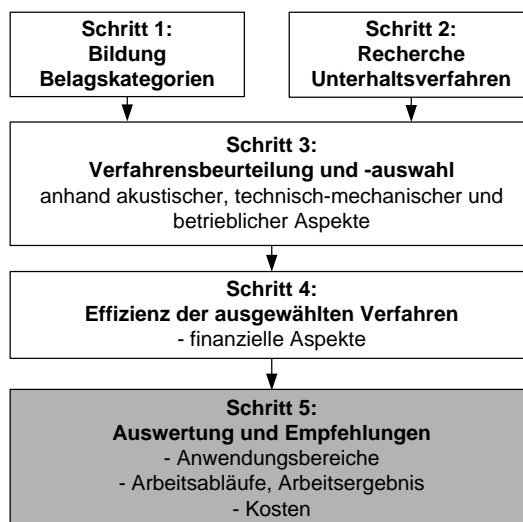
Nachname	Vorname	Firma, Behörde	Position / Funktion
Häring	Wolfgang	Wolfgang Häring Asphalttechnik, Adelsried (D)	Geschäftsführer
Herrmann	Rainer	herrmann+millot GmbH & Co.KG / BIOTEC Deutschland, Karlsruhe (D)	Sachv. für Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung
Horat	Martin	Stadt Zürich, Tiefbauamt	Experte Strassenoberbau
Kamphausen	Heinz	Feuerwehr Düsseldorf (D)	Ölspurbeseitigung
Käser	Martin	Kanton Freiburg, Tiefbauamt	Strassenmeister
Kästli	Andreas	Kanton St. Gallen, Tiefbauamt	Immissionen und Qualität
Kneib	Guido	Müller-BBM Schweiz AG, Basel	Projektleiter Akustik
Künzle	Walter	Kanton Thurgau, Tiefbauamt	Gesamtkoordinator PM Strasse
Kurath	Urs	Kanton St. Gallen, Tiefbauamt	Strassenkreisinspektor
Lachmund	Ulrich	Stadt Ingolstadt (D), Tiefbauamt	Sachbearbeiter & Projektleiter
Lötscher	Daniel	Stadt Baden, Abteilung Tiefbau	Technischer Fachspezialist
Meyer	Udo	Ges. für Abfallwirtschaft und Stadtreinigung mbH (AWISTA), Düsseldorf (D)	Chef Winterdienst
Meyer	Daniel	biotec, Heilbronn (D)	Sachbearbeiter
Mix	Holger	Kutter Spezialstrassenbau, Hanau (D)	Spezialist Rückformen
Molter	Willy	Gummiwerk Kraiburg Elastik GmbH (D)	Area Sales Manager
Mondeel	Dirk	Kutter Spezialstrassenbau, Hanau (D)	Gebietsleiter Schweiz
Morgan	Phil	Transport Research Laboratory (TRL), UK	Senior Consultant, Noise and Vibration Group
Otto	Andreas	Technische Universität Dresden (D)	Prüfstellenleiter
Pfister	René	Franz Pfister AG, Zürich	Geschäftsleiter
Probst	Samuel	Hans Weibel AG, Bern	Verantwortlicher für die Belagswerke
Radenberg	Martin	Ruhr-Universität Bochum (D)	Professor für Verkehrswegebau
Reichart	Urs	Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau (D)	Wissenschaftlicher Angestellter
Riat	Jacques	Kanton Jura, Tiefbauamt	Ponts et chaussées
Riedl	Steffen	Fachhochschule Erfurt (D)	Vorsitzender Prüfungsausschuss Bauingenieurwesen
Rösti	Martin	Kanton Bern, Tiefbauamt	Abteilungsleiter Nationalstrassen Betrieb
Roggwiller	Daniel	REPROAD Ost AG	Bauführer
Sabato	Giuliano	Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt	Kreisingenieur
Sander	Rolf	Amt für Verkehrsmanagement, Düsseldorf (D)	Abteilungsleiter Strassenneubau
Schäfer	Volker	Schäfer Consult, Brake (D)	Beratender Ingenieur, Leiter FGSV-Gremium Offenerporiger Asphalt
Schalbetter	Olivier	Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt	Ingénieur HES
Schmerbeck	Rupert	Autobahndirektion Südbayern (ABD-S)	Erhaltungsmanagement, Strassendatenbank, Bau-/Geotechnik
Schmid	Roland	KUTTER Spezialstrassenbau, Memmingen (D)	Spezialist Fräsen
Schneuwly	Dominique	Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Sigrist	Peter	DIVICO AG • Besondere Bauverfahren	Geschäftsführer
Spöri	Christian	Gebäudeversicherung Kanton ZH Stützpunkte/ABC-Wehr	Bereichsleiter

Nachname	Vorname	Firma, Behörde	Position / Funktion
Staubli	Peter	Kanton Aargau, Department Bau, Verkehr, Umwelt	Strassenmeister
Trachsel	Stefan	Schweizer Rheinsalinen AG, Pratteln	Laborleiter der Rheinsalinen
Ultsch	Michael	ERZ Entsorgung und Recycling Zürich	Leiter Stadtreinigung
Vassiliou	Kyriakos	Institut für Materialprüfung Dr. Schellenberg, Leipheim (D)	Geschäftsführer
Vöckt	Heinz	Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt	Kreisingenieur Kreis I
Voser	Michael	Gemeinde Wettingen, Werkhof	Stv. Leiter Werkhof
Wallner	Johannes	Gmeiner GmbH, Wernberg-Köblitz (D)	Ansprechpartner Engineering
Wanzenried	Walter	Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt	Leiter Fachbereich Belags- und Geotechnik
Weiner	Cyril	Hans Weibel AG	Abteilung Forschung und Entwicklung
Yildiz	Halil	NSNW	Leiter Standort Schafisheim
Zehlicke	Thomas	EBRD GmbH & Co. KG, Bretten (D)	Strassenreinigung und Winterdienst

## 1.4 Vorgehen in Arbeitsschritten

Das Vorgehen im Forschungsprojekt besteht aus fünf Schritten (Tabelle 2). Grundlage ist die Bildung von Belagskategorien (Schritt 1) sowie die Recherche der im kommunalen Strassenunterhalt üblichen Unterhaltsverfahren (Schritt 2). Die Verfahrensauswahl erfolgt auf Basis technisch-mechanischer, akustischer und betrieblicher Aspekte (Schritt 3). Zuletzt werden finanzielle Aspekte geeigneter Unterhaltsverfahren untersucht (Schritt 4), so dass aussagefähige Empfehlungen erarbeitet werden können (Schritt 5).

Tabelle 2: Vorgehen in fünf Schritten



### 1.4.1 Schritt 1: Bildung Belagskategorien

Je nach Wirkungsweise eines lärmarmen Belages sind ggf. unterschiedliche Unterhaltsverfahren erforderlich. Um geeignete Unterhaltsverfahren für lärmarme Beläge untersuchen und auswählen zu können, müssen Kategorien von lärmarmen Belägen mit ähnlichen bzw. gleichen Eigenschaften gebildet werden. Die Kategorienbildung erfolgt aufgrund ausgewählter Parameter, die sowohl die lärmreduzierenden als auch die für den Unterhalt relevanten Eigenschaften eines Belages beschreiben. Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine Kategorisierung lärmarmer Beläge.



#### 1.4.2 Schritt 2: Recherche Unterhaltsverfahren

In diesem Schritt werden existierende Unterhaltsverfahren je Tätigkeitsbereich (Reinigung, Winterdienst, kleiner baulicher Unterhalt) recherchiert. Das Ergebnis dieses Schrittes ist eine Übersicht (Katalog) über die technischen Aspekte der existierenden Verfahren je Tätigkeitsbereich.

#### 1.4.3 Schritt 3: Verfahrensbeurteilung und -auswahl

Schritt 3 umfasst die Beurteilung der existierenden Unterhaltsverfahren bezüglich ihrer Eignung für lärmarme Beläge. Die Eignung wird für drei Betrachtungsebenen (technisch-mechanisch, akustisch und betrieblich) und auf vier Wegen (qualitative Herleitung, Literatur, Experten, Praxis) untersucht. Dies geschieht in zwei Teilschritten:

- Auswahl eines Belages pro Belagskategorie als Referenzbelag
- Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren für die Referenzbeläge repräsentativ für alle Beläge der jeweiligen Belagskategorie

Das Ergebnis dieses Schrittes ist die Beurteilung technisch-mechanisch, akustisch und betrieblich geeigneter Verfahren je Belagskategorie und Tätigkeitsbereich.

#### 1.4.4 Schritt 4: Effizienz der ausgewählten Verfahren

Abschliessend werden die Kosten für den Unterhalt lärmarmen Beläge untersucht (vierte Betrachtungsebene „finanziell“). Im Hinblick auf die Eingliederung des Unterhalts lärmarmen Beläge in ein bestehendes Netz sind dabei nicht die reinen Mehr- oder ggf. auch Minderkosten für den Unterhalt eines lärmarmen Belages im Vergleich zu einem herkömmlichen Belag ausschlaggebend, sondern die Entwicklung der bestehenden Unterhaltskosten in Gemeinden und Städten. Dazu werden die Prozesse und Abläufe im kommunalen Strassenunterhalt dargestellt. Auf dieser Grundlage erfolgen die Kostenanalysen, welche als Ziel evtl. entstehende Mehr- oder Minderkosten für den Strassenunterhalt in der Gemeinde aufzeigen.

#### 1.4.5 Schritt 5: Auswertung und Empfehlungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in Empfehlungen in Form von Tabellen zum Unterhalt lärmarmen Beläge in der Schweiz zusammengefasst.

### 1.5 Aufbau des Forschungsberichtes

Dieser Forschungsbericht besteht aus fünf Kapiteln: Kapitel 1 *Einleitung* umfasst Anlass, Ziel sowie das Vorgehen für diese Forschungsarbeit.

In Kapitel 2 *System „Unterhalt lärmarme Beläge“* wird das der Forschungsarbeit zugrundeliegende System erläutert. Es beinhaltet Definitionen, die Abgrenzung des Systems bezüglich der untersuchten Beläge und Verfahren sowie die Beschreibung der Wirkungsketten als Grundlage für die Systembildung.

Kapitel 3 *Kategorisierung lärmarme Beläge* (Schritt 1 in Tabelle 2) enthält die Entwicklung und Darstellung der Belagskategorien. Grundlage sind ausgewählte Parameter zur Beschreibung der Merkmale von lärmarmen Belägen, die sowohl für die Lärmreduzierung als auch für den Unterhalt eine Rolle spielen.

In Kapitel 4 *Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren* (Schritte 2, 3 und 4 in Tabelle 2) wird die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren für lärmarme Beläge je Belagskategorie und unter Berücksichtigung der technisch-mechanischen, akustischen, betrieblichen und finanziellen Aspekte dargestellt und die Einbindung deren Unterhalts in den kommunalen Strassenunterhalt aufgezeigt.

In Kapitel 5 (Schritt 5 in Tabelle 2) werden die Ergebnisse zusammengefasst und praxisnah dargestellt. Über den betrieblichen Unterhalt hinaus werden Empfehlungen zu Detaillösungen bei der Realisierung von lärmarmen Belägen gegeben.

## 2 System „Unterhalt lärmarme Beläge“

### 2.1 Gegenstand der Untersuchung

#### 2.1.1 Strassenverkehrsanlage

Die Strassenverkehrsanlage besteht gemäss VSS SN 640 900a aus fünf Teilsystemen ([14], S. 8):

- Fahrbahnen und Wege
- Kunstbauten
- technische Ausrüstungen
- Werkleitungen
- Nebenanlagen und sonstige Objekte

*Tabelle 3: Strassenverkehrsanlage und deren Teilsysteme gem. VSS SN 640 900a ([14], S. 8)*

Fahrbahnen, Wege	Kunstbauten	Technische Ausrüstungen	Werkleitungen	Nebenanlagen und sonstige Objekte
Oberbau, Unterbau	Brücken	Energie, Beleuchtung und Lüftung	Elektro	Rast- und Parkplätze
Entwässerungen	Mauern	Signalisation und Verkehrsregelungen	Gas	Grünanlagen
Böschungen	Tunnel	Sicherheits- und Schutzeinrichtungen	Wasser	Werkhöfe
		bauliche Einrichtungen	Kanalisation	
			Telekom	

Fokus dieses Forschungsprojektes („Betrieb und Unterhalt von lärmarmen Belägen“) sind die Fahrbahnen (Tabelle 3).

#### 2.1.2 Beläge

Der Oberbau einer Fahrbahn besteht aus bis zu drei Tragschichten sowie der Deckschicht. Deckschichten können aus drei Belagsarten bestehen ([15], S. 179f):

- bituminösen Beläge (Asphaltbeläge)
- Betonbelägen
- Pflaster / Elementbeläge

Fokus dieses Projekts sind Fahrbahnen mit lärmarmen, bituminösen Belägen.<sup>2</sup>

Im Forschungsprojekt wird der Unterhalt für bereits eingebaute sowie in der Entwicklung befindliche, lärmarme bituminöse Beläge aus der Schweiz, aus Deutschland und den Niederlanden untersucht. Hierbei handelt es sich um drei Arten:

- normierte Beläge
- Sonderbauweisen
- Firmenprodukte („Hersteller-gebundene Beläge“ ([19], S.6), bspw. Nanosoft)

Insgesamt wurden 28 Beläge in die Untersuchungen einbezogen. Die vollständige Liste

<sup>2</sup> Asphalt stellt den wesentlichen Anteil an Strassenbefestigungen (in Deutschland 95% der befestigten Strassen [16]). Pflasterbeläge weisen kein und Betonbeläge nur ein geringes Lärminderungspotenzial auf ([17], S.23f; [18]).

der ausgewählten Beläge befindet sich im Anhang.<sup>3</sup>

### 2.1.3 Geschwindigkeitsbereich

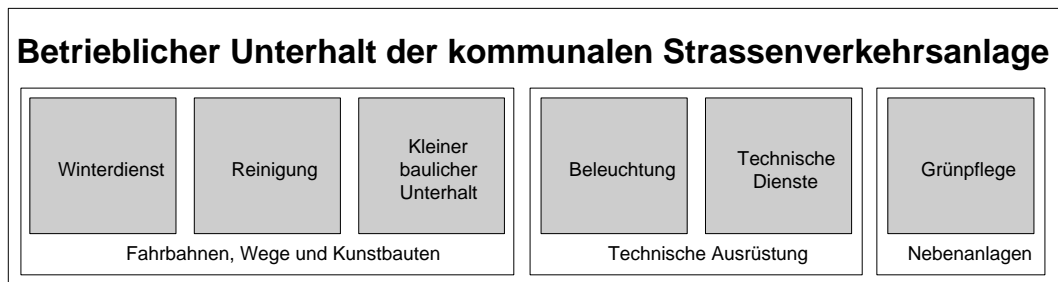
Die in diesem Projekt zu erarbeitenden Empfehlungen sollen für lärmarme Beläge innerorts gelten, welche mit Geschwindigkeiten von unter 60 km/h befahren werden ([20], S. 17).

### 2.1.4 Betrieblicher Unterhalt

Der betriebliche Unterhalt einer Strassenverkehrsanlage umfasst alle Massnahmen, welche die Betriebssicherheit gewährleisten. ([14], S.4, S.20) Dieses Projekt befasst sich mit den drei Tätigkeitsbereichen des betrieblichen Unterhalts an Fahrbahnen (Tabelle 4):

- Reinigung
- Winterdienst (Schneeräumung und Bekämpfung der Winterglätte, [26], S. 3)
- kleiner baulicher Unterhalt<sup>4</sup> (für bituminöse Beläge [27])

Tabelle 4: Tätigkeitsbereiche ([28], S. 122)



Die Grenze zwischen dem kleinen baulichen Unterhalt (Reparaturen, Instandhaltung) und dem baulichen Unterhalt (Erhaltung, Instandsetzung, Erneuerung) ist fließend und in der Praxis der Gemeinden und Städte nicht eindeutig definiert. Dieses Forschungsprojekt fokussiert auf Unterhaltsverfahren des kleinen baulichen Unterhalts.

## 2.2 Definition lärmarme Beläge

### 2.2.1 Schweiz

In der Schweiz wird die Lärminderung eines Belages gegenüber einem theoretischen Referenzbelag gemäss Modell STL 86+ angegeben [29]. BAFU und ASTRA definieren einen Belag im Innerortsbereich als dauerhaft lärmarm, wenn er für den Mischverkehr folgende Eigenschaften aufweist (Abbildung 3) ([20], S.18f.):

- eine Anfangslärminderung von mindestens -3 dB(A),
- sowie immer mindestens -1 dB(A) Lärminderung über eine Dauer von 12 bis 15 Jahren.

<sup>3</sup> Angedacht war die Berücksichtigung der Ergebnisse aus *EP1: Rezepturen und Zusammensetzung lärmarmen Beläge*. Aufgrund unterschiedlich angelegter Projektdauern (32 Monate für EP1 und 9 Monate für EP3) konnten die Ergebnisse aus TP1 nicht einbezogen werden [25].

<sup>4</sup> Auch als „Reparaturen“ bezeichnet, vgl. VSS SN VSS, SN 640 731b Erhaltung bitumenhaltiger Oberbauten; Reparatur.

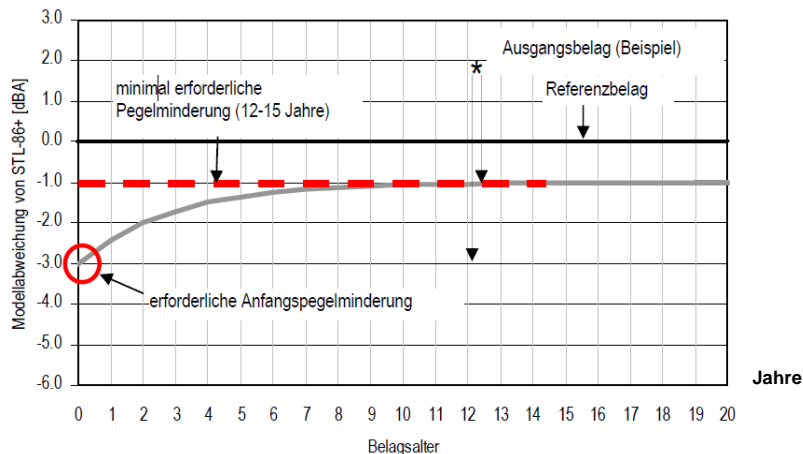


Abbildung 3: Definition dauerhaft lärmarmen Beläge innerorts gem. BAFU/ASTRA ([20], S.18f.)

Eine andere Definition verwendet z.B. der Kanton Freiburg. Dort müssen lärmarme Beläge unmittelbar nach dem Einbau eine Reduktion von mindestens -5 dB(A) sowie fünf Jahre nach dem Einbau eine Reduktion von mindestens -4 dB(A) aufweisen [30].

### 2.2.2 Deutschland

In Deutschland wird das Lärmreduktionspotential einer Strasse als Korrekturwert DStrO angegeben („Korrektur für unterschiedliche Strassenoberflächen“). Die Berechnung des DStrO-Wertes ist in den Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen (RLS 90) definiert [31].

Der Korrekturwert DStrO gibt die Differenz zu einem eingebauten Referenzbelag an. Dieser Referenzbelag kann ein nicht geriffelter Gussasphalt, ein Asphaltbeton oder ein Splittmastixasphalt sein ([32], S.11). Für die Referenzbeläge beträgt  $DStrO = 0$  dB(A). Beispielsweise hat ein offener Asphalt mit einer Körnung 0/8 einen DStrO-Wert von -5 dB(A) ([23], S.44).

Die RLS 90 und die in der Verkehrslärmschutzverordnung [33] festgelegten Immissionsgrenzwerte sind bei der Planung von Strassen verbindlich. Ein bestimmter Zeitraum für die Dauerhaftigkeit der Lärminderung ist nicht genau definiert; Spezialisten gehen von mindestens zehn Jahren aus ([32], S.40).

Die Beurteilungsgrundlagen für die Lärminderung in der Schweiz und in Deutschland sind grundsätzlich unterschiedlich und weisen damit nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit auf (auf Basis der schweizerischen Berechnungsmethode ergeben sich um 2 bis 4 dB(A) niedrigere Werte als nach der deutschen Berechnungsmethode).

### 2.2.3 Niederlande

In den Niederlanden muss eine Strassendecke nach dem Einbau des Belages je nach Art des Belages eine vorgegebene Lärmreduktion aufweisen (dünne Deckschicht). Eine einlagige Asphaltsschicht beispielsweise muss bei 50 km/h um -3 dB(A) leiser sein ([19], S. 7) als der Referenzbelag. Der Referenzbelag ist ein Asphaltbeton mit Körnung 0/11 oder 0/16 ([19], S. 4). An die Lärmreduktion im Verlauf der Betriebsjahre des Belages werden keine bestimmten Anforderungen gestellt ([19], S. 12).

## 2.3 Systembildung

### 2.3.1 Systemischer Ansatz / Ursache-Wirkungs-Prinzip

Das vorliegende Forschungsprojekt kann thematisch in die Material- und Ingenieurwissenschaften als Realwissenschaften eingeordnet werden. Die Realwissenschaften verfolgen das Ziel, empirisch wahrnehmbare Wirklichkeitsausschnitte zu beschreiben, zu erklären und zu gestalten [34].

Die vorliegende wissenschaftliche Fragestellung aus den Material- und Ingenieurwissenschaften zielt darauf ab, die bestehende Wirklichkeit zu beobachten, zu analysieren, abzubilden und sie mit probaten Ansätzen zu erklären, um möglichst eine Gültigkeit für die getroffenen Aussagen zu erlangen.

Um eine wissenschaftliche Fragestellung aussagefähig und objektiv untersuchen zu können, ist die Bildung eines Systems notwendig, in das die Fragestellung eingebettet werden kann. Dies dient der Abstraktion und der Verdeutlichung der Zusammenhänge.

Der Systemansatz [35] ist eine Denkweise, die es ermöglicht, die jeweils interessierenden Zusammenhänge zwischen den einzelnen Elementen zu erfassen. Der Systemansatz stellt eine formale Denkweise zur Verfügung, um aus einem komplexen und vernetzten Sachverhalt, die entscheidende Betrachtungsebene zu extrahieren und diese dadurch so zu veranschaulichen, dass sie untersuchbar und interpretierbar wird.

Hierbei steht die Frage nach Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen und nach gesetzmässigen Aussagen über diese Zusammenhänge im Vordergrund. In dem vorliegenden Forschungsprojekt erfolgt die Abstraktion (= Systembildung) daher auf Basis des Ursache-Wirkungs-Prinzips, welches die Abfolge und Abhängigkeiten aufeinander bezogener Ereignisse und Zustände verdeutlicht.

Für die Bildung des formalen Rahmens dieses Forschungsprojektes werden zwei Abstraktionsebenen gewählt:

- Die Wirkungsweise von lärmarmen Belägen als Grundlage für die Bildung von Belagskategorien.
- Der Lebenszyklus lärmarmen Beläge als Grundlage für die Zielgrösse und die Betrachtungsebenen für einen geeigneten Unterhalt.

### 2.3.2 Wirkungsweise lärmarmen Beläge

Bei der Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Geräusches unterscheidet man zwei verschiedene Lärmquellen ([36], S. 4-8):

- mechanische Schwingungsanregung des Reifens und
- aerodynamische Anregung in Hohlräumen des Reifenprofils (air pumping, Resonanzen).
- Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch kann auf dem Ausbreitungsweg auf zwei Arten verstärkt werden ([36], S. 8-10):
- Horneffekt<sup>5</sup> und
- Schallreflexion an Fahrbahn und an angrenzenden Flächen.
- Bei einem lärmarmen Belag ist das Reifen-Fahrbahn-Geräusch gegenüber einem herkömmlichen Belag vermindert. Ein lärmarmen Belag wirkt auf eine oder mehrere der folgenden drei Weisen ([36], S.4):
- durch verminderte mechanische Schwingungsanregung des Reifens,
- durch verminderte aerodynamische Anregung in Hohlräumen des Reifenprofils,

<sup>5</sup> Unter „Horneffekt“ versteht man die Verstärkung der Schallabstrahlung durch den von der gekrümmten Lauffläche des Reifens und der Fahrbahnoberfläche gebildeten Schalltrichter ([36], S.8).

- durch Schallabsorption bei der Ausbreitung (Fahrbahnoberfläche, angrenzende Flächen).<sup>6</sup>

Die Wirkungsweise des lärmarmen Belages hängt von seiner Konstruktion, der Art und Beschaffenheit der verwendeten Materialien und dem Einbauverfahren ab (vgl. Abbildung 6, Kap. 2.3.3).

Grundsätzlich wird die lärmindernde erst Wirkung durch das Fehlen einer Megatextur, das heisst durch eine erhöhte Ebenheit im Vergleich zu herkömmlichen Belägen, ermöglicht.<sup>7</sup>

Liegt die Ebenheit vor, beruht die effektive Wirkungsweise lärmarmen Beläge auf einer sich ergänzenden Wirkung einer Vielzahl an Einflussfaktoren [36] (vgl. auch Abbildung 4).



Abbildung 4: Einflussfaktoren auf lärmindernde Wirkungsweise [17]

Vereinfachend können zwei Belageigenschaften als lärmtechnisch günstig angesehen werden ([38], S. 10):

- offenporige Bauweisen mit kleinem Grösstkorn (Reduzierung air pumping)
- „Plateaus mit Schluchten“, konkave Oberflächen (Reduzierung Reifenschwingungen, Minimierung air pumping)

Die massgebenden **Merkmale** für die Beschreibung der lärmindernden Eigenschaften des Belages werden in der Literatur einheitlich als „Offenporigkeit“, „Textur“ und „Nachgiebigkeit“ bezeichnet ([39], [36]) Tabelle 5)<sup>8</sup>.

Die Nachgiebigkeit ist dabei aus dem für dieses Projekt erforderlichen reduzierten und vereinfachenden Blickwinkel (Komplexitätsreduktion) gegenüber den beiden anderen Merkmalen als eher weniger massgebend anzusehen ([39], S.247; [41]).

Vereinfachend dargestellt (Abbildung 5) ergänzen sich Offenporigkeit und Textureigenschaften bei der Erzielung der Lärminderung durch einen Belag.

<sup>6</sup> Die Schallabsorption reduziert zusätzlich die Antriebsgeräusche der Fahrzeuge (ibid., S. 10).

<sup>7</sup> Norm VSS SN 640 521c [37]: Die Muldentiefe unter der 4-m-Latte darf bei Hauptverkehrsstrassen nicht mehr als 5 mm betragen; bei Hochleistungsstrassen 4 mm und bei Verbindungs-, Sammel- und Erschliessungsstrassen 6mm.

<sup>8</sup> Vgl. auch [40]. Hier sind die ausgewählten Parameter mit der höchsten Priorisierung „Siebkurve“ „Kornform“; zweithöchste Priorisierung: u.a. „Walzen“, „Bindemittel“ also Faktoren, welche die Offenporigkeit und die Textur massgeblich bestimmen.

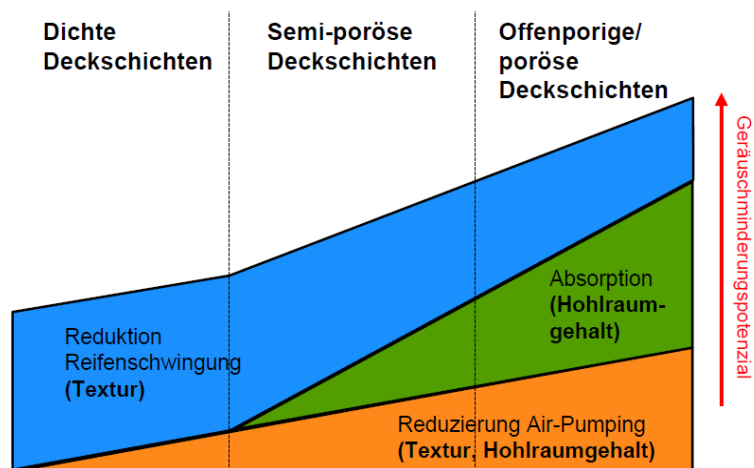


Abbildung 5: Wirkmechanismen lärmmindernde Beläge [17]

Die massgebenden Merkmale „Textur“ und „Offenporigkeit“ können anhand von Parametern beschrieben, messtechnisch definiert und überprüft werden (Tabelle 5).

Tabelle 5: Parameter zur Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Fahrbahnbelägen (nach [36], S. 12)

Merkmal		
	Textur	Offenporigkeit
<b>akustisch relevante Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauigkeitstiefe</li> <li>• Rauigkeitswellenlänge</li> <li>• Gestalt</li> <li>• Strömungswiderstand (Wasserdurchlässigkeit)</li> <li>• Reibwert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohlraumgehalt</li> <li>• Strömungswiderstand (Wasserdurchlässigkeit)</li> <li>• Schichtdicke (für offenporige Beläge)</li> <li>• Strukturfaktor</li> </ul>

Zur Beschreibung der Merkmale „Textur“ und „Offenporigkeit“ werden auf Basis von Angaben aus der Literatur und aus Experteninterviews ([39], S.247; [41]) **drei Parameter** für dieses Projekt als **massgebend** angesehen werden, um die Wirkung lärmmindernder Beläge vereinfachend und zusammenfassend abbilden zu können ([36], S.12):

- Hohlraumgehalt (zur Beschreibung der Offenporigkeit)
- Wasserdurchlässigkeit (zur Beschreibung der Offenporigkeit / Textur)
- Rauigkeitstiefe (zur Beschreibung der Textur)

Diese drei massgebenden Parameter werden der Bildung der Belagskategorien zugrunde gelegt (Kap. 3.2) und dienen den qualitativen Herleitungen in diesem Projekt als Gradmesser für die akustische Betrachtungsebene (Kap. 4.4).

### 2.3.3 Zielgrösse und Betrachtungsebenen für den geeigneten Unterhalt während des Lebenszyklus

Die schalltechnischen Eigenschaften eines lärmmindernden Belages werden bei seiner Erstellung determiniert und massgeblich von der Oberfläche des Belages beeinflusst (vgl. [42], S. 59).

Die Oberfläche eines lärmmindernden Belages ergibt sich aus der Zusammensetzung des Mischgutes, dem Einbauverfahren bzw. der Oberflächenbehandlung sowie dessen Konstruktionsweise (Abbildung 6).

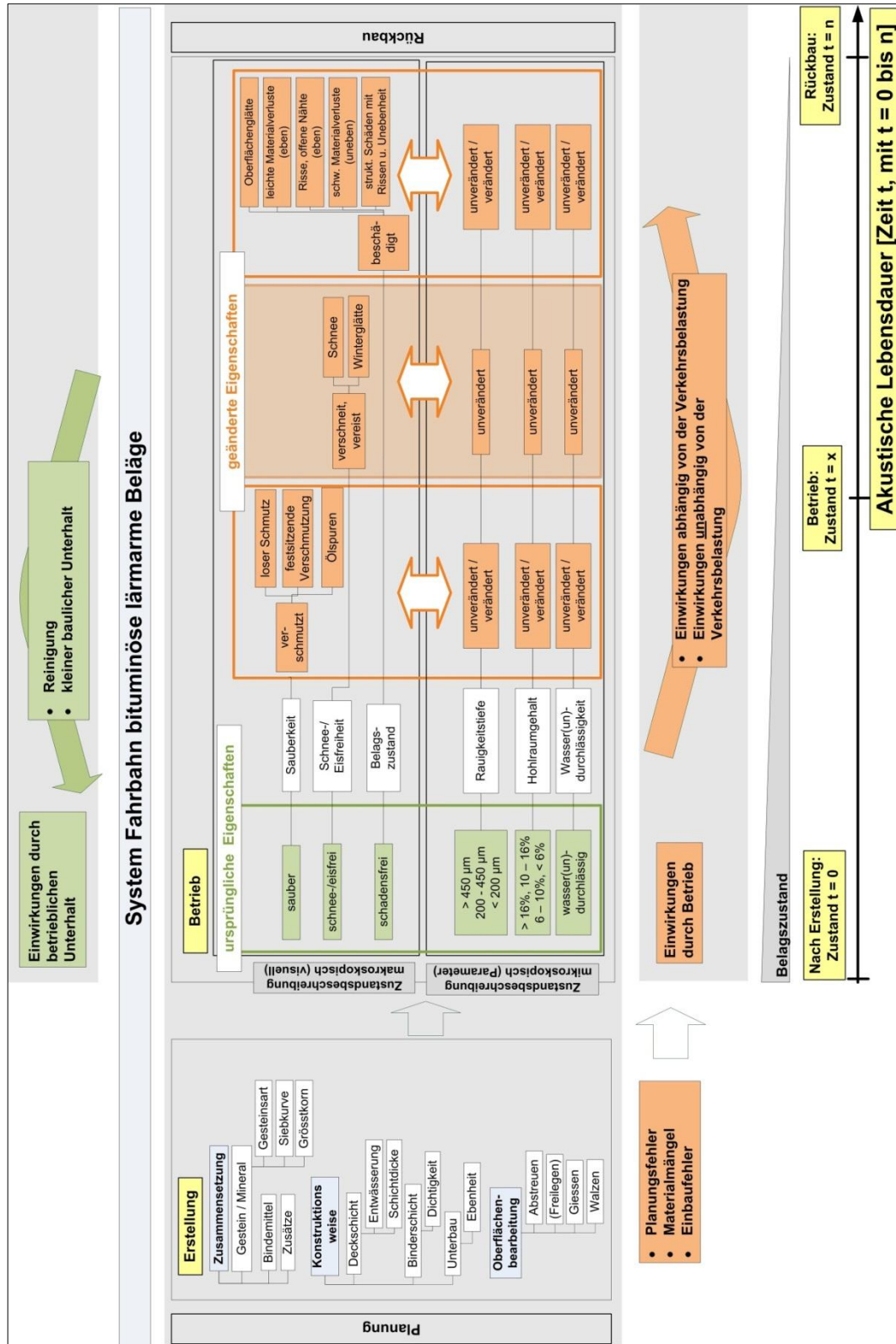


Abbildung 6: Lebenszyklus lärmarmen Belags

Die Konstruktionsweise (ebener Untergrund für die Ebenheit der Fahrbahn (keine Megatextur), ausreichende Dimensionierung zur Vermeidung von Schäden etc.) bildet die *Grundvoraussetzung* für die Erreichung lärmtechnisch günstiger Eigenschaften des Belags und trägt zur Dauerhaftigkeit eines lärmarmen Belags bei.



Für die Erstellung des eigentlichen, lärmarmen Belags ist die Zusammensetzung des Mischgutes aus Gestein, Bindemittel und etwaigen Zusätzen massgebend:

- so wird bspw. der Hohlraumgehalt durch die Ausbildung der Sieblinie (steil, flach)
- oder die Oberfläche durch die Grösse des Grösstkorns bestimmt.

Auch Einbauverfahren bzw. Oberflächenbehandlung tragen weiterhin zur Ausbildung der lärmindernden Eigenschaften (konkave Oberfläche durch Walzen) bei.

Nach dem Einbau befindet sich der Belag im „ursprünglichen Zustand“ oder „Sollzustand“. Die massgebenden Parameter „Hohlraumgehalt“, Wasserdurchlässigkeit“ und „Rauigkeitstiefe“ besitzen ihre Sollwerte.

Im Betrieb unterliegt der Belag zwei Arten von Einflussfaktoren [43] (Abbildung 6):

- Fehler bei Planung und Bau (endogen)

Aufgrund von Fehlern in der Planungsphase oder beim Einbau kann der Belag Schaden nehmen. Die Ursachen liegen in der

- Konstruktionsweise
- Materialqualität
- Art und Weise des Einbaus

- Äussere Einwirkungen (exogen)

Aufgrund von äusseren Einflüssen kann sich der Zustand eines Belages ändern. Äussere Einwirkungen können sowohl

- verkehrabhängig (Verkehrsmenge, Schwerverkehrsanteil, Verkehrsentwicklung, Achslastverteilung) als auch
- verkehrsunabhängig (UV-Strahlung, Niederschläge, grosse Temperaturdifferenzen) sein.

Durch die Einwirkung der Einflüsse verändert sich der Zustand des Belages. Der Belag ist verschmutzt, verschneit, vereist oder beschädigt (Tabelle 12),<sup>9</sup> was sich ggf. auf die massgebenden Parameter auswirkt und zu Istwerten führt.

Die äusseren Einwirkungen im Betrieb lassen den Belag technisch-mechanisch altern und können weiterhin dessen akustische Eigenschaften verändern. Die veränderten lärmtechnischen Eigenschaften können ggf. zu vom Sollzustand abweichenden Ist-Zuständen ( $t = x$ ; Abbildung 6) führen; möglicherweise bis hin zum Ende der technisch-mechanischen und/oder akustischen Lebensdauer des Belages ( $t = n$ ; Abbildung 6) führen.

Zur Wirkung der Unterhaltsverfahren auf die akustischen Eigenschaften eines Belages gibt es keine systematischen Messungen<sup>10</sup>. Es ist jedoch qualitativ erwiesen, dass Verschmutzung die Lärmreduktion von lärmarmen Belägen (insbesondere bei offenporigen Belägen) mindern kann und eine Reinigung die akustischen Eigenschaften des (offenporigen) Belages verbessern kann ([30], [20], S.56f).

Nach Expertenauskünften wirkt ein lärmarmes Belag dann optimal, wenn er sauber und schadensfrei ist ([44], [30], [20], S.56f.). Dies ist die Annahme als Grundlage für dieses Forschungsprojekt (vgl. Kap. 4.3.1).

Unterhaltsverfahren haben somit das Ziel den Zustandsänderungen (Verschmutzung, Eis-/ Schnee, Belagsschäden) entgegen zuwirken (Abbildung 6). Gemäss VSS SN 640 900a ([14], S.6) zielen Unterhaltsverfahren ab auf:

<sup>9</sup> Schnee- und Eis haben nur einen kurzfristigen Einfluss auf den Belag; nach Anwendung der Verfahren ist der Zustand des Belags wie vor der Anwendung. Daher wirkt sich Schnee und Eis nicht alternd auf die akustische Lebensdauer aus (vgl. Kap.4).

<sup>10</sup> Ausnahme: Beläge der Kategorie 1 werden im Rahmen des Verbundprojektes „Leiser Strassenverkehr 2“ hinsichtlich ihrer Anfälligkeit auf Verschmutzung untersucht. Beschichtete Asphalte bzw. Asphalte mit polymermodifizierten Bitumen sollen die Anhaftung von Verschmutzung in den Poren minimieren. Im Vergleich zu den unmodifizierten Belägen haftet Verschmutzung im Labor bei den modifizierten bzw. beschichteten Belägen weniger stark und hat dadurch eine geringere Auswirkung auf die Schallabsorption ([2], S. 165). Auf der nach weniger als einem Jahr nach dem Einbau akustisch untersuchten Teststrecke auf der BAB 24 bei Neuruppin wurden keine Änderungen der akustischen Eigenschaften festgestellt. Langzeitergebnisse liegen noch keine vor (ibid., S. 276).

### Betriebsbereitschaft

- Leistungsfähigkeit
- Verkehrssicherheit
- Anlagesubstanz
- Umweltverträglichkeit

Vor allem innerorts kommen qualitative Anforderungen an das Erscheinungsbild des Strassenraums als Zielgrösse hinzu. Das Massnahmenmanagement muss dabei auf eine Minimierung der Gesamtkosten abzielen (Wirtschaftlichkeit) [14].

Für die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren im Rahmen dieses Forschungsprojekts muss ein Verfahren daher

- den bestmöglichen Erhalt der technisch-mechanischen Eigenschaften,
- den bestmöglichen Erhalt der akustischen Eigenschaften,
- im Rahmen der Betriebsbereitschaft die Sicherheit, Sauberkeit, Hygiene und das optische Erscheinungsbild des Strassennetzes nach den gewünschten Qualitätsstandards der Netzverantwortlichen sowie
- Wirtschaftlichkeit

gewährleisten.

Die Auswahl geeigneter Verfahren muss daher unter Berücksichtigung von **vier Betrachtungsebenen** erfolgen (Abbildung 7):

- **Technisch-mechanische Ebene:** Erhalt der technisch-mechanischen Lebensdauer:
- durch Anwendung geeigneter Verfahren
- Vermeidung von Folgeschäden im Betrieb nach der Anwendung des Verfahrens
- **Akustische Ebene:** Erhalt der akustischen Eigenschaften (Ebenheit als Grundvoraussetzung; Sollwerte der massgebenden Parameter „Hohlraumgehalt“, „Wasserdruchlässigkeit“ und „Rauigkeitstiefe“)
- **Betriebliche Ebene:** Sicherstellung der Wirkung des Verfahrens durch betriebliche Aspekte (Frequenzen, Intensitäten, Materialeinsatz etc.)
- **Finanzielle Ebene:** absolute/relative Kosten und Kosten des Unterhalts im Netzverbund

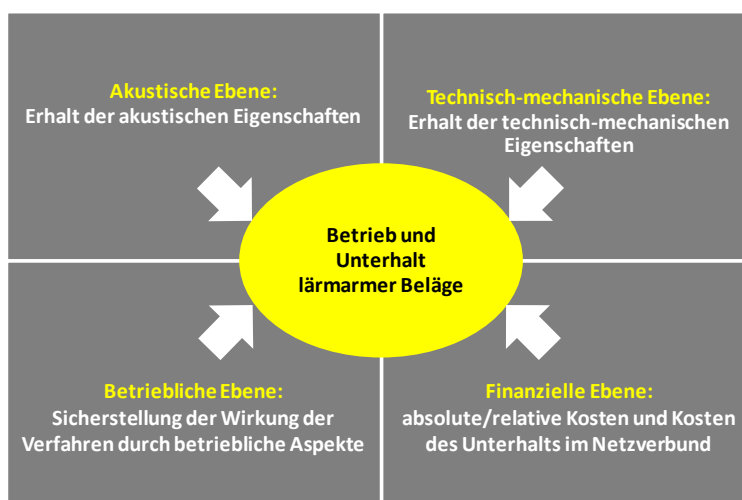


Abbildung 7: Schematische Darstellung Einflussgrössen betrieblicher Unterhalt

**Zielgrösse** des Forschungsprojektes ist die technisch-mechanisch und akustisch wirkungsvolle, betrieblich sowie wirtschaftlich sinnvolle **Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren für lärmarme Beläge innerorts**.

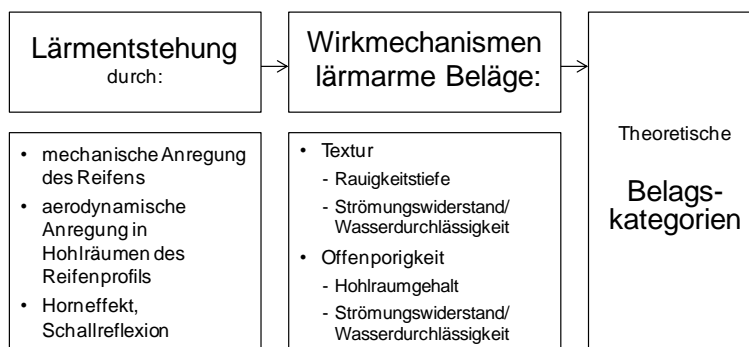
## 3 Kategorisierung lärmarme Beläge

### 3.1 Ziel der Kategorisierung

Je nach Wirkungsweise eines lärmarmen Belages (Kap. 2.3.2) sind möglicherweise unterschiedliche Unterhaltsverfahren erforderlich. Um geeignete Unterhaltsverfahren für lärmarme Beläge untersuchen und auswählen zu können, müssen Kategorien von lärmarmen Belägen mit ähnlichen bzw. gleichen Eigenschaften gebildet werden<sup>11</sup>.

Dazu werden anhand der drei für dieses Projekt als massgebend angesehenen Parameter (Kap. 2.3.2) „Hohlraumgehalt“, „Wasserdurchlässigkeit“ und „Rauigkeitstiefe“ die Belagskategorien gebildet (Tabelle 6).

Tabelle 6: Grundlage für die Kategorienbildung



### 3.2 Massgebende Parameter

#### 3.2.1 Hohlraumgehalt

Der Hohlraumgehalt gibt den Anteil der Hohlräume am Gesamtvolumen eines Belages in Prozent (%) an. Der Hohlraumgehalt variiert von ca. 1.0 Vol.-% bei einem herkömmlichen Belag bis ca. 30 Vol.-% bei einem offenporigen Belag (maximal bautechnisch noch möglich) ([39], S. 266; [36], S.20; [46], S. 10).

Ein grosser Hohlraumgehalt ermöglicht eine vertikale Luftdrainage (Abbildung 8).

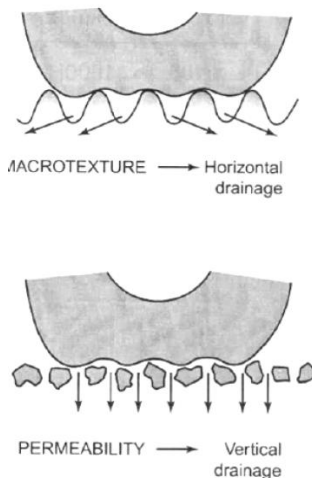


Abbildung 8: Horizontale und vertikale Luftdrainage bei einem lärmarmen Belag

<sup>11</sup> Es handelt sich nicht um eine Kategorisierung bezüglich der Lärmreduktion (wie z.B. in [45], S. 131ff.).

Die vertikale Luftdrainage kann als Hauptwirkungsgrund für die Lärmreduzierung bei offenporigen Belägen angesehen werden. Der grosse Hohlraumgehalt bei offenporigen Belägen hat neben der vertikalen Luftdurchlässigkeit eine Durchlässigkeit für Wasser zur Folge (vgl. Abschnitt 3.2.2).

Als Firmenentwicklungen sind Beläge bekannt, welche einen hohen Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% aufweisen und aufgrund eines sehr kleinen Grösstkorns eine wasserundurchlässige Oberfläche aufweisen (bspw. Nanosoft (Grösstkorn 4 mm [47]), Viaphone (Grösstkorn 5.6 mm [48]), Sapaphone (Grösstkorn 4 [49]). Auch bei diesen Belägen wirkt die vertikale Luftdrainage lärmindernd.

Je niedriger der Hohlraumgehalt (< 16 Vol.-%) desto weniger kann eine vertikale Luftdrainage erfolgen.

Der Hohlraumgehalt (am Bohrkern) wird für die Kategorisierung der Beläge in vier Wertebereiche unterteilt:

1. > 16% (sehr gross)
2. 10% - 16% (gross)
3. 6% - 10% (mittel)
4. < 6% (klein)

Dies geschieht in Anlehnung an die gängige Einteilung in dichte, semi-dichte, semi-poröse und poröse Beläge. Die Zuordnung lärmarmen Beläge in bestimmte Wertebereiche kann nicht als absolut angesehen werden. Die Grenzen sind vielmehr fließend, auch die Bandbreiten variieren je nach Quelle ([45], S. 27; [20], S. 63).

### 3.2.2 Wasserdurchlässigkeit

Die Ausgestaltung der Hohlräume im Belag ist entscheidend für dessen Wasserdurchlässigkeit [36]. Offenporige Beläge (mit einem Hohlraumgehalt > 16 Vol.-%), welche die Lärminderung in erster Linie über eine vertikale Luftdrainage erzeugen, weisen „grosse“, kommunizierende Poren auf [36].

Sind die Kanäle oder Hohlräume eines hohlraumreichen Belages eng, so ist der Belag für Luft durchlässig; für Wasser aufgrund dessen Oberflächenspannung nicht. Ein Belag (wie beispielsweise der Nanosoft) kann daher trotz hohem Hohlraumgehalt im Vergleich zu der Wasserdurchlässigkeit offenporiger Beläge als wasserundurchlässig angesehen werden ([50], S.11).

Mit abnehmendem Hohlraumgehalt nimmt auch bei Belägen mit kommunizierenden Poren die Wasserdurchlässigkeit ab. Beläge mit einem Porengehalt von ca. 10 bis 16 Vol.-% können daher *nicht* als „wasserdurchlässig“ im Sinne offenporiger Beläge angesehen werden; auch wenn bedingt/stellenweise Wassereintritt möglich ist.<sup>12</sup> So gearbete Beläge werden aufgrund des minimalen Wassereintritts für die Untersuchung geeigneter Unterhaltsverfahren in diesem Projekt als „wasserundurchlässig“ angesehen.

Je kleiner das Grösstkorn, desto eher ist ein Belag wasserundurchlässig. Beläge mit einem Hohlraumgehalt unter 3 Vol.-% sind als dicht anzusehen [51].

Die Wasserdurchlässigkeit wird in zwei Bereiche unterteilt:

5. wasserdurchlässig (ja)
6. wasserundurchlässig (nein)

Bei wasserdurchlässigen Belägen (Kategorie 1, Kap. 3) ist die „vertikale“ und „horizontale“ Wasserdurchlässigkeit zu unterscheiden:

- Die vertikale Wasserdurchlässigkeit bezieht sich auf den Wasserfluss von der Oberfläche in Richtung wasserabführende Schicht.

<sup>12</sup> Daher erhöhte Anforderungen an untere Schicht hinsichtlich Wasserundurchlässigkeit [44]

- Die horizontale Wasserdurchlässigkeit bezeichnet den Wasserfluss auf der waserführenden Schicht in Richtung Entwässerungsrinne.

### 3.2.3 Rauigkeitstiefe

Das Texturspektrum eines Belages wird beschrieben durch die Texturwellenlänge oder Rauigkeitswellenlänge  $\lambda$  und die Rauigkeitstiefe A ([20], S. 31) (Abbildung 9). Entscheidend für die Rauigkeitstiefe sind diverse Faktoren: neben der Korngrösse, der Steilheit der Sieblinie, den Zusätzen bspw. auch die Art der Oberflächenbehandlung. Daher ist eine Zuordnung lärmarmen Beläge in bestimmte Wertebereiche analog zum Hohlraumgehalt nicht als absolut anzusehen, sondern umfasst fließende Grenzen.

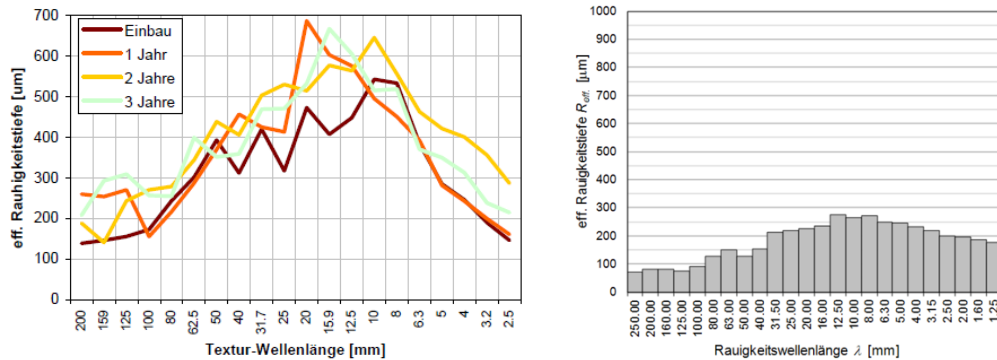


Abbildung 9: Texturspektren lärmarmen Beläge (links: PA 8 ([20], S. 31); rechts: AC MR [53])

Die Rauigkeit eines Belages kann durch das Maximum der effektiven Rauigkeitstiefe beschrieben werden. Das Maximum der Rauigkeitstiefe wird mit  $A_{max}$  bezeichnet ([20], S. 41). Der Wertebereich von  $A_{max}$  reicht von ca. 50µm bis unter 700µm (Abbildung 10).

Offenporige Beläge mit einem Hohlraumgehalt über 16 Vol.-% weisen tendenziell aufgrund ihrer kommunizierenden Poren eher grosse Maximalwerte der Rauigkeitstiefe > 450 µm, bei zweilagigen Belägen > 300 µm auf [41].<sup>13</sup>

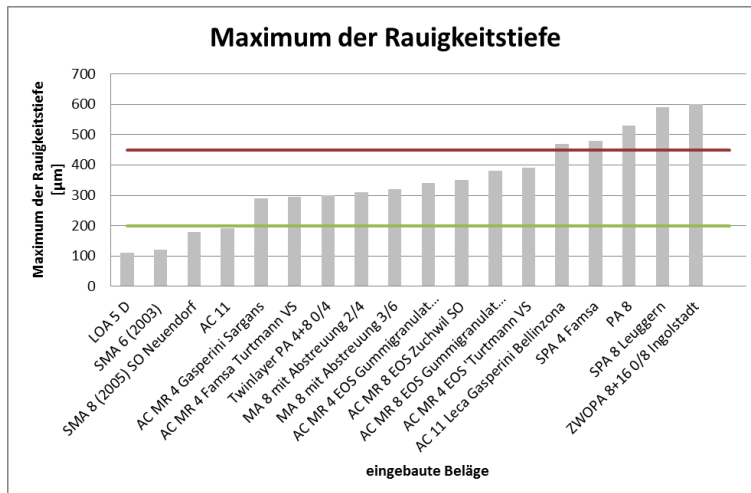


Abbildung 10: Verteilung des Maximums der Rauigkeitstiefe

Dichte Beläge (Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%) haben in der Regel niedrige Maximalwerte der Rauigkeitstiefe < 150/200 µm [41].

Im mittleren Bereich liegen Beläge mit einem Hohlraumgehalt von 6 bis 16 Vol.-% (semi-dicht, semi-porös), bei denen das Maximum der Rauigkeitstiefe in der Regel zwi-

<sup>13</sup> Nanosoft gilt als wasserundurchlässiger Belag.

schen 200 bis 450  $\mu\text{m}$  variieren kann.<sup>14</sup>

Während für offenporige Beläge der negative Einfluss von Verschmutzung der kommunizierenden Poren bekannt ist [17], ist in der Literatur und bei Experten für Beläge mit einem Maximum der Rauigkeitstiefe  $< 450 \mu\text{m}$  umstritten ([54], [55]), ob und in wie weit Verschmutzungen sich in diesen Tälern sammeln und damit die maximale Rauigkeitstiefe (temporär) sowie die lärmindernden Textureigenschaften reduzieren können.

Das Maximum der Rauigkeitstiefe wird in drei Wertebereiche unterteilt:

7.  $< 200 \mu\text{m}$  (eher klein)
8.  $200 - 450 \mu\text{m}$  (eher mittel)
9.  $> 450 \mu\text{m}$  (eher gross)

### 3.3 Bildung der Belagskategorien

Die Belagskategorien werden in vier Schritten gebildet:

- Theoretisch mögliche Parameterkombinationen
- Zuordnung der im Projekt untersuchten Beläge (Kap. 2.1.2) zu den Parameterkombinationen
- Plausibilitätsprüfung der Parameterkombinationen
- Zusammenfassung der Parameterkombinationen in Belagskategorien

#### 3.3.1 Theoretisch mögliche Parameterkombinationen

Grundlage für die theoretisch möglichen Parameterkombinationen sind die in Tabelle 7 aufgeführten Wertebereiche der drei massgebenden Parameter für die Lärminderung.

Tabelle 7: Wertebereiche der drei ausgewählten Parameter

Parameter	Hohlraumgehalt		Wasserdurchlässigkeit		Maximum der Rauigkeitstiefe	
Wertebereiche	$< 6\%$	(klein)	4			
	$6\% - 10\%$	(mittel)	3	ja	1	$< 200 \mu\text{m}$ (eher klein) 1
	$10\% - 16\%$	(gross)	2	nein	2	$200 - 450 \mu\text{m}$ (eher mittel) 2
	$> 16\%$	(sehr gross)	1			$> 450 \mu\text{m}$ (eher gross) 3

Die Kombination der Wertebereiche der Parameter ergibt 24 theoretisch mögliche Parameterkombinationen<sup>15</sup> (Tabelle 8). Sie sind Basis für die Bildung der Belagskategorien.

<sup>14</sup> Aussage ist als Tendenz zu verstehen, nicht als absolute Grenze.

<sup>15</sup> Eine Parameterkombination ist keine Kategorie.

Tabelle 8 :Theoretisch mögliche Parameterkombinationen

Hohlraumgehalt (HR)		Wasserdurchlässigkeit		Maximum der Rauigkeitstiefe		Parameterkombination
1	sehr gross >16%	1	ja	1	< ca. 200 µm (eher klein)	111
1		1		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	112
1		1		3	> ca. 450 µm (eher gross)	113
1		2	nein	1	< ca. 200 µm (eher klein)	121
1		2		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	122
1		2		3	> ca. 450 µm (eher gross)	123
2	gross 10% < HR < 16%	1	ja	1	< ca. 200 µm (eher klein)	211
2		1		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	212
2		1		3	> ca. 450 µm (eher gross)	213
2		2	nein	1	< ca. 200 µm (eher klein)	221
2		2		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	222
2		2		3	> ca. 450 µm (eher gross)	223
3	mittel 6% < HR < 10%	1	ja	1	< ca. 200 µm (eher klein)	311
3		1		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	312
3		1		3	> ca. 450 µm (eher gross)	313
3		2	nein	1	< ca. 200 µm (eher klein)	321
3		2		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	322
3		2		3	> ca. 450 µm (eher gross)	323
4	klein < 6%	1	ja	1	< ca. 200 µm (eher klein)	411
4		1		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	412
4		1		3	> ca. 450 µm (eher gross)	413
4		2	nein	1	< ca. 200 µm (eher klein)	421
4		2		2	ca. 200-450 µm (eher mittel)	422
4		2		3	> ca. 450 µm (eher gross)	423

### 3.3.2 Plausibilitätsprüfung

Trotz der Komplexität der Wirkungsweise der einzelnen lärmreduzierenden Parameter ist davon auszugehen, dass einzelne Parameterkombinationen aufgrund physikalischer Zusammenhänge ausgeschlossen werden können.

Diese Parameterkombinationen sind bei den recherchierten Belägen in diesem Projekt nicht vertreten und es ist anzunehmen, dass Beläge mit diesen Eigenschaften physikalisch nicht erstellt werden können, wobei besonders bei neuen Rezepturen bspw. durch neuartige Zusätze ggf. diese Annahme widerlegt werden kann.

- Parameterkombinationen 111, 211

Die Parameterkombinationen 111 und 211 (sehr grosser Hohlraumgehalt, wasserdurchlässig und kleine Rauigkeitstiefe) werden aufgrund physikalischer Zusammenhänge als nicht zu erwartende Kombinationen angesehen. Aufgrund der Wasserdurchlässigkeit (im Sinne eines offenporigen Belages, wie definiert für dieses Projekt) müssen die kommunizierenden Poren eine gewisse Grösse aufweisen und die Täler daher in den Belag hineinreichen. Somit muss eine gewisse Rauigkeitstiefe gegeben sein.

- Parameterkombination 123

Parameterkombinationen 123 werden aufgrund physikalischer Zusammenhänge als nicht zu erwartende Kombinationen angesehen. Eine grosse Rauigkeitstiefe bei sehr grossem Hohlraumgehalt ermöglicht keine Wasserundurchlässigkeit, welche in der Regel nur bei einer Rauigkeitstiefe unter 450 µm gegeben ist. Die Wasserundurchlässigkeit bedingt, dass die Poren nicht beliebig gross sein können.

- Parameterkombinationen 311 – 313 und 411 – 413

Diese Kombinationen werden aufgrund physikalischer Zusammenhänge als nicht zu erwartende Kombinationen angesehen. Wasserdurchlässigkeit (im Sinne eines offenporigen Belages, wie definiert für dieses Projekt) bedingt grosse, kommunizierende Poren.

Beläge mit kleinem bis mittlerem Hohlraumgehalt (< 10 Vol.-%) weisen dies in der Regel nicht auf.

- Parameterkombinationen 323 und 423

Nicht zu erwarten ist eine grosse Rauigkeitstiefe bei kleinem oder mittlerem Hohlraumgehalt und Wasserundurchlässigkeit. Parameterkombinationen 323 und 423 werden aufgrund physikalischer Zusammenhänge als nicht zu erwartende Kombinationen angesehen.

Für die in diesem Projekt untersuchten lärmarmen Beläge (Anhang) wurden die Werte der Parameter nach Einbau für den Sollzustand recherchiert. Anhand dieser Werte können die Beläge (unter Ausschluss der physikalisch nicht zu erwartenden) in die theoretisch möglichen Kombinationen eingeteilt werden (Tabelle 9).<sup>16</sup>

Die Zuordnung der Beläge zu den Parameterkombinationen (Tabelle 9) lassen Gruppierungen erkennen, welche aufgrund ähnlicher Wertebereiche der Parameter eine ähnliche lärmtechnische Wirkungsweise und Beschaffenheit aufweisen und somit einen ähnlichen Unterhalt erfordern dürften.

Tabelle 9: Parameterkombinationen mit Plausibilitätsprüfung

Parameter			Maximum der Rauigkeitstiefe	Parameterkombination	Beläge					
Hohlraumgehalt (Bohrkern)	Wasserdurchlässigkeit									
1 1 1 1 1 1 sehr gross >16%	1 1 1 ja	1	1	eher klein	111	nicht zu erwartende Kombination(en)				
		2	2	eher mittel	112	Twinlayer PA 4+8 0/4				
		3	3	eher gross	113	PA 8 Leuggern	ZWOPA 8+16 0/8 Ingolstadt	PMA 5 <sup>1</sup>		
	2 2 2 nein	1	1	eher klein	121	MOA-Leise-4	Nanosoft 4	Viaphone		
		2	2	eher mittel	122					
		3	3	eher gross	123	nicht zu erwartende Kombination(en)				
2 2 2 2 2 2 gross 10% < HR < 16%	1 1 1 ja	1	1	eher klein	211	nicht zu erwartende Kombination(en)				
		2	2	eher mittel	212					
		3	3	eher gross	213					
	2 2 2 nein	1	1	eher klein	221	LäB NL 2-5 mm	LäB NL 2-6 mm			
		2	2	eher mittel	222	SMA LA 8	AC MR 8 plus			
		3	3	eher gross	223	SPA 8 Leuggern <sup>3</sup>				
3 3 3 3 3 3 mittel 6% < HR < 10%	1 1 1 ja	1	1	eher klein	311	nicht zu erwartende Kombination(en)				
		2	2	eher mittel	312					
		3	3	eher gross	313					
	2 2 2 nein	1	1	eher klein	321					
		2	2	eher mittel	322	AC MR 4 EOS Gummigranulat Turtmann VS	AC MR 4 Famsa Turtmann VS	AC MR 8 EOS Zuchwil SO	AC MR 8	Wecophone 6
		3	3	eher gross	323					
4 4 4 4 4 4 klein < 6%	1 1 1 ja	1	1	eher klein	411	nicht zu erwartende Kombination(en)				
		2	2	eher mittel	412					
		3	3	eher gross	413					
	2 2 2 nein	1	1	eher klein	421	LOA 5 D	SMA 6 (2003)	SMA 8 (2005) SO Neuendorf	AC 11 Sargans SG	DSH-V 5
		2	2	eher mittel	422	MA 8 mit Abstreuerung 2/4 <sup>2</sup>				
		3	3	eher gross	423	nicht zu erwartende Kombination(en)				

1: oben offenporig, unten dicht

2: Rauigkeitstiefe in Folgejahren < 200 µm

3: Wasserdurchlässigkeit nicht abschliessend geklärt





<sup>16</sup> vollständige Tabelle im Anhang.



### 3.3.3 Bildung der Kategorien

Aus der Zuordnung resultieren vier Belagskategorien (Tabelle 10).

Tabelle 10 : Belagskategorien

Nr.	Hohlraum- gehalt		Was- ser- durch- läs- sig- keit	Max. Rauig- keitstiefe		Querschnitt Profil	Mittlere Profiltiefe <sup>17</sup>
	sehr gross (gross)	> 16% (>10%)		eher gross	> 450 µm		
1	sehr gross (gross)	> 16% (>10%)	ja	eher gross	> 450 µm		> ca. 0.90 mm
2	gross bis sehr gross	> 10%	nein	eher klein	< 200 µm		ca. 0.55 bis 0.85 mm
3	mittel / gross	6 bis 16%	nein	eher mittel	200-450 µm		ca. 0.70 bis 1.00 mm
4	klein	< 6%	nein	eher klein	< 200 µm		ca. 0.55 bis 0.85 mm

#### 3.3.3.1 „Poröse Beläge“

**Kategorie 1: Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)**

Die Beläge der Kategorie 1 sind die klassischen porösen, offenporigen Beläge oder Drainbeläge. Sie weisen einen sehr hohen Hohlraumgehalt über 16 Vol.-%, eine Durchlässigkeit für Wasser sowie eine eher grosse Rauigkeitstiefe auf. Die Beläge dieser Kategorie wirken lärmindernd überwiegend durch ihre Offenporigkeit.

Unter den recherchierten Belägen gibt es kein Beispiel für einen wasserdurchlässigen Belag (im Sinne einer Offenporigkeit) mit einem Hohlraumgehalt zwischen 10 und 16%. Da diese Kombination nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann (besonders im Hinblick auf niedrigere Hohlraumgehalte bei zweischichtigen Belägen, bspw. Twinlayer PA 4+8 0/4 mit 17.2 Vol.-%) werden Beläge mit einem „grossen“ Hohlraumgehalt (10 - 16 Vol.-%), mit einer Durchlässigkeit für Wasser und einer eher grossen Rauigkeitstiefe aufgrund ihrer Wirkungsweise der Kategorie 1 „Poröse Beläge“ zugeordnet.

Bei Belägen dieser Kategorie sind ein- und zweischichtige Ausführungen möglich (OPA, ZWOPA). Das Grösstkorn ist in der Regel 8 mm gross. Die zu erzielende Anfangslärm-minderungen ist hoch [9]; [38]. Die Lärminderung erfährt jedoch eine nachlassende Wirkung im Verlauf der Zeit - besonders innerorts, wo bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h der selbstreinigende Effekt durch die Sogwirkung der abrollenden Reifen entfällt [17].

Es sind hochwertige Baustoffe erforderlich, welche Anforderungen an die Gesteinskörnung mit guter Kornform und hoher Polierresistenz stellen. Der Einbau erfolgt auf einer Abdichtung. Bei einer Randeinfassung der Fahrbahn (innerorts die Regel) ist ein Entwässerungssystem notwendig, da auf der Abdichtung entwässert wird ([38], S. 13). Es sind somit hohe Anforderungen an Planung, Bau und Material erforderlich [17]. Der Belag ist sehr anfällig für Scherkräfte, weist aber eine hohe Verformungsbeständigkeit auf [17].

<sup>17</sup> Die aufgezeigten Bandbreiten ergeben sich aus der Untersuchung der diesem Projekt zugrundeliegenden Beläge; sie stellen wie die gewählten Wertebereiche für den Hohlraumgehalt und die Rauigkeitstiefe keine absolut fixen Grenzen dar, sondern können Tendenzen aufzeigen. Zwischen der mittleren Profiltiefe MPD und der maximalen Rauigkeitstiefe  $A_{max}$  besteht eine Korrelation ([20], S.41). Daher wird für die Beschreibung der Textur auch die mittlere Profiltiefe MPD dargestellt.

Eine Sonderform innerhalb dieser Kategorie stellt der Poröse Mastix-Asphalt (PMA) dar. Dieser ist ein Gussasphalt mit poröser Oberfläche. Die Besonderheit ist, dass in den unteren ca. 70% der Belagsschicht sich absetzendes Bindemittel zu einem Gussasphalt führt, der Belag in den oberen 30% aufgrund der Ausfallkörnung eine poröse Hohlraumstruktur aufweist. In der Literatur werden mittlere Werte für die Anfangslärminderungen und eine gute Pegelminderung für PW und LW angegeben ([17]; [56]). Auch er hat, wie ein poröser Belag, eine nachlassende Wirkung bei der Höhe der Lärminderung im Verlauf der Zeit.

### 3.3.3.2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“

#### Kategorie 2: Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)

Beläge der Kategorie 2 weisen einen grossen bis sehr grossen Hohlraumgehalt (> 10 Vol.-%) auf, sind aber wasserundurchlässig<sup>18</sup> und haben eine eher kleine Rauigkeitstiefe < 200 µm. In diese Kategorie fallen Beläge wie der Nanosoft, Viaphone oder LNA 4 C sowie die lärmindernden Deckschichten (NL 2-5mm, NL 2-6mm) in den Niederlanden. Die Beläge dieser Kategorie wirken lärmindernd durch ihre Textur und die Offenporigkeit für vertikale Luftdrainage. Sie weisen kleine Korngrössen für das Grösstkorn auf (4/5 mm). Sie erzielen eine hohe Anfangslärminderungen<sup>19</sup> ([58]; [59]).

### 3.3.3.3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“

#### Kategorie 3: Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm

In dieser Kategorie sind Beläge mit einem mittleren und grossem Hohlraumgehalt (zwischen 6 und 16 Vol.-%). Sie weisen eher mittlere Rauigkeitstiefen zwischen 200 bis 450 µm auf und unterscheiden sich hiermit von der offenen Struktur der porösen Beläge (ca. > 450 µm) und den Belägen mit feiner Textur (ca. < 200 µm).

Diese Beläge werden nicht als „wasserundurchlässig“ im Sinne offenporiger Beläge und daher aufgrund des minimalen Wassereintritts als „wasserundurchlässig“ in diesem Projekt angesehen. Diese Beläge wirken lärmindernd durch ihre Textur und eine bedingte Offenporigkeit für vertikale Luftdrainage. Die Grösstkorngrössen liegen zwischen 4 und 8 mm. Bis zu mittlere Lärminderungen können erzielt werden [17].

Mit den Rezepturen dieser Beläge wird ein Optimum aus Lärmreduktion und Nutzungsdauer angestrebt (in der Schweiz tlw. repräsentiert durch LNA<sup>20</sup> (Abbildung 11)).

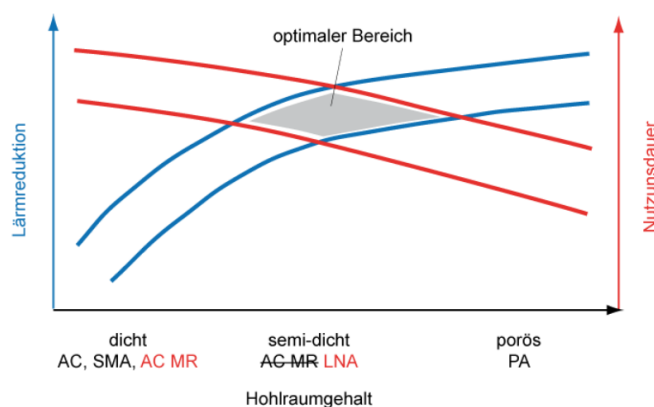


Abbildung 11: Kategorie 3 zwischen dichten und porösen Belägen

<sup>18</sup> Nach Erfahrungen in den Niederlanden ist bei diesen Belägen eine geringe Wasserdurchlässigkeit möglich [57] (nicht zu vergleichen mit der Wasserdurchlässigkeit eines Belages der Kategorie 1 (porös)).

<sup>19</sup> Messung nach Schweizer Definition

<sup>20</sup> Gemäss [21] variiert der Hohlraumgehalt der LNA von 6% bis 25% und damit entsprechen sie vom Hohlraumgehalt her nicht exakt dieser Kategorie.

### 3.3.3.4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“

#### Kategorie 4: Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)

Die Beläge dieser Kategorie weisen einen kleinen Hohlraumgehalt auf. Sie sind den herkömmlichen Belägen am ähnlichsten und quasi wasserundurchlässig<sup>21</sup>. Die Beläge dieser Kategorie wirken lärmindernd durch ihre Textur, die sich durch eine eher kleine Rauigkeitstiefe auszeichnet, was u. a. durch ein kleines Grösstkorn hervorgerufen wird [17]. Es können mittlere Anfangslärminderungen erzielt werden, allerdings nur bei PKW-Reifen [17], [60].

## 3.4 Referenzbeläge

Für jede Belagskategorie wird ein Referenzbelag ausgewählt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Referenzbeläge

Kategorie	Name	Land (Ort)	Art des Belages
1	ZWOPA 8/16	Deutschland (Ingolstadt)	normiert
2	Nanosoft 4	Schweiz (Freiburg)	herstellergebunden
3	AC MR 8	Schweiz (verschiedene)	normiert
4	LOA 5D	Deutschland (Düsseldorf)	Sonderbauweise

<sup>21</sup> Ein Vertreter dieser Kategorie ist der LOA 5 D, der ganz konkret mit dem Ziel entwickelt wurde, von den Belagsparametern her möglichst wenig von den herkömmlichen Belägen abzuweichen.

## 4 Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren

### 4.1 Ziel und Vorgehen

Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, geeignete Unterhaltsverfahren je Belagskategorie (Kap.0) auszuwählen.

Da es keine quantitativen Messungen für alle Kategorien gibt<sup>22</sup>, welche die Wirkung eines betrieblichen Unterhalts an lärmarmen Belägen systematisch aufzeigen, wird in diesem Projekt eine qualitative, systematische Recherche unter Berücksichtigung der vier Betrachtungsebenen (akustisch, technisch-mechanisch, betrieblich und finanziell, Kap. 2.3.3) vollzogen.

Der *qualitative* Erkenntnisgewinn erfolgt auf vier Wegen:

- Qualitative Herleitung anhand der massgebenden Parameter zur Lärmreduktion  
Beurteilung der akustischen Betrachtungsebene (Kap. 4.4)
- Literatur  
Beurteilung der technisch-mechanischen, akustischen und betrieblichen Betrachtungsebene (Anhang III, IV, V Kap. 4.5)
- Experteninterviews  
Beurteilung der technisch-mechanischen, akustischen und betrieblichen Betrachtungsebene (Anhang III, IV, V Kap. 4.5)
- Praxisauskünfte  
Beurteilung der technisch-mechanischen, akustischen und betrieblichen Betrachtungsebene (Anhang III, IV, V Kap. 4.5)

Dabei wird *systematisch* vorgegangen (Matrix; Tabellen Anhang III, IV, V):

- Die Untersuchungen werden in Tabellen je Belagskategorie durchgeführt.
- Die Erkenntnisse basierend auf Ergebnissen der vier Wege werden für jede Zustandsänderung eines Belages in Kombination mit den allgemein gängigen Unterhaltsverfahren aufgezeigt.

Abschliessend in diesem Kapitel (Kap.4.5) werden die Kosten für den Unterhalt lärmarmen Beläge untersucht. Hier wird der Fokus auf die Einbindung des Unterhalts von lärmarmen Belägen in die Abläufe des kommunalen Strassenunterhalts in ein bestehendes Netz gesetzt. Vor diesem Fokus sind nicht die reinen Mehr- oder ggf. auch Minderkosten für den Unterhalt eines lärmarmen Belages im Vergleich zu einem herkömmlichen Belag ausschlaggebend, sondern die Entwicklung der bestehenden Unterhaltskosten in Gemeinden und Städten, wenn sie an lärmgefährdeten Strassenabschnitten lärmarme Beläge einsetzen. Dazu werden die Prozesse und Abläufe im kommunalen Strassenunterhalt dargestellt. Auf dieser Grundlage erfolgen die Kostenanalysen, welche als Ziel evtl. entstehende Mehr- oder Minderkosten für den Strassenunterhalt in der Gemeinde aufzeigen.

Ziel dieses qualitativen, systematischen Vorgehens unter Beachtung der vier Betrachtungsebenen ist es, trotz der fehlenden, systematischen Messungen<sup>23</sup> Aussagen durch Aufzeigen des aktuellen Stands von Forschung und Praxis treffen zu können. Es wird

<sup>22</sup> Ausnahme: Beläge der Kategorie 1 werden im Rahmen des Verbundprojektes „Leiser Strassenverkehr 2“ hinsichtlich ihrer Anfälligkeit auf Verschmutzung untersucht. Beschichtete Asphalte bzw. Asphalte mit polymermodifizierten Bitumen sollen die Anhaftung von Verschmutzung in den Poren minimieren. Im Vergleich zu den unmodifizierten Belägen haftet Verschmutzung im Labor bei den modifizierten bzw. beschichteten Belägen weniger stark und hat dadurch eine geringere Auswirkung auf die Schallabsorption ([2], S. 165). Auf der nach weniger als einem Jahr nach dem Einbau akustisch untersuchten Teststrecke auf der BAB 24 bei Neuruppin wurden keine Änderungen der akustischen Eigenschaften festgestellt. Langzeitergebnisse liegen noch keine vor (ibid., S. 276).

<sup>23</sup> Messungen sind nicht als Gegenstand dieser Forschung vorgesehen. Im Rahmen der Interviews wurden seitens der Maschinenhersteller Tests angeboten.

angenommen, dass das so ermittelte Gesamtergebnis zu einer objektiven Beurteilung der Eignung der Unterhaltsverfahren führen kann.

## 4.2 Äussere Einwirkungen

Durch äussere Einwirkungen verändert sich der Zustand des Belages (Kap. 2.3.3). Der Belag ist verschmutzt, verschneit, vereist oder beschädigt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Zustandsänderungen

Zustandsmerkmal	Erscheinungsweisen im geänderten Zustand	
Sauberkeit	verschmutzt (Verschmutzung)	loser Schmutz (Abrieb, Staub, Sand, Laub, PET-Flaschen)
		festsitzender Schmutz <ul style="list-style-type: none"> <li>• lokal (Lehm Spuren, Kadaver, Exkremente, Fruchtfall)</li> <li>• flächig: verstopfte Belagsporen</li> </ul>
		Oel Spuren
Schnee- / Eisfreiheit	verschneit, vereist (Niederschlag)	Schnee
		Winterglätte <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schneeglätte</li> <li>• Reifglätte</li> <li>• Eisglätte</li> <li>• Glatteis</li> </ul>
Belagszustand	beschädigt (Belagsschäden)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenglätte</li> <li>• Leichte Materialverluste</li> <li>• Risse, offene Nähte (ohne Unebenheit)</li> <li>• Schwere Materialverluste</li> <li>• Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten</li> </ul>

### 4.2.1 Verschmutzung

Beim losen Schmutz handelt es sich im Allgemeinen um Abrieb, Staub, Sand, Laub, PET-Flaschen u. ä., also um losen Schmutz unterschiedlicher Grösse, der leicht weggeholt und damit leicht entfernt werden kann.

Festsitzender Schmutz kann nicht weggeholt und damit auch nicht leicht entfernt werden. Es handelt sich um Lehm, Kadaver, Exkremente, Fruchtfall u. ä. Diese führen bei offenporigen Belägen oder Belägen mit Tälern zur Verstopfung der Poren und zur Ausfüllung Tälern.

Bei einer Ölspur sind zwei verschiedene Fälle zu beachten:

- Bei wasserdurchlässigen Belägen findet kurzfristig keine Beeinflussung der Lärmreduktion statt, das Öl dringt in den Belag ein. Das Bitumen und der Belag werden innerlich aber langfristig geschädigt, wenn das Öl nicht sofort entfernt wird.
- Wasserundurchlässige Beläge erfahren kurzfristig eine Reduktion der Rauigkeitstiefe, da das Öl sich an der Oberfläche sammelt. Wenn das Öl nicht sofort entfernt wird, kann langfristig ggf. eine grössere Schädigung als bei herkömmlichen Belägen aufgrund der Textur, in der das Öl zeitweise in den Tälern steht, erfolgen.

### 4.2.2 Schnee / Eis<sup>24</sup>

Die Zustände des Belags unter der Einwirkung von Schnee und Eis können wie folgt

<sup>24</sup> Schnee und Eis haben rein akustisch betrachtet einen kurzfristigen Einfluss auf den Belag; nach Anwendung der Verfahren ist der akustische Zustand des Belags wie vor Anwendung (unter der Annahme, dass keine Folgeschäden entstanden sind).

beschrieben werden [61]:

- Schnee: fester Niederschlag aus kleinen Eiskristallen
- Winterglätte
  - Schneeglätte: durch Festfahren von Schnee oder Gefrieren von Schneematsch oder Schneeresten
  - Reifglätte: Gefrieren von Luftfeuchtigkeit auf der Fahrbahn.
  - Eisglätte: Gefrieren vorhandener Feuchtigkeit (überfrierende Nässe)
  - Glatteis: Bildung einer homogenen Eisschicht aufgrund von Eisregen oder Regen auf unterkühlte Fläche

Schnee und Eis haben rein akustisch betrachtet einen kurzfristigen Einfluss auf den Belag; nach Anwendung der Verfahren ist der akustische Zustand des Belags wie vor Anwendung (unter der Annahme, dass keine Folgeschäden durch andauernd lange und kalte Winter entstehen). Andauernd lange und kalte Winter belasten das Bitumen und machen es brüchig. Dadurch ist der Zusammenhalt der Gesteinskörner nicht mehr gegeben. Die Struktur des Belages verändert sich, Hohlräume verkleinern sich oder verschwinden, es können sich Belagsschäden (Kornausbrüche, Nachverdichtung) bilden [62] (Kap. 4.2.3).

### 4.2.3 Belagsschäden

Belagsschäden werden durch die in Norm SN 640 925b aufgeführten Schadensbilder beschrieben ([63], [64]). Es handelt sich dabei um kleinflächige Schäden, die

- örtliche Belagsschäden und
- örtliche strukturelle Schäden.

umfassen.

Aus akustischen Gesichtspunkten (Ebenheit, Kap. 2.3.2) werden die Schäden in fünf Schadensgruppen untergliedert:

- Belag bleibt eben
  1. Oberflächenglätte
  2. Leichte Materialverluste
  3. Risse, offene Nähte (ohne Unebenheit)
- Belag wird uneben
  4. Schwere Materialverluste
  5. Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten

#### 4.2.3.1 Oberflächenglätte

Oberflächenglätte entsteht bei lärmarmen Belägen nur durch „Polieren“ (Tabelle 13). Das Schadensbild „Schwitzen“ ist nach Expertenaussagen nicht zu erwarten, da überschüssiges Bitumen die vorhandenen Hohlräume ausfüllen würde ([65], [57]).

Tabelle 13: Oberflächenglätte ([63], [66])

Belags-schaden	Beschreibung
Polieren	Die Gesteinskörner sind an der Oberfläche mehr oder weniger glatt poliert, so dass die Mikrotextrur teilweise verschwindet [63]. Wenn relativ weiche (keine felsgebrochenen Hartsplitle) verwendet werden, besteht die Gefahr des Abschleifens (Polieren). Als Folge ist keine Mikrotextrur mehr vorhanden [66].

#### 4.2.3.2 Leichte Materialverluste

Leichte Materialverluste (Tabelle 14) können die Makrotextrur verändern, so dass die Hohlräume oder Täler des Belages verstopfen können. Die Megatextrur bleibt im Wesentlichen unverändert. Aus der Praxis wird übereinstimmend berichtet, dass Kornausbrüche akustisch nicht wirksam sind ([67], [68]).

Tabelle 14: Leichte Materialverluste ([63], [66])

Belagschaden	Beschreibung
Abrieb	Abnutzen des Oberflächenmaterials durch die mechanische Einwirkung des Verkehrs. Sichtbar vor allem in den Radspuren [63]. Entsteht durch mechanische Einwirkung des Verkehrs (z.B. Spikes, Schneeräumung, landwirtschaftliche Maschinen etc.) vor allem in der Fahrspur, in engen Kurven und im Kreuzungsbereich. Kann auch eine Folgeerscheinung des <u>Polierens</u> sein. [66]
Ausmagerung/ Absanden	Ausmageren der Oberfläche, indem sich zunächst das Feinmaterial herauslöst und es nachher zum Ausfall des Grobkorns kommt. Der Schaden erstreckt sich über die ganze Fahrbahnbreite [63]. Durch Verlust von Bitumenmörtel verursachte Herauslösung von Feinmaterial und später des Grobkorns. Im Gegensatz zum Abrieb über die ganze Fahrbahn verteilt [66].
Kornausrüche	Die groben Gesteinskörner an der Oberfläche sind einzeln oder in Gruppen aus dem bituminösen Mörtel herausgelöst [63]. Grobe Gesteinskörner werden durch geringe Haftfähigkeit des Bitumens (Umhüllung, Klebkraft) herausgelöst. Meistens ein Folgeprodukt von nicht sanierten Ausmagerungen. Bei Belägen mit grossem Hohlraumgehalt (Kategorien 1 und 2) treten Kornausrüche trotz hoher Klebkraft des Bitumens auf, da die Kontaktflächen zwischen den Gesteinskörnern geringer sind als bei einem Belag mit mittlerem oder niedrigem Hohlraumgehalt. Folge sind Schlaglöcher und Schäden bis in den Untergrund. [66]

#### 4.2.3.3 Risse, Nähte (ohne Unebenheit)

Bei diesen Schäden wird der Belag durch Risse geteilt; die bestehenden Belagsteile werden in ihrer Beschaffenheit nicht verändert (Tabelle 15).

Tabelle 15: Risse, Nähte (ohne Unebenheit) ([63], [66])

Belagschaden	Beschreibung
Längsrisse	Langgezogene Risse parallel zur Strassenachse meist in Strassenmitte im Übergang zwischen zwei Fahrstreifen oder in Fahrstreifenmitte [63]. Langgezogene Risse parallel zur Strassenachse meist in Strassenmitte im Übergang zwischen zwei Fahrstreifen oder Fahrstreifenmitte [66].
Netzrisse / Frostrisse	Risse, die den Belag in mosaikartig zusammengereimte Blöcke zerteilen. Netzmaschen > 300 mm reichen meist bis in die Foundationsschicht und kommen eher bei relativ dicken Belägen vor. Feinmaschige Netzrisse entstehen eher bei dünnen Belägen. Netzrisse befinden sich meistens in Setzungsmulden [63]. Risse, die den Belag in mosaikartige zusammengereimte Blöcke zerteilen. Netzmaschen > 300 mm reichen meist bis in die Foundationsschicht und kommen eher bei relativ dicken Belägen vor. Feinmaschige Netzrisse entstehen eher bei dünnen Belägen. Netzrisse befinden sich meistens in Setzungsmulden. Kleine mosaikartige Risse in wilder Form. Der Untergrund ist nicht frostsicher. [66]
Offene Nähte	Beim Einbau hergestellte Längs- und Quernähte sind stark ausgemagert oder reissen auf. Offene Nähte sind oft von parallelen Sekundärrissen flankiert [63]. Ausgemagerte, offene Arbeitsfugen begleitet von parallelen Sekundärrissen. Sie können längs wie quer zur Fahrbahn verlaufen. Ursache ist in den meisten Fällen mangelhafte Sorgfaltspflicht beim Einbau. [66]
Querrisse	Senkrecht zur Strassenachse verlaufende Risse. Im Allgemeinen treten Querrisse, die die ganze Fahrbahnbreite erfassen, in regelmässigen Abständen auf (vor allem bei zementstabilisierten Foundationsschichten), während kürzere Querrisse vereinzelt und unregelmässig auftreten [63]. Senkrecht zur Strassenachse auftretende, meist durchgehende zackenförmige Risse. Ursache dafür sind in den meisten Fällen ungleiche Ausdehnungen (kalt/warm) zw. Foundation und Tragschicht, z.B. zementstabilisierter Unterbau mit bituminöser Tragschicht (siehe auch Offene Nähte). [66]
Wilde Risse	Scheinbar zufällig quer und längs zur Strassenachse verlaufende Risse. Richtungsänderungen sind oft rechtwinklig [63], [66]

#### 4.2.3.4 Schwere Materialverluste

Bei den schweren Materialverlusten handelt es sich um die in Tabelle 16 genannten Schäden. Sie machen den Belag uneben.

Tabelle 16: Schwere Materialverluste ([63], [66])

Belags-schaden	Beschreibung
Ablösungen	Die Deckschicht löst sich von der Tragschicht ab. Die Oberfläche der darunterliegenden Schicht ist klar erkennbar [63]. Die Deckschicht löst sich durch mangelhafte, zerstörte Haftbrücke von der Tragschicht ab. Das Schadenbild breitet sich schnell aus. [66]
Schlaglöcher	Schalenförmige Löcher in der Fahrbahn, die teilweise bis in die Fundationsschicht reichen. Schlaglöcher sind meist eine Folge von Netzzissen, Ausmagerung oder Kornausbrüchen. [63] Im Gegensatz zu den Ablösungen reichen die Schlaglöcher in die Tragschicht hinein. Sie sind eine Folge von Kornausbrüchen, Ablösungen, Frost-, Netz- und wilden Rissen. [66]

#### 4.2.3.5 Strukturelle Schäden mit Rissen und/oder Unebenheiten

Die strukturellen Schäden führen zu Unebenheiten im Belag, die von Rissen begleitet werden können (Tabelle 17).

Tabelle 17 : Strukturelle Schäden mit Rissen und/oder Unebenheiten ([63], [66])

Belags-schaden	Beschreibung
Abgedrückte Ränder	Der Fahrstreifenrand ist durch die Verkehrsbelastung abgedrückt. Oft sind gleichzeitig auch Belagsrandrisse (21) vorhanden [63]. Der Fahrstreifen ist durch die Verkehrsbelastung abgedrückt. Oft sind gleichzeitig auch Belagsrandrisse vorhanden [66].
Anrisse von Setzungen	Risse, die eine Setzung des Strassenunterbaus oder des Untergrundes begrenzen. Der Rissverlauf ist – entsprechend der Gleitfläche – meist kreisbogenförmig. Der im Innern des Bogens liegende Teil der Belagsoberfläche ist meist etwas abgesenkt [63]. Risse, die eine Setzung des Strassenunterbaus oder des Untergrundes begrenzen. Der Rissverlauf ist – entsprechender Gleitfläche – meist kreisbogenförmig. Der im Innern des Bogens liegende Teil der Belagsoberfläche ist meist etwas abgesenkt [66].
Belagsrandrisse	Längs- und Netzzisse entlang den Belagsrändern, die sich immer weiter Richtung Fahrbahnmitte fortpflanzen [63]. Längs- und Netzzisse entlang den Belagsrändern, die sich immer weiter Richtung Fahrbahnmitte fortpflanzen [66].
Frosthebungen	Anhebung der Fahrbahn infolge gefrorenen Untergrundes. Da die Eindringtiefe des Frostes in Fahrbahnmitte grösser ist als am Rand, kommt es dort meist zu grösseren Hebungen. Risse entstehen infolge Zugspannung sowie beim Eindrücken des Belages während des Auftauens [63]. Anhebung der Fahrbahn infolge Gefrierens des Untergrundes. Da die Eindringtiefe des Frostes in Fahrbahnmitte grösser ist als am Rand, kommt es dort meist zu grösseren Hebungen. Risse entstehen infolge Zugspannung sowie beim Eindrücken des Belages während des Auftauens [66].
Setzungen/Einsenkungen	Lokale Setzungen oder Erhebungen meist mit rundem oder elliptischem Grundriss (Durchmesser 0,5 bis 20 m). Risse im Bereich der grössten Krümmung möglich [63]. Lokale Setzungen oder Erhebungen meist mit rundem oder elliptischem Grundriss (Durchmesser 0.5 bis 20m). Risse im Bereich der grössten Krümmung möglich [66].
Spurrinnen	Rinnenförmige Verformungen des Oberbaus entlang der Radspuren. Die Rinne ist meist von leichten Erhebungen (Wülsten) flankiert. Die Verformungstiefe reicht meist nur bis zur Fundationsschicht, in seltenen Fällen auch tiefer [63]. Senkungen in der Radspur, flankiert von Wülsten. Meistens nur bis zur Tragschicht. Verursacher - Schwerverkehr. Haftungsproblematik zw. Strasseneigentümer und Verkehrsteilnehmer SN 640 925 [66].
Aufwölbungen	Wulstartige Erhöhungen entlang dem Fahrspurrand. Erscheint meist zusammen mit Spurrinnen nahe dem Fahrbahnrand. Oft gleichzeitig auch Belagsrandrisse (21) vorhanden. [63] Wülste entlang der Fahrspur (siehe dazu auch Spurrinnen). Treten oft nahe dem Fahrbahnrand auf. Verursacher : Schwerverkehr. Haftungsproblematik zw. Strasseneigentümer und Verkehrsteilnehmer SN 640 925 [66]
Wellblechverformungen	Kleine Wellen quer zur Fahrtrichtung, die sich hauptsächlich vor Stoppsignalen und in steilen Abschnitten befinden. Die Wellenabstände sind relativ klein (100 bis 150 mm), so dass ein Fahrzeug beim Befahren von Wellblechverformungen vibriert. Von der Verformung betroffen sind meist nur die obersten Belagsschichten [63], [66]



Belags-schaden	Beschreibung
Schubverformungen	Horizontale Verformungen der Belagsoberfläche im Bereich der Radspur vor Stoppsignalen und in steilen Abschnitten. Schubverformungen weisen Risse schräg zur Fahrtrichtung auf. [63] Horizontale Verformung der Belagsoberfläche im Bereich der Radspur vor Stoppsignalen und in steilen Abschnitten. Schubverformungen weisen Riss schräg zur Fahrbahn auf. [66]

Wegen des verformungsresistenten Materials der Deckschicht bei lärmarmen Belägen treten Verformungen nur aufgrund struktureller Schäden im Untergrund auf. Die Verformungen sind daher in den "Strukturellen Schäden mit Rissen und Unebenheiten" integriert ([57], [65]).

### 4.3 Unterhaltsverfahren (UV) innerorts

Grundlage für die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren (UV) für lärmarme Beläge sind die in der Literatur genannten Verfahren der drei Tätigkeitsbereiche für herkömmliche Beläge:

- Reinigung [69-73]
- Winterdienst [26], [61], [74 bis 77]
- Kleiner baulicher Unterhalt [57] [78] [79] [80] [81] [82]

Bei den Verfahren werden in Bezug auf den Zeitpunkt der Anwendung zwei Arten unterschieden:

- kurative Verfahren: werden nach Eintreten der Zustandsänderung angewendet.
- präventive Verfahren: werden vor Eintreten der Zustandsänderung angewendet, wenn sich die Zustandsänderung unmittelbar abzeichnet (z.B. aufgrund der Wettervorhersage oder erster Anzeichen von Belagsschäden)

#### 4.3.1 Reinigung

Das Ziel der Reinigung ist die Entfernung von Verschmutzungen von der Belagsoberfläche und bei offenporigen Belägen (Kategorie 1) ggf. aus den Belagsporen. Generell kommen für herkömmliche Beläge von Fahrbahnen innerorts vier Reinigungsverfahren zur Anwendung [54, 83] [84] (Tabelle 18).<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Die Reinigung der Entwässerungsrinnen bei den offenporigen Belägen ist nicht Gegenstand der Untersuchung.

Tabelle 18: Reinigungsverfahren und ihre Wirkungsweise

Art des Verfahrens	Name des Verfahrens	Wirkungsweise	Aufnahme von Hilfsstoffen / Materie
Trockenreinigung	kehren und saugen	saugt auf einem Teil der Fahrzeugbreite, auf dem anderen Teil wird zum Saugmund hin gekehrt, kann festsitzenden Schmutz nicht lösen	je nach Belag ganz oder teilweise
Nassreinigung	sprengen, schwemmen (Niederdruckreinigung)	schwenkbar installierte Spülbrausen; bodennaher Wasserstrahl für Reinigung unter parkenden Fahrzeugen [70]; Wasserstrahl mit bis zu 20 bar [85]	nein
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	Wasserstrahl mit 100 - 150 bar [85] <i>bei festsitzendem Schmutz:</i> Schmutz wird angesprüht mit Hochdruck, dadurch gelöst und mit der Kehrmaschine aufgenommen <i>bei Ölspur:</i> Eine spezielle Reinigungslösung für Öl, Diesel, Biodiesel und Benzin wird auf die Ölspur gesprüht. Anschliessend wird bis zu 95° C heisses Wasser mit sehr hohem Druck von bis zu 200 bar auf den Strassenbelag gepresst. Das Schmutzwasser wird von einer hydraulischen Hochdruck-Turbine sofort aufgesaugt und in einem Tank aufgefangen (und evtl. rezykliert) [86]	ja (evtl. geschlossener Wasserkreislauf)
	Schrubbsaugverfahren	Mit Reinigungsmittel versetztes und erwärmtes Wasser wird durch rotierende Bürsten in die Oberfläche eingearbeitet. Verschmutzung (Öl, Fette, Kadaver) wird mit dem Wasser nach oben geschwemmt und aufgesaugt.	ja Aufsaugen des Schmutzwassers

Tabelle 19 zeigt, welches Reinigungsverfahren bei welcher Verschmutzung zur Anwendung kommt.

Tabelle 19 : Reinigungsverfahren je Zustand<sup>26</sup>

Verfahren / Zustand	kehren und saugen	sprengen, schwemmen	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	Schrubbsaugverfahren
loser Schmutz	kurativ	kurativ	kurativ	kurativ
festsitzender Schmutz	kurativ	kurativ	kurativ	kurativ
Ölspur	kurativ (nach vorherigem Abstreuen)	kurativ (nach vorherigem Abstreuen)	kurativ	kurativ

### 4.3.2 Winterdienst

Der Winterdienst hat zum Ziel, Glättebildung zu vermeiden und entstandene Glätte zu beseitigen oder zu minimieren ([61], S.7). Im Winterdienst kommen für die herkömmliche Beläge von Fahrbahnen innerorts generell fünf Verfahren in Frage.

<sup>26</sup> Die Vor- und Nachteile von Hochdruckverfahren im Vergleich mit Schrubbsaugverfahren sind nicht wissenschaftlich untersucht ([87], [88]).

Tabelle 20: Winterdienstverfahren und ihre Wirkungsweise

Art des Verfahrens	Name des Verfahrens	Wirkungsweise	Aufnahme von Hilfsstoffen / Materie
Schneebeseitigung	mechanische Räumung (pflügen)	Schnee wird mechanisch zur Seite geschoben	nein
Bekämpfung der Winterglätte	Trockensalz streuen	auftauende Wirkung durch Herabsetzen des Gefrierpunktes (physikalisch-chemisch)	nein
	Feuchtsalz streuen		nein
	Sole sprühen		nein
	Splitt streuen	abstumpfende Wirkung (mechanisch)	ja, nach Winterende

Tabelle 21 zeigt, welche Winterdienstverfahren bei welchem Zustand prinzipiell in Frage kommen.

Tabelle 21: Winterdienstverfahren je Zustand (nach [90] und Angaben aus der Praxis)

Verfahren Zustand	mechanische Räumung (pflügen)	Trockensalz streuen	Feuchtsalz streuen	Sole sprühen	Splitt streuen
Schnee	kurativ -	kurativ -	kurativ, präventiv	- präventiv	kurativ -
Schneeglätte	kurativ -	kurativ -	kurativ, präventiv	- präventiv	kurativ -
Reifglätte	-	kurativ -	kurativ, präventiv	kurativ, präventiv	kurativ -
Eisglätte	-	kurativ -	kurativ, präventiv	- präventiv	kurativ -
Glatteis	-	kurativ -	- präventiv	- präventiv	kurativ -

### 4.3.3 Kleiner baulicher Unterhalt

Ziel des kleinen baulichen Unterhalts ist es, die Befahrbarkeit der Strasse aufrechtzuerhalten und das Entstehen grösserer Schäden zu vermeiden ([78], S. 8; [91], S. 9). Die empfohlenen Verfahren für den kleinen baulichen Unterhalt von lärmarmen Belägen innerorts sind in Tabelle 22 aufgeführt<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> Das Verfahren „Aufbringen von Schlämmen und Porenfüllmassen“ wird nicht weiter in Betracht gezogen, weil es nur bedingt empfohlen wird [80].

Tabelle 22: Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts und ihre Wirkungsweise<sup>28</sup>

Name des Verfahrens	Wirkungsweise
(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen [78]	Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen (evtl. nach vorherigem Anspritzen mit Bitumenemulsion); Oberflächenbehandlung Anspritzen mit Bitumenemulsion und Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen; Abstreuen mit gewaschenem Brechsand oder vorumhülltem Splitt [92]
Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen [78]	Verfüllen entsprechend vorbereiteter, klaffender Risse mit Fugenmasse; Abdecken nicht verfüllbarer, feiner Risse mit schmelzbaren Massen (dünn auftragen und absplitten) oder vorgefertigten Dichtungsbändern [92]
Ausbessern / Verfüllen mit Asphaltmischgut (kalt oder heiss) [78]	Auffüllen tieferer Schadstellen (z.B. Schlaglöcher) mit heissverarbeitbarem Mischgut (ggf. lagenweise); Ausgleichen flacher Vertiefungen (aufgrund verschiedener Ursachen) mit schnell abbindendem, kaltverarbeitbarem Mischgut [92] Bei Verformungen inkl. vorherigem Abfräsen der Unebenheiten, Reinigung und Voranstrich mit Haftvermittler [78] Das verwendete Mischgut ist ein herkömmliches, nicht lärmarmes [65].
Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung [78]	Ausfräsen oder andersartiges Ausbauen schadhafter Bausubstanz und Ersatz durch (ggf. schichtweises) Einbauen von heissverarbeitbarem Mischgut [92] Dieses Verfahren wird für zwei Fälle unterschieden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das verwendete Mischgut ist ein herkömmliches, nicht lärmarmes [92] („Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)“)</li> <li>• Das verwendete Mischgut ist das gleiche wie beim Einbau des Belages („Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)“).</li> </ul> Die örtliche Belagserneuerung ist lokal (Flick); die Oberbauerneuerung umfasst eine Fahrbahnbreite oder alle Fahrbahnen.
Abfräsen [78]	Abfräsen von Unebenheiten (Warmfräsen, Kaltfräsen) [93] Abtrag von Asphalt mit Hilfe einer rotierenden Fräswalze, die mit Fräswerkzeugen (z.B. Meisseln) besetzt ist ([94]).
Aufrauen [78]	Polierte Gesteinsoberflächen werden durch mechanische Bearbeitung der Oberfläche aufgeraut, bspw. durch Feinfräsen, Rillenfräsen, Kugelstrahlen u.a. Die Mikro- und Makrorauheit wird dadurch erhöht ([95], S.9.; [80], S. 33).
Rückformen (Reshape, Remix) <sup>29</sup> (örtlich) [80]	Das Rückformen ist eine Deckschichtsanierung. Sie erfolgt durch Aufheizung, Aufnahme und Durchmischung der Asphaltdeckschicht (ggf. unter Zugabe von Ergänzungsmischgut) und anschliessendem Wiedereinbau. Der Belag wird normalerweise abgestreut und gewalzt. Es handelt sich um eine verbindungs-freie Reparatur; sie ist daher besonders geeignet für offenporige Asphaltbeläge [97]. Die Anwendung dieses Verfahrens bei lärmarmen Belägen bedarf weiterer Forschung.
Aufbringen eines Konservierungsmittels (präventiv) [98]	Oberflächenbehandlung, die auf die Strasse kalt aufgesprüht wird, bestehend aus zu 99% reinem Naturasphalt. Schützt die Asphaltoberfläche vor Witterungseinflüssen, Oxidation und Abnutzung durch den Verkehr und stoppt den Verfall der bituminösen Oberfläche. Mit eingeschlossen in dieses Verfahren ist das Aufbringen eines Zwei-Komponenten-Kunststoffes wie in den Niederlanden üblich C Die Anwendung dieses Verfahrens bei lärmarmen Belägen bedarf weiterer Forschung.

Je nach Schaden werden unterschiedliche Verfahren (Tabelle 23) angewendet.<sup>30</sup>

<sup>28</sup> Beim kleinen baulichen Unterhalt wird nicht nach „Art des Verfahrens“ unterschieden.

<sup>29</sup> Wird „Instandsetzungsverfahren“ genannt, kann aber auch in kleinem Rahmen durchgeführt werden [96].

<sup>30</sup> Eine detaillierte Zuordnung der Unterhaltsverfahren zu den Belagsschäden findet sich im Anhang,

Tabelle 23: Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts je Schadensgruppe; K = kurativ, P = präventiv ([78]; [80], S.28; [96])

Verfahren / Schadensgruppe	Anspritzen und Abstreuen/ Oberflächenbehandlung	Verfüllen und Vergessen von Fugen / Rissen	Ausbessern / Verfüllen mit Asphaltmischgut (kalt oder heiss)	Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)	Abfräsen Unebenheiten von	Aufrauen	Rückformen (örtlich)	Aufbringen eines Konservierungsmittels
Oberflächenglätte	K	-	-	K	K	-	K	-	-
Leichter Materialverlust	K	-	-	K	K	-	-	K	P
Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	K	K	-	K	K	-	-	K <sub>31</sub>	-
Schwere Materialverluste	-	-	K	K	K	-	-	K	-
Strukturelle Schäden mit Rissen und/ oder Unebenheiten	K	K	K	K	K	K	-	- <sub>32</sub>	-

## 4.4 Weg 1: Qualitative Herleitung

In diesem Kapitel wird mittels qualitativer Überlegungen versucht, die **akustische** Wirkung der **kurativen** Unterhaltsverfahren auf die einzelnen Belagskategorien anhand der Entwicklung der massgebenden Parameter zur Lärmreduktion „Hohlraumgehalt“, „Wasserdurchlässigkeit“ und „Rauigkeitstiefe“ (Kap. 3) darzustellen (Bei den Belagsschäden mit Unebenheit kommt die Ebenheit als weitere Beurteilungsgrösse hinzu, siehe Kap. 4.4.3.3). Die Beurteilung erfolgt **nur** bezüglich der akustischen Betrachtungsebene (Kap. 2.3.3).

### 4.4.1 Bewertungssystematik

Die qualitative Herleitung untersucht die Veränderung der Belagszustände (anhand der drei Parameter) für folgende Zeitpunkte:

- Sollzustand nach dem Einbau: Kap. 4.4.2
- Istzustand nach äusseren Einwirkungen: Kap. 4.4.3
- Istzustand nach Anwendung des Unterhaltsverfahrens: Kap. 4.4.4

#### Sollzustand

Im Sollzustand nach dem Einbau haben die Parameter ihre ursprünglichen Werte.

#### Istzustand nach äusseren Einwirkungen

Aufgrund äusserer Einwirkungen können sich die Werte der Parameter in drei Richtungen entwickeln<sup>33</sup>:

- Der Wert des Parameters ändert sich nicht, er ist wie ursprünglich („wie ursprünglich“; Zahlenwert = „0“).

<sup>31</sup> Ob das Rückformen bei Rissen sinnvoll ist, hängt davon ab, wie tief sie gehen und was die Ursache ist. Evtl. treten die Risse nach einiger Zeit wieder auf [99].

<sup>32</sup> Da das Rückformen eine Deckschichtsanierung ist, wird dieses Verfahren bei den Verformungen nicht empfohlen, da diese struktureller Natur sind und nicht nur die Deckschicht betreffen.

<sup>33</sup> Mit diesem Ansatz werden die jeweiligen Zustände durch ganze Zahlen beschrieben.

- Der Wert des Parameters verändert sich; er weicht ab vom ursprünglichen Wert („verschlechtert sich“, Zahlenwert = „-2“).
- Der Wert des Parameters ist unklar (unklar = „?“)

### **Istzustand nach Anwendung des Unterhaltsverfahrens**

Die Beurteilung der Wirkung der Unterhaltsverfahren erfolgt durch Abschätzung der Werte der Belagsparameter auf der **akustischen** Betrachtungsebene (Kap. 2.3.3). Dabei wird die Wirkung für *sachgemäss angewendete* Verfahren beurteilt. Basis der Beurteilung sind die Werte der Parameter im Istzustand nach äusseren Einwirkungen.

Die Beurteilung der Wirkung der Unterhaltsverfahren wird in zwei Schritten durchgeführt:

- Wirkung des Verfahrens je Parameter
- Wirkung der Verfahren für die Belagskategorie (Ergebnis der Entwicklung der drei Parameter)

Die Wirkung eines Verfahrens je Parameter wird gemäss Tabelle 24 beurteilt.

*Tabelle 24 : Schema zur Beurteilung der Wirkung der Unterhaltsverfahren*

„Wert“ des Parameters nach äusseren Einwirkungen		„Wert“ des Parameters nach der Wirkung des Unterhaltsverfahrens		Wirkung des Unterhaltsverfahrens auf den Parameter	
Zahlenwert (x)	qualitative Beschreibung	Zahlenwert (y)	qualitative Beschreibung	Wirkungszahl y - x	qualitative Beschreibung
0	Der Parameter ist unverändert, er ist wie im ursprünglichen Zustand.	-1	Der Parameter verschlechtert sich gegenüber dem ursprünglichen Zustand	-1	ungünstig
		0	Der Parameter bleibt im ursprünglichen Zustand.	0	neutral
		?	Die Wirkung des Unterhaltsverfahrens ist unklar.	-	unklar
-2	Der Parameter verschlechtert sich, weicht ab vom ursprünglichen Zustand.	-3	Der Parameter verschlechtert sich noch mehr.	-1	ungünstig
		-2	Das Unterhaltsverfahren ändert nichts, der Parameter ist immer noch gleich schlecht.	0	neutral
		-1	Der Zustand verbessert sich teilweise.	1	teilw. günstig
		0	Der Parameter ist wie im ursprünglichen Zustand.	2	<b>günstig</b>
		?	Die Wirkung des Unterhaltsverfahrens ist unklar.	-	unklar
?	Der Wert des Parameters ist unklar.	?	Dann ist auch die Wirkung des Unterhaltsverfahrens unklar.	-	unklar

Die Wirkung eines Verfahrens auf einen Parameter wird durch die Wirkungszahl beschrieben; sie ist die Differenz der Zahlenwerte vor und nach Wirkung des Unterhaltsverfahrens.

Die Wirkungszahl führt zu fünf möglichen Aussagen je Parameter (Tabelle 25).

*Tabelle 25: Wirkung der Unterhaltsverfahren auf die Belagsparameter*

Mass der Wirkung des Verfahrens auf die Belagsparameter		Beispiel	Wert Wirkungszahl
günstig	Der ursprüngliche Wert des Parameters ist ganz wiederhergestellt.	Die durch Verschmutzung reduzierte Rauigkeitstiefe wird durch das Verfahren wiederhergestellt.	2
teilweise günstig	Der Wert des Parameters Ausgangszustand wird teilweise wiederhergestellt	Die durch Verschmutzung reduzierte Rauigkeitstiefe wird durch das Verfahren teilweise wiederhergestellt.	1
neutral	Das Verfahren hat keine Wirkung auf den Parameter, er bleibt unverändert.	Die durch Verschmutzung reduzierte Rauigkeitstiefe bleibt reduziert.	0
ungünstig	Ein Parameter im ursprünglichen Zustand verschlechtert sich teilweise.	Die Rauigkeitstiefe im ursprünglichen Zustand wird durch das Verfahren teilweise verringert/erhöht.	-1
unklar	Die Wirkung eines Unterhaltsverfahrens kann nicht eindeutig beurteilt werden.	Der Hohlraumgehalt kann durch Anwendung des Verfahrens sowohl verringert als auch erhöht werden.	-

Zusammenfassend wird die Entwicklung der drei einzelnen Parameter zu gleichen Teilen gemittelt, um das Ergebnis für die Eignung des Verfahrens je Belagskategorie zu erzielen (Tabelle 26).

Tabelle 26: Wirkung der Unterhaltsverfahren auf den Belag

Mass der Wirkung der Verfahren auf den Belag		Wertebereich des Mittelwerts der Wirkungszahlen
günstig reversibel	Das Verfahren bewirkt eine massgebliche Verbesserung. Es <u>kann</u> die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes bewirken.	> 1.5
teilweise günstig/teilweise reversibel	Das Verfahren bewirkt eine partielle Verbesserung des Zustandes.	zwischen 0.5 und 1.5
neutral	Das Verfahren bewirkt keine Veränderung des Zustandes, also keine Verbesserung aber auch keine Verschlechterung.	zwischen 0 und 0.5
ungünstig	Das Verfahren wirkt ungünstig, der Zustand verschlechtert sich.	unter 0

Die drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion stehen in dieser qualitativen Herleitung stellvertretend für die Eigenschaften des Belages. Damit wirkt ein Unterhaltsverfahren auf vier Arten auf einen Belag:

- Der Belag wird in den Sollzustand versetzt (weitgehende oder vollständige Zustandsverbesserung).
- Der Belag wird teilweise in den Sollzustand versetzt (teilweise Zustandsverbesserung).
- Der Belag bleibt im Istzustand; das Verfahren wirkt neutral (keine Zustandsänderung).
- Der Belag wird in einen ungünstigeren Zustand versetzt (Zustandsverschlechterung).

#### 4.4.2 Sollzustand

Nach dem Einbau befindet sich ein Belag im ursprünglichen Zustand (Sollzustand), der ursprüngliche Eigenschaften aufweist (Abbildung 6, Kap. 2.3.3).

Der Belag ist eben (Megatextur, Kap. 2.3.2).

Die Werte der massgebenden Parameter zur Lärmreduktion im Sollzustand entsprechen den Eigenschaften des Belags nach dem Einbau (vgl. Kategorisierung, Kap. 3).

Tabelle 27: Werte der Parameter im Sollzustand

Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)
	wasserdurchlässig	ja
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)
	wasserdurchlässig	nein
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)
	wasserdurchlässig	nein
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)
	wasserdurchlässig	nein
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)

#### 4.4.3 Istzustand nach äusseren Einwirkungen

Durch die äusseren Einwirkungen verändert sich ggf. der Zustand des Belags nach dem Einbau und weist ggf. eine veränderte Megatextur sowie ggf. veränderte Werte der massgebenden Parameter zur Lärmreduktion auf.

Ausgehend vom Sollzustand wird das Verhalten der massgebenden Parameter zur Lärmreduktion für die in Tabelle 12 genannten Zustandsänderungen **qualitativ** beschrieben.

##### 4.4.3.1 Verschmutzung

Tabelle 28 zeigt für jede Belagskategorie die Veränderung der Parameter bei Verschmutzung (loser Schmutz, festsitzender Schmutz und Verschmutzung durch Öl; Kap. 4.2.1).

Tabelle 28: Entwicklung der massgebenden Parameter bei Verschmutzung

Sauberkeit			loser Schmutz	festsitzender Schmutz	Ölspur			
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wert nach Zustandsänderung	Wert nach Zustandsänderung			
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	-2	versch. sich	-2	versch. sich	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	ja	-2	versch. sich	-2	versch. sich	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	-2	versch. sich	-2	versch. sich	0	wie urspr.
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	?	unklar	?	unklar	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.	0	wie urspr.	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0	wie urspr.	-2	versch. sich	0	wie urspr.
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	?	unklar	?	unklar	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.	0	wie urspr.	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0	wie urspr.	-2	versch. sich	0	wie urspr.
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0	wie urspr.	0	wie urspr.	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.	0	wie urspr.	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0	wie urspr.	-2	versch. sich	0	wie urspr.



**Kategorie 1:**

Bei den Belägen der Kategorien 1 „porös“ wird feiner loser Schmutz früher oder später zu feststehendem Schmutz, der die Poren verstopft. Alle drei Parameter verschlechtern sich.

**Kategorien 2, 3 und 4:**

Bei den Belägen der Kategorie 2, 3 und 4 wirkt sich nur feststehender Schmutz negativ auf die Rauigkeitstiefe aus. Loser Schmutz wird weggeweht oder durch Selbstreinigung bei Regen über die Neigung der Strassen abgeführt. Bei den Belägen der Kategorien 2 und 3 ist unklar, in wie weit der Belag aufgrund seines erhöhten Hohlraumgehaltes im Vergleich zu einem herkömmlichen Belag durch das Feinstmaterial (Feinstaub) im Schmutz verstopft wird, was eine Reduzierung des Hohlraumgehaltes zur Folge hätte.

**Alle Kategorien:**

Eine Ölspur hat kurzfristig akustisch betrachtet keine negativen Auswirkungen, muss aber zügig und vollständig entfernt werden, um langfristig einen Schaden durch chemisches Angreifen des Bitumens im bzw. am Belag und dadurch Zerstörung der Belagsstruktur zu vermeiden.

**4.4.3.2 Schnee und Winterglätte**

Tabelle 29 zeigt für jede Belagskategorie die Veränderung der Parameter bei Einwirkung von Schnee und Winterglätte.

*Tabelle 29: Entwicklung der massgebenden Parameter bei Schnee und Eis*

Schnee- /Eisfreiheit			Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	ja	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0	wie urspr.
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0	wie urspr.
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0	wie urspr.
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0	wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0	wie urspr.

**Alle Kategorien:**

Kurzfristig ist durch Schnee und Winterglätte die akustische Wirkung der Beläge zwar vermindert (z.B. sind die Poren der offenporigen Beläge mit Schnee verstopft). Nach dem Abschmelzen des Schnees oder Eises ist der Belag jedoch wieder wie zuvor<sup>34</sup>. Die Belagsstruktur bleibt die gleiche und die massgebenden Parameter zur Lärmreduktion (Kap. 2.3.2) verändern sich nicht.

**4.4.3.3 Belagsschäden**

Bestimmte Schäden können zu Unebenheiten im Belag führen (Schadensgruppen 4 „Schwere Materialverluste“ und 5 „Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten“)

Bei diesen Schäden entsteht Lärm in erster Linie durch die Unebenheit bezüglich der

<sup>34</sup> Vorsicht jedoch bei lange andauernden und kalten Wintern (Kap. 4.2.2)

Megatextur ([38], S. 32) und erst in zweiter Linie durch den Verlust der lärmtechnischen Eigenschaften hinsichtlich Makrotextur und/oder Hohlraumgehalt.

Für die qualitative Herleitung zur Auswahl geeigneter Verfahren *im kleinen baulichen Unterhalt* wird daher die Beschaffenheit der Megatextur als weitere Beurteilungsgrösse ergänzt.

Tabelle 30 zeigt für jede Belagskategorie die Veränderung der Parameter bei Belagschäden (Kap. 4.2.1).

Tabelle 30: Entwicklung der massgebenden Parameter bei Belagsschäden

Belagsschäden			1 Polieren	2 Leichte Materialverluste	3 Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	4 Schwere Materialverluste	5 Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wert nach Zustandsänderung	Wert nach Zustandsänderung	Wert nach Zustandsänderung	Wert nach Zustandsänderung
1 porös (ZWOPA 8/16)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	? unklar	0 wie urspr.	? unklar	0 wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	? unklar	0 wie urspr.	? unklar	0 wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.	0 wie urspr.
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.	-2 verschl. sich	0 wie urspr.
Megatextur (alle Kategorien)			0	0	0	-2	-2

#### Kategorie 1:

Bei Schäden der Schadensgruppe 1 (Oberflächenglätte), 2 (leichte Materialverluste) und 4 (schwere Materialverluste) ist davon auszugehen, dass der poröse Belag durch Ausbruchmaterial verstopft wird, was eine Reduzierung des Hohlraumgehaltes, der Wasserdurchlässigkeit sowie der Rauigkeitstiefe zur Folge hat. Schäden der Schadensgruppe 3 „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“ und 5 „Strukturelle Schäden“ hingegen führen zu keiner Veränderung der drei massgebenden Parameter in Kategorie 1.

#### Kategorie 2 und 3:

Bei Schäden der Schadensgruppe 1 (Oberflächenglätte), 2 (leichte Materialverluste) und 4 (schwere Materialverluste) ist unklar, in wie weit der Belag aufgrund seines erhöhten Hohlraumgehaltes im Vergleich zu einem herkömmlichen Belag durch das Feinstmaterial (Feinstaub) im Ausbruchmaterial verstopft wird, was eine Reduzierung des Hohlraumgehaltes zur Folge hätte. Die Wasserundurchlässigkeit erfährt jedoch keine Veränderung; die Rauigkeitstiefe verschlechtert/verringert sich ggf. in Folge der Schäden. Schäden der Schadensgruppe 3 „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“ und 5 „Strukturelle Schäden“ führen zu keiner Veränderung der drei massgebenden Parameter.

#### Kategorie 4:

Bei Schäden der Schadensgruppe 1 (Oberflächenglätte), 2 (leichte Materialverluste) und 4 (schwere Materialverluste) verschlechtert sich die Rauigkeitstiefe. Schäden der Schadensgruppe 3 „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“ und 5 „Strukturelle Schäden“ führen zu keiner Veränderung der drei massgebenden Parameter.

#### Alle Kategorien:

Schäden der Schadensgruppe 1 (Oberflächenglätte), 2 (leichte Materialverluste) und 4 (schwere Materialverluste) beeinflussen die Ebenheit und somit die Megatextur eines Belages nicht; Schäden der Schadensgruppe 3 „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“ und 5 „Strukturelle Schäden“ führen zu einer lokalen Veränderung und Verschlechterung der Megatextur (Unebenheiten).

## 4.4.4 Istzustand nach Anwendung des Unterhaltsverfahrens

### 4.4.4.1 Reinigung

#### Loser Schmutz

Tabelle 31 umfasst die Ergebnisse der qualitativen Herleitung für die Wirkung der Reinigungsverfahren bei losem Schmutz.

Tabelle 31: Reinigung bei losem Schmutz

Belagskategorie und Referenzbelag	Sauberkeit		loser Schmutz	kehren & saugen		sprengen, schwemmen		Hochdruckreinigung mit Absaugung		Schrubbsaugverfahren		
	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag		Wirkung UV auf Belag		Wirkung UV auf Belag		Wirkung UV auf Belag		
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	-2	versch. sich								
	wasserdurchlässig	ja	-2	versch. sich	unklar	unklar	unklar	unklar	1	teilw. günstig	1	teilw. günstig
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	-2	versch. sich								
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	?	unklar								
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	0	neutral
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0	wie urspr.								
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	?	unklar								
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	0	neutral
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0	wie urspr.								
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0	wie urspr.								
	wasserdurchlässig	nein	0	wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	0	neutral
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0	wie urspr.								

#### Kategorie 1:

Für Kategorie 1 („porös“) entwickelt sich loser Schmutz mit der Zeit zu feststehendem Schmutz. Hier ist die Wirkung von „Kehren und Saugen“ sowie „Schwemmen, Sprengen“ unklar, da diese Verfahren einerseits zu einer teilweisen Entfernung des Schmutzes, andererseits aber auch zu einer Verstopfung der Poren führen können. Bei der Anwendung von „Hochdruckreinigung mit Absaugung“ und „Schrubbsaugverfahren“ kann für Kategorie 1 eine teilweise günstige Wirkung erzielt werden, weil der Schmutz zwar nicht restlos aber überwiegend entfernt werden kann<sup>35</sup> und die drei Parameter sich dem Sollzustand annähern.

#### Kategorien 2 bis 4:

Für die Belagskategorien 2 bis 4 ergibt sich eine neutrale Wirkung bei allen vier Reinigungsverfahren, weil loser Schmutz die Wasserundurchlässigkeit und die Rauigkeitstiefe in diesen Belagskategorien nicht beeinflusst (ebenso Hohlraumgehalt bei Kategorie 4) und demnach keine Wirkung durch eine Reinigung erzielt werden muss. Das heisst die Anwendung von Reinigungsverfahren bei losem Schmutz hat in Kategorien 2 bis 4 akustisch keine Notwendigkeit.

#### Festsitzender Schmutz

Tabelle 32 umfasst die Ergebnisse der qualitativen Herleitung für die Wirkung der Reinigungsverfahren bei feststehendem Schmutz.

<sup>35</sup> Die Wirkung von absaugenden Verfahren ist durch den Atmosphärendruck und durch Leckströmungen begrenzt ([2], S. 207).

Tabelle 32 : Reinigung bei feststehendem Schmutz

Sauberkeit			festsetzender Schmutz	kehren & saugen	sprengen, schwemmen	Hochdruckreinigung mit Absaugung	Schrubbsaugverfahren
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	-2 verschl. sich	0 neutral	unklar	1 teilw. günstig	1 teilw. günstig
	wasserdurchlässig	ja	-2 verschl. sich				
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	-2 verschl. sich				
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	? unklar	0 neutral	1 teilw. günstig	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	-2 verschl. sich				
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	? unklar	0 neutral	1 teilw. günstig	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	-2 verschl. sich				
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	0 neutral	1 teilw. günstig	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	-2 verschl. sich				

Alle Kategorien:

Für *alle* Belagskategorien ergibt die qualitative Herleitung eine neutrale Wirkung bei „Kehren und Saugen“, weil der Schmutz durch dieses Verfahren nicht gelöst werden kann.

Kategorie 1:

Für Kategorie 1 „porös“ ist die Wirkung von „Schwemmen, Sprengen“ unklar, da dieses Verfahren einerseits zu einer teilweisen Entfernung des Schmutzes, andererseits auch zu einer weiterführenden Verfestigung des Schmutzes und zur Verstopfung der Poren beitragen kann. Bei der Anwendung von „Hochdruckreinigung mit Absaugung“ und „Schrubbsaugverfahren“ kann für diese Kategorie eine teilweise günstige Wirkung erzielt werden, weil der Schmutz zwar nicht restlos aber überwiegend entfernt werden kann und die drei Parameter weitgehend wiederhergestellt werden können.<sup>36</sup>

Kategorien 2 bis 4:

„Schwemmen, Sprengen“ erweist sich für die Kategorien 2 bis 4 als teilweise günstig, weil der Schmutz teilweise, aber nicht restlos entfernt werden kann. Ausschlaggebender Parameter ist hier die Rauigkeitstiefe, welche über die Textur die Lärminderung beeinflusst und durch festsetzenden Schmutz verringert wird. Bei der Anwendung von „Hochdruckreinigung mit Absaugung“ und „Schrubbsaugverfahren“ auf Kategorie 2 bis 4 kann eine günstige Wirkung erzielt werden, weil der festsetzende Schutz weitgehend entfernt und die Rauigkeitstiefe wiederhergestellt werden kann. Aufgrund der weitgehenden Wasserundurchlässigkeit der Beläge der Kategorien 2, 3 und 4 (im Vergleich zu einem porösen Belag) haben die untersuchten Nassreinigungsverfahren keine Wirkung auf eine mögliche Verstopfung durch Feinstaub.

### Ölspur

Tabelle 33 umfasst die qualitative Herleitung für die Wirkung der Reinigungsverfahren bei Auftreten einer Ölspur.

<sup>36</sup> Die Wirkung von absaugenden Verfahren ist durch den Atmosphärendruck und durch Leckströmungen begrenzt (ibid., S. 207).

Tabelle 33: Reinigung bei Ölspur

Sauberkeit			Ölspur	kehren & saugen (nach Abstreuen)	sprengen & schwemmen (nach)	Hochdruckreinigung mit Absaugung	Schrubbsaugverfahren				
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag				
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-1	ungünstig	-1	ungünstig	unklar	unklar	unklar	unklar
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.								
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	0	neutral
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.								
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	0	neutral
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.								
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	0	neutral
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.								

Kategorie 1:

Die Porosität des Belags in Kategorie 1 ermöglicht ein Eindringen des Öls in den Belag. „Kehren und Saugen nach Abstreuen“ wirkt ungünstig, weil das Abstreumaterial in die Poren eindringt, den Hohlraumgehalt, die Wasserdurchlässigkeit und die Rauigkeitstiefe verschlechtert und ggf. nicht mehr restlos entfernt werden kann. „Sprengen, Schwemmen“ wirkt ungünstig, weil das Öl ggf. weiter in den Belag geschwemmt wird und dadurch der Belag langfristig zerstört werden kann. Unklar ist die Wirkung von „Hochdruckreinigung mit Absaugen“ sowie „Schrubbsaugverfahren“ bei Belägen der Kategorie 1, weil eine restlose Entfernung des Öls nicht als gesichert angenommen werden kann.<sup>37</sup>

Kategorien 2 bis 4:

Die qualitative Herleitung für Ölspur ergibt für Belagskategorie 2, 3 und 4 eine neutrale Wirkung bei allen Unterhaltsverfahren. Aufgrund der Wasserundurchlässigkeit und der somit für Flüssigkeiten dichten Oberfläche kann Öl nicht in den Belag eindringen und mittels der Verfahren wie bei herkömmlichen Belägen aufgenommen bzw. entfernt werden.

4.4.4.2 Winterdienst

Tabelle 34 umfasst die qualitative Herleitung für die Wirkung der Winterdienstverfahren bei Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte und Glatteis.

Tabelle 34: Winterdienst

Schnee- /Eisfreiheit			Schnee, Schneeglätte	mech. Räumung	Trockensalz streuen	Feuchtsalz streuen	Sole sprühen	Splitt streuen			
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag			
1 porös ZWOPA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.								
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.								
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.								
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.								
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.								

<sup>37</sup> Die Wirkung von absaugenden Verfahren ist durch den Atmosphärendruck und durch Leckströmungen begrenzt (ibid., S. 207).

Schnee- /Eisfreiheit			Reif-, Eisglätte, Glatteis	Trockensalz streuen	Feuchtsalz streuen	Sole sprühen	Splitt streuen		
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustands- änderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	
1 porös ZWOFA 8/16	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.						
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.						
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.						
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.						
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.						
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.						
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	0	neutral	0	neutral	-1	ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.						
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.						

Alle Kategorien:

Die Verfahren „Trockensalz streuen“, „Feuchtsalz streuen“, „Sole sprühen“ wirken bei allen Kategorien akustisch neutral, weil das Streumittel Salz (trocken, feucht oder als Sole) den Belag nicht angreift und die drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion nach dem Abschmelzen des Schnees oder Eises unverändert sind.

Kategorien 1 und 3:

Beläge dieser Kategorien weisen an der Oberfläche Poren oder Täler auf. Diese können durch das Fein(st)material im Splitt beim „Splitt streuen“ verstopft oder aufgefüllt und damit akustisch unwirksam werden. Bei Belägen der Kategorie 1 verschlechtern sich Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe. Bei Belägen der Kategorie 3 verschlechtert sich die Rauigkeitstiefe. Betriebliche Aspekte: Bei beiden Kategorien 1 und 3 kann die Anwendung von Splitt aufgrund des erhöhten Hohlraumgehaltes und somit einer gewissen Instabilität des Belages ggf. zu Folgeschäden vor Aufnahme des Splitts am Winterende durch den Betrieb führen. Weiterhin stellt das lose Material „Splitt“ eine Lärmquelle auf dem Belag dar.

Kategorie 2:

Bei Belägen dieser Kategorie verschlechtert sich die Rauigkeitstiefe durch das an der Oberfläche liegende Material. Weiterhin kann die Anwendung von Splitt aufgrund des erhöhten Hohlraumgehaltes und somit einer gewissen Instabilität des Belages ggf. zu Folgeschäden vor Aufnahme des Splitts am Winterende durch den Betrieb führen. Weiterhin stellt das lose Material „Splitt“ eine Lärmquelle auf dem Belag dar und muss somit akustisch als ungünstig angesehen werden.

Kategorie 4:

Bei Belägen dieser Kategorie verschlechtert sich die Rauigkeitstiefe durch das an der Oberfläche liegende Material. Weiterhin stellt das lose Material „Splitt“ eine Lärmquelle auf dem Belag dar und muss somit akustisch als ungünstig angesehen werden.

#### 4.4.4.3 Kleiner baulicher Unterhalt

Zwei Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts haben bei den Schadensgruppen, bei denen sie zur Anwendung kommen und bei allen Belagskategorien die gleiche Wirkung:

##### (Anspritzen und) Abstreuen

Dieses Verfahren wirkt auf die drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion (Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit, Rauigkeitstiefe) akustisch ungünstig (siehe Splitt, Kap. 4.4.4.2).

Kategorie 1:

Bei Belägen dieser Kategorie verstopft das Anspritz- und Abstreumaterial die Poren. Damit sind die Zugänglichkeit zu den Hohlräumen, die Lärmreduktion und die Wasser-

durchlässigkeit des Belages eingeschränkt.

Kategorie 3:

Bei Belägen dieser Kategorie wird die grobe Textur (Form und Tiefe der Täler) verändert, was die horizontale Luftdrainage und damit die Lärmreduktion beeinträchtigt.

Kategorien 2 und 4:

Beläge dieser Kategorien (evtl. auch der Kategorie 3) erhalten durch das Abstreuen eine andere Oberfläche, die als weniger lärmarm gilt ([36], S.12).

**Rückformen (örtlich)**

Nach der Anwendung dieses Verfahrens nehmen Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe bei allen Kategorien die Werte des Sollzustandes an. Das Verfahren wirkt je nach Schadensgruppe auf zwei Arten:

- akustisch günstig, wenn die drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion sich durch den Schaden verschlechtert hatten;
- akustisch neutral, wenn die drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion sich durch den Schaden nicht verändert hatten, da das gleiche Mischgut wie beim Ausgangsbelag eingesetzt bzw. wiederverwendet wird (bzw. geringe Mengen Mischgut mit dem gleichen Grösstkorn beigemischt werden).

Da „Rückformen (örtlich)“ nahtfrei arbeitet, ist bei Belägen der Kategorie 1 auch die horizontale Wasserdurchlässigkeit gewährleistet.

**Oberflächenglätte**

Tabelle 35 zeigt die Wirkung der Verfahren bei polierten Gesteinskörnern. Die Ebenheit (Megatextur) ist bei dieser Schadensgruppe nicht tangiert.

Tabelle 35: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 1 „Oberflächenglätte“

Belagsschäden			1 Polieren	(Anspritzen und Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen)	Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)	Aufräumen
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag
1 porös (ZWOPA 8/16)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.				
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.				
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.				
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.				
Megatextur (alle Kategorien)		eben	0 wie urspr.	0 neutral	0 neutral	0 neutral	0 neutral

**(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen**

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

**Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)**

Da dieses Verfahren nicht lärmarmes Mischgut verwendet, führt es zu einer Verschlechterung der durch das Polieren nicht betroffenen und daher wie ursprünglich günstigen Parameter und wirkt daher akustisch ungünstig.

Kategorie 1:

Dieses Verfahren wirkt bei den Belägen dieser Kategorie akustisch ungünstig. Alle drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion verschlechtern sich gegenüber dem Ausgangszustand: Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe erhalten

vom Sollzustand abweichende Werte, da für das nicht lärmarme Mischgut akustisch ungünstige Werte für die drei Parameter zur Lärmreduktion zu erwarten sind.

Dieses Verfahren ist dennoch aus betrieblichen Gründen möglicherweise der „Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)“ vorzuziehen, da sich innerhalb der reparierten Fläche aufgrund der nicht-lärmarmen Eigenschaften (gleichgesetzt mit Wasserundurchlässigkeit) kein Wasser sammeln kann. Es ist darauf zu achten, dass die Nähte so liegen, dass die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb der reparierten Fläche gewährleistet ist.

Kategorien 2 bis 4:

Bei den Belägen der Kategorien 2 - 4 bleibt die Wasserundurchlässigkeit erhalten, es verschlechtern sich jedoch der Hohlraumgehalt und die Rauigkeitstiefe.

### **Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)**

Dieses Verfahren verwendet das gleiche oder ähnliches lärmarmes Mischgut je Kategorie wie beim Einbau. Das Verfahren wirkt **akustisch neutral**, da die Parameterwerte sowohl im Schadensfall als auch nach Anwendung des Verfahrens die Werte des Sollzustandes aufweisen.

Kategorie 1:

Bei wasserdurchlässigen Belägen ist dieses Verfahren *aus betrieblichen Gründen* nur bedingt empfehlenswert, da sich aufgrund der Nähte einerseits Wasser innerhalb der reparierten Fläche sammeln kann und andererseits die Nähte die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb einschränken können (siehe Kap. 3.2.2).

Kategorien 2 – 4:

Bei diesen Belägen ist das Verfahren hinsichtlich der Wasserundurchlässigkeit unbedenklich.

### **Aufrauen**

Alle Kategorien:

„Aufrauen“ wirkt akustisch ungünstig auf alle Belagskategorien. Durch die mechanische Bearbeitung der Oberfläche werden die Textur und damit die Rauigkeitstiefe stark verändert bzw. zerstört. Der Belag hat möglicherweise keine konkave Oberfläche mehr.

Kategorie 1:

Bei den Belägen dieser Kategorien werden durch das nach dem Aufrauen möglicherweise nicht vollständig entfernte (abgesaugte) Material die Hohlräume verstopft und dadurch die vertikale Luftdrainage und die Wasserdurchlässigkeit beeinträchtigt. Möglicherweise erfahren diese Beläge - je nach Art des Verfahrens - mechanische Schäden, da sie aufgrund des grossen Hohlraumgehaltes weniger stabil sind.

Kategorie 2:

Beläge dieser Kategorie erfahren je nach Art des Verfahrens möglicherweise leicht mechanische Schäden, da sie aufgrund des grossen Hohlraumgehaltes weniger stabil sind (siehe Kategorie 1). Eine Beeinträchtigung der Textur wird nur durch das Verfahren selbst und nicht durch Rückstände erwartet.

Kategorie 3:

Bei den Belägen dieser Kategorien werden durch das nach dem Aufrauen möglicherweise nicht vollständig entfernte (abgesaugte) Material zusätzlich die Täler verstopft und dadurch die horizontale Luftdrainage beeinträchtigt. Eine mechanische Beschädigung ist bei diesen Belägen eher nicht zu erwarten, da sie stabiler sind als die Beläge der Kategorien 1 und 2.

Kategorie 4:

Diese Beläge dürften für die unterschiedlichen Aufrau-Verfahren stabiler sein als Beläge der Kategorien 1 und 2. Eine Beeinträchtigung der Textur und eine Verschlechterung



der Parameter werden nur durch das Verfahren selbst und nicht durch Rückstände erwartet.

**Leichte Materialverluste**

Tabelle 36 umfasst die Ergebnisse der qualitativen Herleitung für die Wirkung der Verfahren bei leichten Materialverlusten.

Die Ebenheit (Megatextur) ist bei dieser Schadensgruppe nicht tangiert.

Tabelle 36: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 2 „Leichte Materialverluste“

Belagsschäden			2 Leichte Materialverluste	(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen	Örtl. Belagerneuerung oder Oberbaurerneuerung (nicht lärmarm)	Örtl. Belagerneuerung oder Oberbaurerneuerung (lärmarm)	Rückformen (örtlich)
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag
1 porös (ZWOPA 8/16)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	-2 verschl. sich	-1 ungünstig	-1 ungünstig	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	ja	-2 verschl. sich				
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	-2 verschl. sich				
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	? unklar	-1 ungünstig	0 neutral	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	-2 verschl. sich				
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	? unklar	-1 ungünstig	0 neutral	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	-2 verschl. sich				
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	0 neutral	2 günstig	2 günstig
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.				
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	-2 verschl. sich				
Megatextur (alle Kategorien)		eben	0 wie urspr.	0 neutral	0 neutral	0 neutral	0 neutral

**(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen**

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

**Örtl. Belagerneuerung oder Oberbaurerneuerung (nicht lärmarm)**

Kategorie 1:

Dieses Verfahren wirkt bei den Belägen dieser Kategorie akustisch ungünstig. Alle drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion verschlechtern sich gegenüber dem Ausgangszustand: Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe erhalten vom Sollzustand abweichende Werte, da für das nicht lärmarme Mischgut akustisch ungünstige Werte für die drei Parameter zur Lärmreduktion zu erwarten sind.

Dieses Verfahren ist dennoch aus betrieblichen Gründen möglicherweise der „Örtl. Belagerneuerung oder Oberbaurerneuerung (lärmarm)“ vorzuziehen, da sich innerhalb der reparierten Fläche aufgrund der nicht-lärmarmen Eigenschaften (gleichgesetzt mit Wasserundurchlässigkeit) kein Wasser sammeln kann. Es ist darauf zu achten, dass die Nähte so liegen, dass die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb der reparierten Fläche gewährleistet ist.

Kategorien 2 und 3:

Bei den Belägen der Kategorien 2 und 3 kann aufgrund der Unklarheit des Schadensbildes beim Hohlraumgehalt nur die Wirkung auf Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe abgeschätzt werden. Es ist davon auszugehen, dass das nicht-lärmarme Mischgut eine ebenso abweichende Rauigkeitstiefe aufweist wie der Belag mit leichtem Materialverlust. Die Wasserundurchlässigkeit bleibt erhalten. Insgesamt verbessert das Verfahren den Zustand dieser Beläge nicht; es wirkt neutral.

Kategorie 4:

Bei Belägen dieser Kategorie wird keine Verbesserung der Rauigkeitstiefe erwartet. Damit wirkt das Verfahren neutral, bewirkt also keine Verbesserung gegenüber dem Zustand mit Schaden.

### Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)

Dieses Verfahren verwendet das gleiche oder ähnliches lärmarmes Mischgut je Kategorie wie beim Einbau. Das Verfahren wirkt bei allen Kategorien **akustisch günstig**, da die Parameterwerte, die sich durch das Schadensbild verschlechtert haben (sofern dies abgeschätzt werden kann), nach Anwendung des Verfahrens wieder die Werte des Sollzustandes annehmen.

Kategorie 1:

Das Verfahren stellt den Sollzustand der drei Parameter wieder her. Aus betrieblichen Gründen ist dieses Verfahren bei wasserdurchlässigen Belägen jedoch nur bedingt empfehlenswert, da sich aufgrund der Nähte einerseits Wasser innerhalb der reparierten Fläche sammeln kann und andererseits die Nähte die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb einschränken können (siehe Kap. 3.2.2).

Kategorien 2 und 3:

Bei diesen Belägen kann nur die Wirkung auf die Wasserdurchlässigkeit und die Rauigkeitstiefe abgeschätzt werden. Diese Parameter nehmen die Werte des Sollzustandes an.

Kategorie 4:

Bei diesen Belägen wird erwartet, dass die Rauigkeitstiefe als einziger vom Schaden tangierter Parameter wiederhergestellt wird.

### Rückformen (örtlich)

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

### Risse, Nähte (ohne Unebenheiten)

Tabelle 37 umfasst die Ergebnisse der qualitativen Herleitung für die Wirkung der Verfahren bei Rissen oder Nähten ohne Unebenheiten. Die Ebenheit (Megatextur) ist bei dieser Schadensgruppe und den zugehörigen Verfahren nicht tangiert.

Tabelle 37: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 3 „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“

Belagsschäden			3 Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	(Anspritzen und Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen)	Verfüllen und Vergiessen	Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)	Rückformen
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag
1 porös (ZWOPA 8/16)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig	0 neutral	0.0 neutral
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.					
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig	0 neutral	0.0 neutral
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.					
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig	0 neutral	0.0 neutral
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.					
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	-1 ungünstig	0 neutral	-1 ungünstig	0 neutral	0.0 neutral
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.					
Megatextur (alle Kategorien)		eben	0 wie urspr.	0 neutral	0 neutral	0 neutral	0 neutral	0 neutral

### (Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

### Verfüllen und Vergiessen

Kategorie 1:

Risse nur in der Deckschicht sind aufgrund der grundsätzlich vorhandenen (vertikalen) Wasserdurchlässigkeit bei Belägen dieser Kategorie nicht problematisch und müssen nicht behandelt werden. Behandelt werden müssen Risse, die bis in die Binderschicht oder tiefer reichen, da der Belag sonst durch Frost beschädigt wird. Das Verfüllen und Vergiessen wirkt auf alle drei Parameter neutral, da die durch Risse getrennten Be-

lagsteile sich in ihrer Beschaffenheit dabei nicht verändern.

Kategorien 2 bis 4:

Bei Belägen der Kategorien 2 - 4 müssen Risse aller Tiefen behandelt werden, um die Wasserundurchlässigkeit wieder herzustellen und um Frostschäden zu vermeiden. Die Beschaffenheit der durch Risse getrennten Belagsteile verändert sich nach Anwendung des Verfahrens nicht. Damit verändern sich auch nicht die Werte der drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion, das Verfahren wirkt akustisch neutral.

#### **Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)**

Kategorie 1:

Dieses Verfahren wirkt bei den Belägen dieser Kategorie akustisch ungünstig. Alle drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion verschlechtern sich gegenüber dem Ausgangszustand: Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe erhalten vom Sollzustand abweichende Werte, da für das nicht lärmarme Mischgut akustisch ungünstige Werte für die drei Parameter zur Lärmreduktion zu erwarten sind.

Dieses Verfahren ist dennoch aus betrieblichen Gründen möglicherweise der „Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)“ vorzuziehen, da sich innerhalb der reparierten Fläche aufgrund der nicht-lärmarmen Eigenschaften (gleichgesetzt mit Wasserundurchlässigkeit) kein Wasser sammeln kann. Es ist darauf zu achten, dass die Nähte so liegen, dass die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb der reparierten Fläche gewährleistet ist.

Kategorien 2 bis 4:

Bei den Belägen dieser Kategorien ist davon auszugehen, dass sowohl die Rauigkeitstiefe als auch der Hohlraumgehalt aufgrund der akustisch ungünstigen Eigenschaften des nicht lärmarmen Mischgutes im Vergleich zum Sollzustand (lärmarmes Mischgut) schlechter werden; die Wasserundurchlässigkeit bleibt erhalten. Insgesamt wirkt das Verfahren auf diese Belagskategorien daher akustisch ungünstig.

#### **Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)**

Dieses Verfahren verwendet das gleiche oder ähnliche lärmarme Mischgut je Kategorie wie beim Einbau. Das Verfahren wirkt **akustisch neutral**, da die Parameterwerte, die trotz Schaden die ursprünglichen Werte, also die des Sollzustandes aufweisen, unverändert bleiben.

Kategorie 1:

Bei wasserdurchlässigen Belägen ist dieses Verfahren *aus betrieblichen Gründen* nur bedingt empfehlenswert, da sich aufgrund der Nähte einerseits Wasser innerhalb der reparierten Fläche sammeln kann und andererseits die Nähte die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb einschränken können (siehe Kap. 3.2.2).

Kategorien 2 bis 4:

Bei diesen Belägen ist das Verfahren hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit unbedenklich.

#### **Rückformen (örtlich)**

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

### **4 Schwere Materialverluste**

Tabelle 38 umfasst die Ergebnisse der qualitativen Herleitung für die Wirkung der Verfahren bei schweren Materialverlusten. Die Ebenheit (Megatextur) ist bei dieser Schadensgruppe zerstört.

Tabelle 38: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 4 „Schwere Materialverluste“

Belagsschäden			4 Schwere Materialverluste	Ausbessern mit Asphalt-mischgut (nicht lärmarm)	Örtl. Belags-erneuerung oder Oberbau-erneuerung (nicht lärmarm)	Örtl. Belags-erneuerung oder Oberbau-erneuerung (lärmarm)	Rückformen (örtlich)	
Belagskategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustands-änderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	
1 porös (ZWOPA 8/16)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	-2 verschl. sich	-1 ungünstig	-1 ungünstig	2 günstig	2 günstig	
	wasserdurchlässig	ja	-2 verschl. sich					
	Rauigkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	-2 verschl. sich					
2 wasserdicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	? unklar	0 neutral	0 neutral	2 günstig	2 günstig	
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	-2 verschl. sich					
3 wasserdicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	? unklar	0 neutral	0 neutral	2 günstig	2 günstig	
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	-2 verschl. sich					
4 wasserdicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	0 neutral	0 neutral	2 günstig	2 günstig	
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.					
	Rauigkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	-2 verschl. sich					
Megatextur (alle Kategorien)			eben	-2 verschl. sich	0 neutral	2 günstig	2 günstig	2 günstig

Alle Verfahren für diese Schadensgruppe stellen die Ebenheit des Belages wieder her.

### „Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)“ und „Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)“

Diese beiden Verfahren bringen bei allen vier Kategorien aus akustischer Sicht keine Verbesserung des Schadens.

#### Kategorie 1:

Dieses Verfahren wirkt bei den Belägen dieser Kategorie akustisch ungünstig. Alle drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion verschlechtern sich gegenüber dem Ausgangszustand: Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe nehmen vom Sollzustand abweichende Werte an, da für das nicht lärmarme Mischgut akustisch ungünstige Werte für die drei Parameter zur Lärmreduktion zu erwarten sind.

Dieses Verfahren ist dennoch aus betrieblichen Gründen möglicherweise der „Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)“ vorzuziehen, da sich innerhalb der reparierten Fläche aufgrund der nicht-lärmarmen Eigenschaften (gleichgesetzt mit Wasserundurchlässigkeit) kein Wasser sammeln kann. Es ist darauf zu achten, dass die Nähte so liegen, dass die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb der reparierten Fläche gewährleistet ist.

#### Kategorien 2 und 3:

Bei Belägen dieser Kategorien ist unklar, wie der Hohlraumgehalt durch den Schaden beeinflusst wird. Die Wirkung der Verfahren kann daher nur für die Wasserdurchlässigkeit und die Rauigkeitstiefe abgeschätzt werden. Die Wasserundurchlässigkeit verändert sich nicht, die Rauigkeitstiefe verbessert sich.

#### Kategorie 4:

Bei den Belägen dieser Kategorie ist davon auszugehen, dass sich die Rauigkeitstiefe aufgrund der akustisch ungünstigen Eigenschaften des nicht lärmarmen Mischgutes im Vergleich zum Sollzustand (lärmarmes Mischgut) nicht verbessert. Daher wirkt das Verfahren bei diesen Belägen neutral.

### Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)

Da dieses Verfahren je Kategorie das gleiche Material oder ähnliches Material verwendet wie beim Einbau, wirkt es bei allen Kategorien **akustisch günstig**. Die Parameterwerte, die sich durch das Schadensbild verschlechtert haben (sofern dies abgeschätzt werden kann), nehmen nach Anwendung des Verfahrens wieder die Werte des Sollzustandes an.

#### Kategorie 1:

Das Verfahren stellt den Sollzustand der drei Parameter wieder her. Aus betrieblichen Gründen ist dieses Verfahren bei wasserdurchlässigen Belägen jedoch nur bedingt

empfehlenswert, da sich aufgrund der Nähte einerseits Wasser innerhalb der reparierten Fläche sammeln kann und andererseits die Nähte die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb einschränken können (siehe Kap. 3.2.2).

Kategorien 2 und 3:

Bei diesen Belägen kann nur die Wirkung auf die Wasserdurchlässigkeit und die Rauigkeitstiefe abgeschätzt werden. Für diese Parameter gilt, dass sie die Werte des Sollzustandes annehmen.

Kategorie 4:

Bei diesen Belägen wird erwartet, dass die Rauigkeitstiefe als einziger vom Schaden tangierter Parameter wiederhergestellt wird.

#### **Rückformen (örtlich)**

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

#### **5 Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten**

Die qualitative Herleitung für die Wirkung der Verfahren bei strukturellen Schäden mit Rissen und Unebenheiten zeigt Tabelle 39. Die Ebenheit (Megatextur) ist bei dieser Schadensgruppe zerstört.

Tabelle 39: Unterhalt von Schadensgruppe 5 „Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten“

Belagsschäden			5 Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten		Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)		Verfüllen und Vergessen		Örtl. Belags-erneuerung oder Oberbau-erneuerung (nicht lärmarm)		Örtl. Belags-erneuerung oder Oberbau-erneuerung (lärmarm)		Abfräsen	
Belagkategorie und Referenzbelag	massgebende Parameter zur Lärmreduktion	Wert nach Einbau (Sollzustand)	Wert nach Zustandsänderung	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag	Wirkung UV auf Belag
1 porös (ZWOPA 8/16)	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1
	wasserdurchlässig	ja	0 wie urspr.	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig
2 wasser dicht, hohlraumreich (Nanosoft 4)	Raugkeitstiefe	eher gross (> 450 µm)	0 wie urspr.	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1
	Hohlraumgehalt	gross - sehr gross (> 10%)	0 wie urspr.	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig
3 wasser dicht, mit grober Textur (AC MR 8+)	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1
	Raugkeitstiefe	eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig
4 wasser dicht, mit feiner Textur (LOA 5D)	Hohlraumgehalt	mittel - gross (6 bis 16%)	0 wie urspr.	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1
	wasserdurchlässig	nein	0 wie urspr.	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig
Megatextur (alle Kategorien)	Raugkeitstiefe	eher mittel (200-450 µm)	0 wie urspr.	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1
	Hohlraumgehalt	klein (< 6%)	0 wie urspr.	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig
		nein	0 wie urspr.	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1	0 neutral	-1
		eher klein (< 200 µm)	0 wie urspr.	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig	0 neutral	ungünstig
		eben	-2	versch. sich	0	neutral	2	günstig	0	neutral	2	günstig	2	günstig

Bis auf "Verfüllen und Vergiessen" stellen alle Verfahren die Ebenheit (Megatextur) des Belages wieder her.

#### **(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen**

Zur Wirkung dieses Verfahrens siehe Beginn dieses Kapitels 4.4.4.3.

#### **Aubessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm) und Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)**

Diese beiden Verfahren wirken bei allen vier Kategorien akustisch ungünstig.

Kategorie 1:

Dieses Verfahren wirkt bei den Belägen dieser Kategorie akustisch ungünstig. Alle drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion verschlechtern sich gegenüber dem Ausgangszustand: Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe erhalten vom Sollzustand abweichende Werte, da für das nicht lärmarme Mischgut akustisch ungünstige Werte für die drei Parameter zur Lärmreduktion zu erwarten sind.

Dieses Verfahren ist dennoch aus betrieblichen Gründen möglicherweise der „Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)“ vorzuziehen, da sich innerhalb der reparierten Fläche aufgrund der nicht-lärmarmen Eigenschaften (gleichgesetzt mit Wasserundurchlässigkeit) kein Wasser sammeln kann. Es ist darauf zu achten, dass die Nähte so liegen, dass die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb der reparierten Fläche gewährleistet ist.

Kategorien 2 bis 4:

Bei den Belägen dieser Kategorien ist davon auszugehen, dass sowohl die Rauigkeitstiefe als auch der Hohlraumgehalt aufgrund der akustisch ungünstigen Eigenschaften des nicht lärmarmen Mischgutes im Vergleich zum Sollzustand (lärmarmes Mischgut) schlecht sind; die Wasserundurchlässigkeit bleibt erhalten.

#### **Verfüllen und Vergiessen**

Die Wirkung dieses Verfahrens ist bei „Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten“ gleich wie bei der Schadensgruppe „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“, also akustisch neutral, aber notwendig bei den Kategorien 2-4. Bei dieser Schadensgruppe stellt es als einziges Verfahren die Ebenheit (Megatextur) nicht wieder her und wirkt daher neutral.

Kategorie 1:

Risse nur in der Deckschicht sind aufgrund der gegebenen (vertikalen) Wasserdurchlässigkeit bei Belägen dieser Kategorie nicht problematisch und müssen nicht behandelt werden. Behandelt werden müssen bei Belägen dieser Kategorie Risse, die bis in die Binderschicht oder tiefer reichen, da der Belag sonst durch Frost beschädigt wird. Das Verfüllen und Vergiessen wirkt auf alle drei Parameter neutral, da die durch Risse getrennten Belagsteile sich in ihrer Beschaffenheit dabei nicht verändern.

Kategorien 2 bis 4:

Bei Belägen der Kategorien 2 - 4 müssen Risse aller Tiefen behandelt werden, um die Wasserundurchlässigkeit wieder herzustellen und um Frostschäden zu vermeiden. Die Beschaffenheit der durch Risse getrennten Belagsteile verändert sich nach Anwendung des Verfahrens nicht. Damit verändern sich auch nicht die Werte der drei massgebenden Parameter zur Lärmreduktion, das Verfahren wirkt akustisch neutral.

#### **Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)**

Dieses Verfahren verwendet das gleiche oder ähnliches lärmarmes Mischgut je Kategorie wie beim Einbau. Das Verfahren wirkt **akustisch neutral**, da die Parameterwerte, die trotz Schaden die ursprünglichen Werte, also die des Sollzustandes aufweisen, unverändert bleiben.

#### Kategorie 1:

Das Verfahren stellt den Sollzustand der drei Parameter wieder her. Bei wasserdurchlässigen Belägen ist dieses Verfahren *aus betrieblichen Gründen* nur bedingt empfehlenswert, da sich aufgrund der Nähte einerseits Wasser innerhalb der reparierten Fläche sammeln kann und andererseits die Nähte die horizontale Wasserdurchlässigkeit ausserhalb einschränken können (siehe Kap. 3.2.2).

#### Kategorien 2 bis 4:

Bei diesen Belägen ist das Verfahren hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit unbedenklich.

#### **Abfräsen**

Beim Abfräsen von Unebenheiten wird die Textur stark verändert. An den abgetragenen Stellen ist zu erwarten, dass die Belagsoberfläche nicht mehr konkav ist und die Rauigkeitstiefe nicht mehr dem Sollzustand entspricht. In der Umgebung der abgetragenen Stellen könnten sich Reste des abgetragenen Materials sammeln und Poren und Täler verstopfen und somit ebenfalls die wirksame Rauigkeitstiefe verschlechtern.

#### Kategorie 1:

Bei diesen Belägen ist zu erwarten, dass alle drei Parameter zur Lärmreduktion sich verschlechtern: die Rauigkeitstiefe weicht vom Sollzustand ab und aufgrund der verstopften Poren verschlechtert sich der Zugang zu den Hohlräumen und damit die Wasserdurchlässigkeit. Das Verfahren wirkt akustisch ungünstig.

#### Kategorien 2 bis 4:

Wasserundurchlässigkeit und Hohlraumgehalt bleiben bei diesen Belägen unverändert, jedoch verschlechtert sich die Rauigkeitstiefe. Das Verfahren wirkt akustisch ungünstig.



## 4.5 Weg 2, 3 und 4: Literatur, Experten, Praxis

Neben der qualitativen Herleitung (Weg 1) wurden umfassende Recherchen zu den technisch-mechanischen, akustischen und betrieblichen Aspekten zur Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren (Betrachtungsebenen, Kap. 2.3.3)<sup>38</sup> auf drei Arten durchgeführt (Wege 2 bis 4, vgl. Kap. 4.1):

- Literatur:  
Aussagen zum Verfahren in der Literatur für die Referenzbeläge je Kategorie und für vergleichbare Beläge innerhalb der Kategorien.
- Experten:  
Aussagen von Herstellern von Kommunal- und Reparaturfahrzeugen, von Spezialisten für Reinigungs-, Winterdienst- und Reparaturverfahren sowie von Belagsherstellern und -entwicklern speziell zu den vier Belagskategorien
- Praxiserfahrungen:  
Auskünfte zur Handhabung des Belages in der Praxis anhand des Referenzbelages

Die Tabellen mit der Darstellung der Recherche befinden sich in den Anhängen III, IV und V. In diesem Kapitel werden die Rechercheergebnisse zusammenfassend dargestellt.

### 4.5.1 Reinigung

Aufgrund der Rechercheergebnisse (Anhang III) lassen sich hinsichtlich der Reinigung aus den Belagskategorien zwei Gruppen bilden:

- Beläge der Kategorie 1 „Poröse Beläge“ benötigen regelmässige Spezialreinigung.
- Beläge der Kategorien 2 bis 4 werden bei Bedarf wie herkömmliche Beläge gereinigt (mit kleinen Unterschieden hinsichtlich der Hochdruckreinigung).

#### Kategorie 1 „Poröse Beläge“

##### **Kehren & Saugen; Sprengen & Schwemmen**

Poröse Beläge der Kategorie 1 sollten aus akustischer Sicht grundsätzlich *nicht* mit einer Kehrsaugmaschine gereinigt werden, da unklar ist, ob die Poren ggf. durch Anwendung des Verfahrens weiter verstopfen können [100] oder der Schmutz aus den Poren evtl. nicht vollständig entfernt werden kann [54]. Beim Kehrsaugverfahren besteht die Gefahr, dass die rotierenden Bürsten die offenporigen Beläge schädigen können [100]. Auch die Niederdrucknassreinigung (Sprengen und Schwemmen) birgt aus akustischer Sicht die Gefahr, dass weitere Verschmutzung in die Poren geschwemmt wird und diese verstopft. Beide Verfahren sollten aus den genannten Gründen auch nicht für die Ölsaubeseitigung eingesetzt werden.

##### **Hochdruckreinigung; Schrubbsaugverfahren**

Unklar ist bei den Rechercheergebnissen, wie die Hochdruckreinigung oder das Schrubbsaugverfahren auf die porösen Beläge wirken. Akustisch empfohlen wird teilweise eine regelmässige porentiefe Reinigung (1-2-mal im Jahr) [105], um die akustische Wirkung der Beläge zu erhalten. Auch in der Praxis werden diese Beläge mittels Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme gereinigt [101]. Gleichzeitig wird darauf hingewiesen, dass bei Anwendung von Hochdruck aufgrund der Punktverklebung der Gesteinskörner die Gefahr eines Partikelverlusts bei zu hohem Wasserdruck besteht [100] oder dass rotierende Bürsten den Belag schädigen können [100]. Für das Schrubbsaugverfahren gibt es daher einschränkende Hinweise hinsichtlich der rotierenden Bürsten. Weiterhin ist die Wirksamkeit des Saugens begrenzt ([2], S. 207), da der Ausgangszustand der Beläge nicht vollständig erzielt werden kann. Unklar ist auch, ob nicht durch Anwendung der Verfahren eine weitere Verstopfung der Poren herbeigeführt wird. Bei

<sup>38</sup> Finanzielle Aspekte in Kap. 4.6

der Hochdruckreinigung empfiehlt es sich, die Einstellungen des Hochdruckreinigers auf einer Probefläche zu testen [100].

Ölspuren müssen frühzeitig behandelt werden, um das Öl möglichst vollständig zurückzugewinnen. Es kann sonst innerhalb des porösen Belages weiterfließen und damit auch Stellen zerstören, die ausserhalb der Ölspur liegen [123].

Tabelle 40: Reinigung von Belägen der Kategorie 1

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch		betriebl.ich	Bewertung
kehren & saugen	Loser Schmutz	unklar : reinigender / verstopfender Effekt	Vorsicht : Bürsten		ggf. erforderlich	nicht empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz				erforderlich	
	Ölspur	ungünstig	kein Bindemittel in Pulverform	erforderlich		
sprengen & schwemmen	Loser Schmutz	unklar : reinigender / verstopfender Effekt	möglich		Unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	nicht empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz					
	Ölspur	ungünstig				
Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	Festsitzender Schmutz	teilweise günstig	Be-grenzte Wirkung beim Saugen	Vorsicht: Partikelverlust	erforderlich	bedingt empfehlenswert
	Ölspur	unklar		Vorsicht: Partikelverlust, Öl weiter verteilen	erforderlich	
Schrubbsaugverfahren	Festsitzender Schmutz	teilweise günstig	Be-grenzte Wirkung beim Saugen	Vorsicht : Bürsten	erforderlich	bedingt empfehlenswert
	Ölspur	unklar		Vorsicht : bürsten, Öl weiter verteilen	erforderlich	bedingt empfehlenswert

### Fazit

Poröse Beläge der Kategorie 1 sind nicht optimal zu reinigen. Da der Selbstreinigungseffekt unter 60 km/h fehlt, ist eine vollständige, langanhaltende Reinigung und damit Aufrechterhaltung des nach dem Einbau vorhandenen Hohlraumgehaltes bis zum Ende der Lebensdauer zurzeit nicht möglich ([100]; [124], S.17f).

### Kategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“

#### **Kehren & Saugen; Sprengen & Schwemmen**

Beläge der Kategorie 2 können wie herkömmliche Beläge regelmässig mit einer Kehrsaugmaschine und bei Bedarf mittels Sprengen und Schwemmen (auf kleineren Flächen, (vgl. [103]) gereinigt werden, wobei generell eine Trockenreinigung der Nassreinigung aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen ist ([73], S. 2]. Auch für die Beseitigung von Ölspuren ist das Kehrsaugverfahren in Kombination mit Ölbindemittel empfehlenswert.

#### **Hochdruckreinigung; Schrubbsaugverfahren**

Aufgrund der Wasserundurchlässigkeit im Vergleich mit den porösen Belägen besteht

die Gefahr der Verstopfung des Belages nicht; allerdings ist aufgrund des sehr hohen Hohlraumgehalts bei der Anwendung von Hochdruckreinigung Vorsicht geboten und die Einstellung des Wasserdruckes an einer Probefläche zu testen. Vor Bürsten wird bei diesen Belägen nicht gewarnt (vgl. [72]). Abzuwägen ist, ob Hochdruck oder Bürsten festsitzenden Schmutz wirkungsvoller entfernen können [106], [72]

Tabelle 41: Reinigung von Belägen der Kategorie 2

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betriebl. bei Bedarf	Bewertung
kehren & saugen	Loser Schmutz	günstig	möglich	Ölspur: erforderlich	empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz	neutral			
	Ölspur	günstig			
sprengen & schwemmen	Loser Schmutz	günstig	möglich	bei Ölspur: erforderlich, unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig			
	Ölspur	günstig			
Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig	Vorsicht: Partikelverlust	bei Ölspur: erforderlich, unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	bedingt empfehlenswert
	Ölspur	günstig			
Schrubbsaugverfahren	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig	Vorsicht: Bürsten	bei Ölspur: erforderlich, unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	bedingt empfehlenswert
	Ölspur	günstig			

### Fazit

Die Reinigung von Belägen der Kategorie 2 kann wie bei herkömmlichen Belägen mit Kehren und Saugen sowie Sprengen und Schwemmen bei Bedarf erfolgen; Vorsicht ist bei Hochdruckreinigung und den rotierenden Bürsten beim Schrubbsaugverfahren aufgrund des hohen Hohlraumgehaltes geboten.

### Kategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ und Kategorie 4 „wasserundurchlässig, mit feiner Textur“

#### **Kehren & Saugen; Sprengen & Schwemmen**

Bei den wasserundurchlässigen Belägen der Kategorie 3 mit grober Textur wird von einer Selbstreinigung im Regenfall ausgegangen ([55]; S.22); bei Messungen an Referenzbelägen konnte in den ersten 2-3 Jahren keine Verschlechterung der akustischen Güte festgestellt werden [44]. Es ist daher davon auszugehen, dass diese Beläge wie herkömmlich regelmässig mit einer Kehrsaugmaschine und bei Bedarf mittels Sprengen und Schwemmen (auf kleineren Flächen [103]) gereinigt werden können, wobei generell eine Trockenreinigung der Nassreinigung aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen ist ([73], S. 2).

Beläge der Kategorie 4 können wie herkömmliche Beläge regelmässig mit einer Kehrsaugmaschine und bei Bedarf mittels Sprengen und Schwemmen gereinigt werden, wobei generell eine Trockenreinigung der Nassreinigung aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen ist ([73], S. 2).

Auch für die Beseitigung von Ölspuren ist das Kehrsaugverfahren in Kombination mit Ölbindemittel empfehlenswert.

#### **Hochdruckreinigung; Schrubbsaugverfahren**

Aufgrund der Wasserundurchlässigkeit im Vergleich zu den porösen Belägen besteht

die Gefahr der Verstopfung nicht; auch der im Vergleich mit herkömmlichen Belägen leicht erhöhte Hohlraumgehalt sollte bei der Anwendung von Hochdruckreinigung und Schrubbsaugverfahren keine Gefahren bergen [20] [106] [72] [54][114][113], so dass diese beiden Verfahren auch zur Beseitigung von Ölspuren zur Anwendung kommen können.

Tabelle 42: Reinigung von Belägen der Kategorie 3

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betriebl.lich	Bewertung
kehren & saugen	Loser Schmutz	tlw. günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich	empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz	neutral			
	Ölspur	tlw. günstig			
sprengen & schwemmen	Loser Schmutz	tlw. günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich - unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig			
	Ölspur	tlw. günstig			
Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich - unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Ölspur	günstig			
Schrubbsaugverfahren	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich - unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Ölspur	günstig			

Tabelle 43: Reinigung von Belägen der Kategorie 4

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betriebl.lich	Bewertung
kehren & saugen	Loser Schmutz	günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich	empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz	neutral			
	Ölspur	günstig			
sprengen & schwemmen	Loser Schmutz	günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich - unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig			
	Ölspur	günstig			
Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich - unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Ölspur	günstig			
Schrubbsaugverfahren	Festsitzender Schmutz	tlw. günstig	möglich	bei Bedarf Ölspur: erforderlich - unwirtschaftlicher als Trockenreinigung	empfehlenswert
	Ölspur	günstig			

### Fazit

Die Reinigung von Belägen der Kategorien 3 und 4 kann bei Bedarf wie bei herkömmlichen Belägen mit Kehren und Saugen, Sprengen und Schwemmen, Hochdruckreinigung sowie Schrubbsaugverfahren erfolgen.

### **Einbindung in den kommunalen Strassenunterhalt**

Kategorie 1:

Aus akustischer Sicht sollte die Reinigung mit den zwei im kommunalen Strassenunterhalt üblichen Verfahren (Kehren & Saugen; Sprengen & Schwemmen) *entfallen*. Innerorts kann eine Reinigung aus betrieblichen Gründen aber notwendig oder gewünscht sein (vgl. [101], da die Reinigung innerorts aufgrund betrieblicher, qualitativer Anforderungen an Erscheinungsbild des Strassenraums erfolgt. Dies birgt einen Widerspruch in sich. Speziell bei porösen Belägen sollte daher eine herkömmliche Reinigung mit möglicherweise nur saugenden Komponenten und nur bei dringlichem Bedarf vorgenommen werden.

Durch Spezialreinigung (Hochdruckreinigung und Schrubbsaugverfahren) wird versucht, der im Betrieb zunehmenden Verstopfung entgegen zu wirken. In der Regel erfolgt die Spezialreinigung mit Spezialgeräten durch Dritte; wobei auch die Anschaffung eines Gerätes wird bei vielen Belägen dieser Kategorie zu überlegen ist [102]. Die Spezialreinigung wird somit zusätzlich zu der normalen Strassenreinigung angewendet und erfordert eine Integration in die bestehenden Organisationsabläufe einer Gemeinde.

Kategorie 2 bis 4: Die Reinigung dieser Beläge erfolgt wie herkömmlich und kann in die normale Strassenreinigung und die bestehenden Organisationsabläufe einer Gemeinde integriert werden.

## **4.5.2 Winterdienst**

Der Unterhalt im Winterdienst unterscheidet sich für die Belagskategorien im Wesentlichen im Betrieb, d.h. in der Handhabung von Schneepflügen und Schneeketten, bei der Taumittelmenge und den Folgeerscheinung bei der Anwendung von Splitt. Aus den Rechercheergebnissen lassen sich unterschiedliche Gruppierungen hinsichtlich der genannten Aspekte des Winterdienstes bilden:

- hinsichtlich der Stabilität der Beläge bei mechanischer Räumung, Schneeketten und Spikes
  - Kategorie 1 und 2 als hohlraumreiche Beläge: keine Schneeketten
  - Kategorie 3 und 4 mit mittlerem und kleinem Hohlraumgehalt: Anwendung Schneeketten möglich
- hinsichtlich der Oberflächenstruktur wegen des Taumittelverbrauchs
  - Kategorie 1 und 3 mit offenen Poren oder grober Textur: erhöhter Taumittelleinsatz
  - Kategorie 2 und 4 mit geringer Rauigkeitstiefe und feiner Textur: Taumittelleinsatz wie herkömmlich
- hinsichtlich der Anwendung von Splitt
  - alle Kategorien: keine Anwendung von Splitt

### **Taumittelleinsatz bei lärmarmen Belägen – allgemein**

Schnee und Eis haben rein akustisch betrachtet einen kurzfristigen Einfluss auf den Belag; nach Anwendung der Verfahren ist der akustische Zustand des Belags wie vor Anwendung (unter der Annahme, dass keine Folgeschäden durch andauernd lange und kalte Winter entstehen). Der Belag verändert sich physisch dadurch nicht und die akustische Beeinträchtigung hebt sich nach einer bestimmten Zeit wieder auf - sei es ohne Winterdienst oder durch Winterdienst mit auftauenden Stoffen (Salz in trockener, feuchter oder flüssiger Form).

Salz (in trockener, feuchter oder flüssiger Form) greift Bitumen nicht an, so dass ein lärmarmes Belag seine technisch-mechanischen Eigenschaften dadurch nicht ändert. Die Verwendung von auftauenden Streustoffen hat akustisch eine neutrale Wirkung auf die lärmarmen Beläge.

Grundlage für die Dosierung der auftauenden Streustoffe in den vier Kategorien sind die für herkömmliche Beläge empfohlenen Mengen [90](Tabelle 44).

Tabelle 44: Winterdienst; Dosierungen gemäss FGSV [90]<sup>39</sup>

	präventiv		kurativ	
	Sole	Feuchtsalz	Sole	Feuchtsalz
<b>Schnee (Schneeglätte)</b>	15-30	10-20	-	10-40
<b>Reifglätte</b>	10-15	5-15	15-30	10-30
<b>Eisglätte (überfrierende Feuchte)</b>	10-22.5	5-30	-	10-40
<b>Eisglätte (überfrierende Nässe)</b>	22.5-45	15-40	-	30-40
<b>Eisregen (Glatteis)</b>	45-60	30-40	i.d.R. nicht sinnvoll	i.d.R. nicht sinnvoll

### **Splitt streuen bei lärmarmen Belägen allgemein**

Technisch-mechanisch gesehen hat der Einsatz von Splitt keinen Einfluss auf die Belagsstruktur und die Stabilität; es kann allerdings zu Folgeschäden im Betrieb nach Anwendung des Verfahrens durch den Verkehr auf Splitt kommen; weiterhin stellt Splitt eine Lärmquelle auf dem Belag dar. Splitt wird in der Praxis nur punktuell eingesetzt. Aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen wird sein Einsatz grundsätzlich nicht empfohlen ([61] S. 20).

### **Kategorie 1:**

Bei den hohlraumreichen Belägen der Kategorie 1 (porös) ist wichtig, dass die Schürfleisten des Schneepfluges korrekt eingestellt und intakt sind, damit der hohlraumreiche Belag nicht beschädigt wird und keine Minderung der Lärmreduktion erfährt.

Beläge mit hohem Hohlraumgehalt (Kategorie 1) sind im Vergleich zu herkömmlichen Belägen anfällig für Schneeketten und Spikes. Das Befahren dieser Beläge mit Schneeketten oder Spikes sollte (auch durch die Fahrzeuge des Winterdienstes) wenn möglich vermieden werden.

Für die porösen Beläge wird die 1.2-fache bis doppelte Salzmenge empfohlen, verglichen mit herkömmlichen Belägen (Tabelle 44) ([101], [131]). Mögliche Gründe sind: die grosse, luftige Oberfläche erzeugt niedrigere Temperaturen in der Belagsoberschicht, die Taumittel versickern im Belag, es kommt zu einem schnelleren Abfließen des Wassers inkl. Taumittel von der Belagsoberfläche.

*Die Anwendung von Splitt führt bei porösen Belägen (Kategorie 1) zur Zerstörung der akustischen Wirkung im Betrieb, da die Poren durch das Material (das evtl. weiter zermahlen wird) verstopfen und das hohlraumreiche Korngerüst im Betrieb durch die Belastung auf den Splitt zerstört werden kann. Splitt sollte bei diesen Belägen auf jeden Fall vermieden werden.*

<sup>39</sup> Nach Angaben der VSS - FACHKOMMISSION 6: UMWELT UND BETRIEB orientiert sich der VSS bezüglich Salzdosierung an den Vorgaben des FGSV [130].

Tabelle 45: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 1

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betrieblich	Bewertung
Mechanische Räumung	Schnee, Schneeglätte	neutral	- Vorsicht: Pflug, Schneeketten, Spikes - Fahrtroutenoptimierung		empfehlenswert
Trockensalz streuen	Schnee	neutral	- empfohlen bei starkem Schneefall		empfehlenswert
	Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis		- kann wegwehen - in Belag einsickern und so nicht optimal wirken - grobes Salz verwenden - Mehrmenge aufgrund grosser Oberfläche		bedingt empfehlenswert <sup>40</sup>
Feuchtsalz streuen	Schnee	neutral	- kann wegwehen - in Belag einsickern und so nicht optimal wirken  - grobes Salz verwenden - Mehrmenge aufgrund grosser Oberfläche		empfehlenswert
	Schneeglätte				
	Reifglätte				
	Eisglätte Glatteis				
Sole sprühen	Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	neutral	- gute Haftung - wirtschaftlicher Salzverbrauch - Mehrmenge aufgrund grosser Oberfläche		empfehlenswert
Splitt streuen	Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	ungünstig	- kann Belag im Betrieb zerstören - zusätzliche Lärmquelle		nicht empfehlenswert

### Fazit

Bei der mechanischen Räumung ist bei der Justierung des Pfluges Vorsicht geboten; auf den Einsatz von Schneeketten und Spikes sollte verzichtet werden. Der Taumiteinsatz kann bei Belägen der Kategorie 1 bei Bedarf wie bei herkömmlichen Belägen aber mit Mehrmengen (bis zu 2-fach) erfolgen. Splitt streuen sollte unbedingt vermieden werden.

### Kategorie 2:

Bei den hohlraumreichen Belägen der Kategorie 2 ist wichtig, dass die Schürfleisten des Schneepfluges korrekt eingestellt und intakt sind, damit der hohlraumreiche Belag nicht beschädigt wird. Die Beschädigung des Belages durch falsch justierte Schürfkanten hätte eine Minderung der Lärmreduktion zur Folge. Daher sollten die Schürfkanten der Pflüge korrekt justiert und nicht beschädigt sein. Beläge mit hohem Hohlraumgehalt (Kategorie 2) sind besonders anfällig für Schneeketten und Spikes. Das Befahren dieser Beläge mit Schneeketten oder Spikes sollte (auch bei den Fahrzeugen des Winterdienstes) wenn möglich vermieden werden.

Für die Kategorie 2 (wasserundurchlässig, hohlraumreich) gelten für den Winterdienst die gleichen Salzmengen wie für herkömmliche Beläge [115]

*Die Anwendung von Splitt führt bei diesen wasserundurchlässigen, hohlraumreichen Belägen zur Zerstörung der akustischen Wirkung im Betrieb, da das Korngerüst aufgrund des grossen Hohlraumgehaltes zerstört werden kann. Splitt sollte bei diesen Belägen vermieden werden. Bei diesen Belägen wirkt Splitt als zusätzliche Lärmquelle (konvexe Belagsoberfläche).*

<sup>40</sup> gemäss Empfehlungen FGSV ([61] S. 15f.) für alle Beläge nur bedingt empfehlenswert

Tabelle 46: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 2

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betrieblich	Bewertung
Mechanische Räumung	Schnee, Schneeglätte	neutral	- Vorsicht: Pflug, Schneeketten, Spikes - Fahrtroutenoptimierung		empfehlenswert
Trockensalz streuen	Schnee	neutral	- empfohlen bei starkem Schneefall		empfehlenswert
	Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis		- kann wegwehen und so nicht optimal wirken		bedingt empfehlenswert <sup>41</sup>
Feuchtsalz streuen	Schnee	neutral	- bessere Haftung als bei Trockensalz - wirtschaftlicherer Salzverbrauch		empfehlenswert
	Schneeglätte				
	Reifglätte				
	Eisglätte				
Glatteis					
Sole sprühen	Schnee, Reif-, Schnee-, Eisglätte, Glatteis	neutral	- gute Haftung - wirtschaftlicher Salzverbrauch		empfehlenswert
Splitt streuen	Schnee, Reif-, Schnee-, Eisglätte, Glatteis	ungünstig	- kann Belag im Betrieb zerstören - zusätzliche Lärmquelle		nicht empfehlenswert

### Fazit

Die mechanische Räumung ist Vorsicht geboten bei der Justierung des Pfluges; der Einsatz von Schneeketten und Spikes sollte vermieden werden. Der Taumiteinsatz kann bei Belägen der Kategorie 2 bei Bedarf wie bei herkömmlichen Belägen mit gleicher Taumittelmenge erfolgen. Splitt streuen sollte vermieden werden.

### Kategorie 3:

Bei Belägen der Kategorie 3 ist bei mechanischer Schneeräumung mit dem Pflug sowie bei der Anwendung von Schneeketten und Spikes ein ähnliches Verhalten wie für herkömmliche Beläge zu erwarten und deren Anwendung möglich [61], [116], [120].

Für die Beläge mit grober Textur (Kategorie 3) geht man von einer erhöhten Salzmenge aus, die zwischen der für herkömmliche Beläge (Kategorien 2) und für offenporige (Kategorie 1) liegt (Tabelle 44) ([19], S. 30).<sup>42</sup>

*Die Anwendung von Splitt kann bei wasserundurchlässigen Belägen mit grober Textur zur Zerstörung der akustischen Wirkung im Betrieb führen, da die grobe Textur durch das Material (das evtl. weiter zermahlen wird) verstopft oder beschädigt werden könnte. Weiterhin wirkt Splitt als zusätzliche Lärmquelle und dessen Einsatz sollte vermieden werden.*

<sup>41</sup> gemäss Empfehlungen FGSV [61] für alle Beläge nur bedingt empfehlenswert

<sup>42</sup> Für die Kostenanalyse in dieser Forschungsarbeit wird von der 1.5-fachen Salzmenge ausgegangen (vgl. Kap. 4.6.7.2).



Tabelle 47: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 3

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betrieblich	Bewertung
Mechanische Räumung	Schnee, Schneeglätte	neutral	möglich		empfehlenswert
Trockensalz streuen	Schnee	neutral	- empfohlen bei starkem Schneefall		empfehlenswert
	Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis		- kann wegwehen und so nicht optimal wirken		bedingt empfehlenswert <sup>43</sup>
Feuchtsalz streuen	Schnee	neutral	- kann wegwehen und so nicht optimal wirken		empfehlenswert
	Schneeglätte				
	Reifglätte				
	Eisglätte				
	Glatteis				
Sole sprühen	Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	neutral	- gute Haftung - wirtschaftlicher Verbrauch	Salz	empfehlenswert
Splitt streuen	Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	ungünstig	- kann grobe Textur oder verstopfen schädigen - zusätzliche Lärmquelle		nicht empfehlenswert

### Fazit

Die mechanische Räumung, der Einsatz von Schneeketten und Spikes sowie der Taumittleinsatz können wie bei herkömmlichen Belägen aber mit Mehrmengen (1.2- bis 1.5-fach) erfolgen. Splitt streuen kann erfolgen, sollte aus akustischen Gründen vermieden werden.

### Kategorie 4:

Bei Belägen der Kategorie 4 ist bei mechanischer Schneeräumung mit dem Pflug sowie bei der Anwendung von Schneeketten und Spikes ein ähnliches Verhalten wie für herkömmliche Beläge zu erwarten und deren Anwendung möglich [61]; [116]; [120]. Für die Kategorie 4 (wasserundurchlässig, mit feiner Textur) gelten für den Winterdienst die gleichen Salzmengen wie für herkömmliche Beläge (Tabelle 44) [115]

Bei den wasserundurchlässigen Belägen mit feiner Textur wirkt Splitt als zusätzliche Lärmquelle und sollte vermieden werden.

<sup>43</sup> gemäss Empfehlungen FGSV [61] für alle Beläge nur bedingt empfehlenswert

Tabelle 48: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 4

Verfahren	Belagszustand	akustisch	technisch-mechanisch	betrieblich	Bewertung
Mechanische Räumung	Schnee, Schneeglätte	neutral	- Vorsicht: Pflug, Schneeketten, Spikes - Fahrtroutenoptimierung		empfehlenswert
Trockensalz streuen	Schnee	neutral	- empfohlen bei starkem Schneefall		empfehlenswert
	Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis		- kann wegwehen und so nicht optimal wirken		bedingt empfehlenswert <sup>44</sup>
Feuchtsalz streuen	Schnee	neutral	- bessere Haftung als bei Trockensalz - wirtschaftlicherer Salzverbrauch		empfehlenswert
	Schneeglätte				
	Reifglätte				
	Eisglätte				
	Glatteis				
Sole sprühen	Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	neutral	- gute Haftung - wirtschaftlicher Salzverbrauch		empfehlenswert
Splitt streuen	Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	ungünstig	- zusätzliche Lärmquelle		nicht empfehlenswert

### Fazit

Die mechanische Räumung, der Einsatz von Schneeketten und Spikes sowie der Taumittelsatz können wie bei herkömmlichen Belägen mit gleichen Taumittelmengen erfolgen. Splitt streuen kann erfolgen, sollte aus akustischen Gründen vermieden werden.

### Einbindung in den kommunalen Strassenunterhalt

Kategorie 1 und 2:

Die lärmarmen Beläge der Kategorien 1 und 2 sind speziell in die Fahrtroutenplanung einzubeziehen und es ist zu überlegen, wie Fahrtrouten optimiert werden können, so dass diese Beläge nicht mit Schneeketten oder Spikes befahren werden. Ebenso ist eine gesonderte Prüfung der Justierung des Pfluges vor Beginn der mechanischen vorzunehmen. Besser wäre der Einbau dieser Beläge nur auf (vgl. Kap. 5.2.1) Strecken, bei denen Schneeketten etc. nicht zum Einsatz kommen müssen (Strecken mit untergeordneter Priorität im Winterdienst, keine Routen des öffentlichen Verkehrs etc.).

Kategorie 3 und 4:

Beläge der Kategorien 3 und 4 können problemlos in den gemeindespezifischen Winterdienst integriert werden; es sind keine organisatorischen Anpassungen oder Abweichungen vorzunehmen.

<sup>44</sup> gemäss Empfehlungen FGSV [61] für alle Beläge nur bedingt empfehlenswert

### 4.5.3 Kleiner baulicher Unterhalt

Der kleine bauliche Unterhalt ist bei den lärmarmen Belägen aus zwei Gründen wichtig:

- Die Ausbreitung des Schadens wird verhindert (technisch-mechanische Betrachtungsebene).
- Die akustische Wirksamkeit des Belages wird ganz oder teilweise wiederhergestellt (akustische Betrachtungsebene):
  - Herstellung / Erhaltung der Ebenheit als Grundvoraussetzung für lärmarme Beläge und/oder
  - Herstellung / Erhaltung der drei massgebenden Parameter für die Lärmreduzierung (Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit, Rauigkeitstiefe)

Der kleine bauliche Unterhalt unterscheidet sich für die Belagskategorien im Wesentlichen aufgrund der Wasserdurchlässigkeit des Belages. Aus den Rechercheergebnissen lässt sich folgende Gruppierung bilden:

- hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit der Deckschicht
  - Kategorie 1: grossflächige Erhaltungsmaßnahmen mit lärmarmem Material (wasserdurchlässig)
  - Kategorien 2 bis 4: wie herkömmlich, aber möglichst mit lärmarmem Material (wasserundurchlässig)

#### Alle Kategorien:

#### **(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen**

Dieses Verfahren ist für lärmarme Beläge akustisch ungünstig [57],[102]. Bei Belägen der Kategorie 1 werden die Poren und Täler mit Bindemittel und Splitt verstopft. Bei Belägen der Kategorie 4 wird davon ausgegangen, dass die abgestreute Stelle nicht lärmreduzierend wirken würde (keine konkave Oberfläche). Für Schäden, die die Ebenheit nicht beeinträchtigen (Schadensgruppen 1 - 3) ist das Verfahren daher bei allen Kategorien nicht zu empfehlen.

#### **Abfräsen von Unebenheiten**

Dieses Verfahren wird bei Schäden mit Unebenheiten angewendet (Schadensgruppe 4 und 5) und ist bei allen Kategorien nicht empfehlenswert, da zwar die Ebenheit wiederhergestellt wird, die Makrotextur des Belages jedoch zerstört wird und vor allem bei den hohlraumreichen Belägen (Kategorie 1 und 2) der Belag weiterhin zerstört werden kann [115]; [143]

#### **Rückformen (örtlich)**

Das Rückformen ist ein empfehlenswertes Verfahren zur Deckbelagssanierung und wird bei den nicht-strukturellen Belagsschäden angewendet (Schadensgruppen 1 - 4). Das Verfahren ist vielversprechend [97] [99][137] [139], da es mit dem eingebauten, lärmarmen Asphaltmischgut auskommt und kein zusätzliches lärmarmes Mischgut erforderlich ist, welches oftmals in kleinen Mengen nicht erhältlich ist. Das Rückformen kann bei Belägen aller Kategorien angewendet werden. Es wird von Spezialisten besonders für Beläge der Kategorie 1 empfohlen, da damit eine nahtlose Verbindung zum umgebenden Belag hergestellt und so die Wasserdurchlässigkeit sichergestellt werden kann. Lärmarme Beläge sollten nicht zusätzlich abgestreut werden [136]. Das Rückformen wurde in Deutschland bisher überwiegend mit Erfolg ausprobiert (vgl. auch [138]); zu den akustischen Eigenschaften einer rückgeformten Stelle sind bis jetzt aber keine Untersuchungen bekannt [147]. In der Schweiz ist das Verfahren nicht üblich.

#### **Aufbringen eines Konservierungsmittels (präventiv)**

Eine grundsätzlich empfehlenswerte präventive Massnahme ist das Aufbringen eines Konservierungsmittels ([45], S. 77; 140, 81; 98; 139; 141; 142). Bei sich andeutenden Kornausbrüchen (noch besser kurz nach dem Einbau des Belages) kann das Aufbringen eines Konservierungsmittels dazu beitragen, Schäden zu vermeiden und die Lebensdauer des Belages zu erhöhen [141]. Das Verfahren bietet sich besonders bei den

Belägen an, welche auf mechanische Beanspruchung anfälliger sind und leicht zu Kornausbrüchen neigen (Kategorien 1 und 2). Das Verfahren wurde in Deutschland an einem Belag der Kategorie 1 erfolgreich getestet [140]. Erfahrungen zu den Belägen der anderen Kategorien liegen noch nicht vor. In der Schweiz sind Tests geplant [141].

### **Aufrauen**

Zur Anwendung dieses Verfahrens zur Wiederherstellung der Griffigkeit von lärmarmen Belägen liegen in der Schweiz keine Erfahrungen vor ([134] [135]). Es ist vorstellbar, dass aufrauende Verfahren, die einen Belag mechanisch stark belasten (z.B. Kugelstrahlen), Beläge mit hohem Hohlraumgehalt (Kategorien 1 und 2) beschädigen oder zerstören können. Wie bei der Hochdruckreinigung könnte es sinnvoll sein, das Verfahren auf einer Probestfläche zu testen. Mit dem Verfahren „diamond cutting“ wurden in den Niederlanden gute Erfahrungen an Porösen Belägen gemacht [133], eine Erhöhung des Rollgeräuschpegels nach Anwendung des Verfahrens kann jedoch nicht ausgeschlossen werden ([132] S. 7, 11, 13). Aufrauende Methoden sind daher mit dem Verweis auf einzelne geeignete Verfahren (diamond cutting) eher als nicht empfehlenswert anzusehen.

### **Kategorie 1 - wasserdurchlässig**

#### **Ausbessern / Verfüllen mit Asphaltmischgut**

Das Verfahren „Auffüllen mit Asphaltmischgut“ wird bei Schäden mit Unebenheiten angewendet (Schadensgruppe 4 und 5) und stellt die Ebenheit des Belages wieder her und beseitigt dadurch die entstandene Lärmquelle „Unebenheit“ (Megatextur). Da die Makrotextur des Asphaltmischgutes (Kaltmischgut) akustisch ungünstig ist [65], kann das Verfahren als provisorische Massnahme zur Wiederherstellung der Ebenheit bedingt empfohlen werden. Bei den Belägen der Kategorie 1 ist zu beachten, dass die Wasserdurchlässigkeit des Belages rund um die Reparaturstelle beeinträchtigt werden kann, was lokal zu Aquaplaning und bei Frost zur Bildung von Eislinsen führen kann [65]. Bei Anwendung dieses Verfahrens ist für einen Wasserabfluss zur Entwässerungsrinne zu sorgen.

#### **Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen**

Die akustische Verschlechterung eines Belages durch Fugen oder Risse wird als gering erachtet [65],[102]. Bei den wasserdurchlässigen Belägen (Kategorie 1) erfolgt das Vergiessen eher aus optischen Gründen. Hierbei ist die Lage des Risses zu beachten: verläuft er eher senkrecht zur Falllinie, würde der vergossene Riss das Wasser stauen und zu Aquaplaning und bei Frost zur Bildung von Eislinsen führen. In diesem Fall ist die Belags- oder Oberbauerneuerung bis zur Entwässerungsrinne vorzuziehen.

#### **Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)**

Die Verfahren „Örtl. Belagserneuerung (nicht lärmarm)“ und „Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)“ müssen für Kategorie 1 wegen der Wasserdurchlässigkeit der Beläge aus betrieblicher Sicht getrennt beurteilt werden. Die „Örtl. Belagserneuerung (nicht lärmarm)“ ist bedingt empfehlenswert, da sie zwar akustisch ungünstig ist, aber sich kein Wasser innerhalb der Reparaturstelle stauen kann (wie bei offenporigem, lärmarmem Mischgut). Es ist darauf zu achten, dass der Wasserabfluss um die Reparaturstelle herum gewährleistet ist [65]. Gleiches gilt für die „Oberbauerneuerung“ mit nicht lärmarmem Mischgut: Sie ist bei bedingt empfehlenswert, da der Belag akustisch ungünstig wirkt. Die beiden Verfahren ermöglichen es in ihrer lokalen Anwendung weiterhin, die Ebenheit wiederherzustellen.

#### **Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)**

Die Verfahren „Örtl. Belagserneuerung (lärmarm)“ und „Oberbauerneuerung (lärmarm)“ müssen für Beläge der Kategorie 1 wegen der Wasserdurchlässigkeit der Beläge aus betrieblicher Sicht getrennt betrachtet werden. Die „Örtl. Belagserneuerung (lärmarm)“ ist aufgrund des nicht vorhandenen Wasserabflusses aus der Reparaturstelle heraus (und evtl. darum herum) nicht empfehlenswert [65]. Die „Oberbauerneuerung (lärmarm)“ mit einem Mischgut wie beim Ausgangsbelag ist hingegen eine empfehlenswerte

Massnahme, denn hiermit kann die Wasserdurchlässigkeit bis zur Entwässerungsrinne sichergestellt werden. Die beiden Verfahren ermöglichen es in ihrer lokalen Anwendung weiterhin, die Ebenheit wiederherzustellen.

Tabelle 49: Kleiner baulicher Unterhalt von Belägen der Kategorie 1

Verfahren	Belagszustand	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	technisch-mechanisch	betriebl.lich	Bewertung
Abfräsen von Unebenheiten	Strukturelle Schäden	erforderlich, günstig	ungünstig	Vorsicht: kann Belag zerstören		nicht empfehlenswert
Anspritzen und Abstreuen mit feiner Gesteinskörnung	Oberflächenglätte		nicht erforderlich, ungünstig	ggf. erforderlich	kein Abstreuen, Einsatz nur grossflächig	nicht empfehlenswert
	Leichte Mat.-verluste					
	Risse, Nähte		erforderlich ungünstig			
	Strukturelle Schäden					
Aufbringen Konservierungsmittel (präventiv)	Leichte Materialverluste		nicht erforderlich, unklar	präventiv günstig / für Lebensdauer von OPAs	möglich	empfehlenswert
Aufrauen	Oberflächenglätte		nicht erforderlich, ungünstig	ggf. erforderlich, Vorsicht: Stabilität	-	nicht empfehlenswert
Ausbessern / Verfüllen Asphaltmischgut	Schwere Mat.-verluste	erforderlich günstig	ungünstig	erforderlich	Vorsicht: Wasserdurchlässigkeit muss gewährleistet sein	bedingt empfehlenswert
	Strukturelle Schäden					
Örtliche Belagserneuerung (nicht lärmarm)	Oberflächenglätte		nicht erforderlich, ungünstig	ggf. erforderlich	Anordnung Flick ermöglicht Wasserabfluss	bedingt empfehlenswert
	Leichte Mat.-verluste					
	Risse, Nähte					
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	ungünstig	erforderlich		bedingt empfehlenswert
	Strukturelle Schäden					
Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Oberflächenglätte		nicht erforderlich, ungünstig	ggf. erforderlich	Wasserabfluss durch geschickte Anordnung Belagsersatz zu gewährleisten	nicht empfehlenswert
	Leichte Mat.-verluste					
	Risse, Nähte					
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	ungünstig ungünstig	erforderlich		bedingt empfehlenswert
	Strukturelle Schäden					

Verfahren	Belagszustand	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	technisch-mechanisch	betriebl.lich	Bewertung
Örtliche Belagserneuerung (lärmarm)	Oberflächenglätte		nicht erf., neutral	ggf. erforderlich	Wasserabfluss aus Flickstelle heraus und um Flickstelle herum muss gewährleistet sein	nicht empfehlenswert
	Leichte Mat.-verluste		nicht erf., günstig			
	Risse, Nähte		nicht erf., neutral			
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	günstig	erforderlich		nicht empfehlenswert
	Strukturelle Schäden		neutral			
Oberbauerneuerung (lärmarm)	Oberflächenglätte		nicht erf., neutral	ggf. erforderlich	Wasserabfluss durch geschickte Anordnung Belagsersatz zu gewährleisten	empfehlenswert
	Leichte Mat.-verluste		nicht erf., günstig			
	Risse, Nähte		nicht erf., neutral			
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	günstig	erforderlich		empfehlenswert
	Strukturelle Schäden		neutral			
Rückformen	Leichte Mat.-verluste		nicht erf., günstig	ggf. erforderlich	-	empfehlenswert
	Risse, Nähte		nicht erf., neutral			
	Schwere Mat.-verluste	Erforderlich, günstig	günstig	erforderlich		
Verfüllen und Vergiessen	Risse, Nähte		nicht erf., neutral	bei Rissen tiefer als Deckschicht erforderlich	-	bedingt empfehlenswert
	Strukturelle Schäden	neutral	neutral			

### Fazit

Für den kleinen baulichen Unterhalt von porösen Belägen der Kategorie 1 liegen die Besonderheiten in der Wasserdurchlässigkeit der Deckschicht und in der Lärminderung, welche in erster Linie durch die Offenporigkeit erzielt wird. Daher sind lediglich zwei Erhaltungsmassnahmen als wirklich empfehlenswert anzusehen: die „Oberbauerneuerung“ mit lärmarmem Mischgut und das „Rückformen“ (noch keine Erfahrungen in Schweiz). Erhaltungsmassnahmen sollten aus Gründen der Wasserdurchlässigkeit des Belages möglichst grossflächig bis hin zur Entwässerungsrinne erfolgen. Für kleine Flicke sollte trotz Verlust der Lärmeigenschaften auf diesem Teilstück **nicht** lärmarmes Mischgut zum Einsatz kommen, damit sich kein Wasser innerhalb der Nähte der Reparaturstelle staut und der Wasserabfluss im Belag zur Rinne hin gewährleistet ist. Risse in der Deckschicht müssen aus akustischer und technisch-mechanischer Sicht nicht vergossen werden. Risse in tieferen Schichten sollten aus technisch-mechanischer Sicht vergossen werden. Starke mechanische Beanspruchungen (Scherbeanspruchungen) während der Reparatur sind zu vermeiden. Präventiv könnte ein Konservierungsmittel aufgebracht werden.

**Kategorie 2 bis 3 – wasserundurchlässig****Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen**

Die akustische Verschlechterung eines Belages durch Fugen oder Risse wird als gering [65], [102]. Dennoch ist das Verfüllen und Vergiessen von Fugen, Rissen und Nähten bei den wasserundurchlässigen Belägen (Kategorien 2 bis 4) notwendig, um das Eindringen von Wasser und damit Aquaplaning und Frostschäden zu unterbinden [65].

**Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)**

„Örtliche Belagserneuerung“ und „Oberbauerneuerung“ mit nicht lärmarmem Mischgut sind bei den wasserundurchlässigen lärmarmen Belägen keine empfehlenswerten Massnahmen, da sie akustisch eine Verschlechterung darstellen. Die beiden Verfahren ermöglichen es in ihrer lokalen Anwendung weiterhin, die Ebenheit wiederherzustellen.

**Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)**

„Örtl. Belagserneuerung (lärmarm)“ und „Oberbauerneuerung (lärmarm)“ mit lärmarmem Mischgut wie im Einbauzustand sind empfehlenswert, denn die Problematik der Wasserdurchlässigkeit um die Nähte der Reparaturstelle herum besteht nicht und durch das Mischgut werden die akustischen Eigenschaften wie beim Ausgangsbelag wieder hergestellt. Die beiden Verfahren ermöglichen es in ihrer lokalen Anwendung weiterhin, die Ebenheit wiederherzustellen.

Tabelle 50: Kleiner baulicher Unterhalt von Belägen der Kategorien 2 bis 4

Verfahren	Belagszustand	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	technisch-mechanisch	betriebl.lich	Bewertung
Abfräsen von Unebenheiten	Strukturelle Schäden	erforderlich, günstig	ungünstig	erforderlich: Ebenheit Vorsicht: kann Belag zerstören		nicht empfehlenswert
Anspritzen und Abstreuen mit feiner Gesteinskörnung	Oberflächenglätte		nicht erforderlich, ungünstig	ggf. erforderlich	kein Abstreuen, Einsatz nur grossflächig	nicht empfehlenswert
	Leichte Mat.-verluste			erforderlich, Wasserdurchlässigkeit		
	Risse, Nähte					
	Strukturelle Schäden	neutral	ungünstig			
Aufbringen Konservierungsmittel (präventiv)	Leichte Materialverluste		nicht erforderlich, unklar	präventiv günstig / für Lebensdauer	-	empfehlenswert
Aufräumen	Oberflächenglätte		nicht erforderlich, ungünstig	ggf. erforderlich, Vorsicht: Stabilität	-	nicht empfehlenswert
Ausbessern / Verfüllen Asphaltmischgut	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	neutral	erforderlich	-	bedingt empfehlenswert
	Strukturelle Schäden			erforderlich, Wasserdurchlässigkeit		
Örtliche Belags-	Oberflächenglätte		nicht erf., ungünstig	ggf. erforderlich	-	nicht empfehlenswert

Verfahren	Belagszustand	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	technisch-mechanisch	betriebl.lich	Bewertung
erneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Leichte Mat.-verluste		nicht erf., neutral			
	Risse, Nähte		nicht erf., ungünstig	erforderlich, Wasserundurchlässigkeit	-	bedingt empfehlenswert
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	neutral	erforderlich	-	
	Strukturelle Schäden		ungünstig	erforderlich, Wasserundurchlässigkeit	-	
Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)	Oberflächenglätte		nicht erf., neutral	ggf. erforderlich	-	
	Leichte Mat.-verluste		nicht erf., günstig			
	Risse, Nähte		nicht erf., neutral	erforderlich, Wasserundurchlässigkeit	-	
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	günstig	erforderlich	-	
	Strukturelle Schäden		neutral	erforderlich, Wasserundurchlässigkeit	-	
Rückformen	Leichte Mat.-verluste		nicht erf., günstig	ggf. erforderlich	-	empfehlenswert
	Risse, Nähte		nicht erf., neutral	erforderlich, Wasserundurchlässigkeit	-	
	Schwere Mat.-verluste	erforderlich, günstig	günstig			
Verfüllen und Vergiessen	Risse, Nähte		nicht erf., neutral	erforderlich, Wasserundurchlässigkeit	-	empfehlenswert
	Strukturelle Schäden	neutral	neutral			

### Fazit

Der kleine bauliche Unterhalt von wasserundurchlässigen, lärmarmen Belägen „Kategorien 2 bis 4“ kann weitestgehend wie bei herkömmlichen Belägen erfolgen. Unterschiede ergeben sich bei aufrauenden Verfahren: hier könnte wegen des erhöhten Hohlraumgehalts der Belag zerstört werden. Bei Belägen der Kategorie 2 sind starke mechanische Beanspruchungen (Scherbeanspruchungen) während der Reparatur zu vermeiden. Als Mischgut für Belagserneuerungen und Oberbauerneuerung sollte lärmarmes, wasserundurchlässiges Ausgangsmaterial verwendet werden. Erhaltungsmassnahmen müssen aus technisch-mechanischer und akustischer Sicht nicht unbedingt grossflächig erfolgen. Aufgrund verfügbarer Mindestmengen bei der Mischgutlieferung empfiehlt sich möglicherweise dennoch eine grossflächige Erhaltung. Risse in der Deckschicht und in tieferen Schichten müssen aus technisch-mechanischer Sicht vergossen werden, um Frostschäden vorzubeugen. Präventiv könnte ein Konservierungsmittel aufgebracht werden.

### Einbindung in den kommunalen Strassenunterhalt

Die technisch-mechanische und akustische Dauerhaftigkeit lärmarmen Belägen ist noch



nicht abschliessend erforscht ([38], S. 32). Wie gut kleinflächige Reparaturen die akustische Wirkung eines Belages wiederherstellen, müsste anhand von Messungen genauer untersucht werden. Aus betrieblichen Gründen (Wasserdurchlässigkeit bei porösen Belägen, Mindestmengen bei Materiallieferung) sind derzeit eher grossflächige Reparaturen üblich.

#### Kategorie 1:

Bei Belägen der Kategorie 1 sind lediglich zwei Erhaltungsmaßnahmen als wirklich empfehlenswert anzusehen: die „Oberbauerneuerung“ mit lärmarmem Mischgut und das „Rückformen“ (noch keine Erfahrungen in Schweiz). In der Regel werden diese Massnahmen durch Externe durchgeführt, es bedarf daher keiner besonderen organisatorischen, kapazitativen Überlegungen in Städten und Gemeinden.

Wie auch beim Winterdienst sind allgemein bei Belägen der Kategorie 1 starke mechanische Beanspruchungen (Scherbeanspruchungen) während der Reparatur zu vermeiden.

#### Kategorien 2 bis 4:

Der kleine bauliche Unterhalt von wasserundurchlässigen, lärmarmen Belägen „Kategorien 2 bis 4“ kann weitestgehend wie bei herkömmlichen Belägen erfolgen. Risse vergiessen gewinnt eine erhöhte Bedeutung gegenüber herkömmlichen Belägen, hier ist ein gewisser, geringer Mehraufwand einzuplanen und entsprechende Kapazitäten bereitzustellen. Spezialverfahren (Rückformen) oder grossflächiger Belagsersatz werden in der Regel durch Externe durchgeführt, es bedarf daher keinen besonderen organisatorischen, kapazitativen Überlegungen in Städten und Gemeinden.

Wie auch beim Winterdienst sind bei Belägen der Kategorie 2 starke mechanische Beanspruchungen (Scherbeanspruchungen) während der Reparatur zu vermeiden.

## 4.6 Finanzielle Aspekte

### 4.6.1 Ziel

Um aussagefähige Handlungsempfehlungen erarbeiten zu können, werden nach der Untersuchung der technisch-mechanischen, akustischen und betrieblichen Betrachtungsebene (finanzielle Betrachtungsebene, Kap. 2.3.3) die Kosten für den Unterhalt lärmarmen Beläge untersucht.

Im Hinblick auf die Eingliederung des Unterhalts lärmarmen Beläge in ein bestehendes Netz sind dabei nicht die reinen Mehr- oder ggf. auch Minderkosten für den Unterhalt eines lärmarmen Belages im Vergleich zu einem herkömmlichen Belag ausschlaggebend, sondern die Entwicklung der bestehenden Unterhaltskosten in Gemeinden und Städten.

Dazu werden die Prozesse und Abläufe im kommunalen Strassenunterhalt dargestellt. Auf dieser Grundlage erfolgen die Kostenanalysen, welche als Ziel evtl. entstehende Mehr- oder Minderkosten infolge lärmarmen Beläge für den Strassenunterhalt in der Gemeinde aufzeigen.

### 4.6.2 Datenbasis

Grundlage für die Kostenanalyse sind im Rahmen von Forschungsprojekten erhobene Kostendaten von Schweizer Gemeinden und Städten. Dadurch kann für diese Kostenanalyse auf eine breite und fundierte Datenbasis zurückgegriffen werden, welche in folgenden Erhebungen zusammengetragen wurde:

- „Empfehlung Leistungs- und Kosten-Controlling im Strassenunterhaltsdienst“; FES; 2000
- Schlussbericht des Forschungsprojektes ASTRA 2003/007 „Formen neuer PPP-Kooperationen im Strassenunterhalt von Gemeinden und Städten“, 2008
- ASTRA 2008/004: „Prozess- und wirkungsorientiertes Management für den betrieblichen Strassenunterhalt“ Ergebnisse empirische Erhebung (noch nicht veröffentlicht)

Den Erhebungen liegt die gleiche Systematik (Kap. 4.6.4) zugrunde, so dass die Daten aller drei Untersuchungen vergleichbar und aussagefähig sind.

### 4.6.3 Organisation betrieblicher Unterhalt in Gemeinden und Städten

Die Aufgaben des betrieblichen Strassenunterhaltes werden in den Gemeinden in der Regel über einen gemeindeeigenen Werkhof erfüllt. Zusätzlich werden definierte Leistungen an Externe/Dritte vergeben. Die Organisation des betrieblichen Strassenunterhaltes in den Gemeinden gestaltet sich in der Regel wie in Abbildung 12 dargestellt.

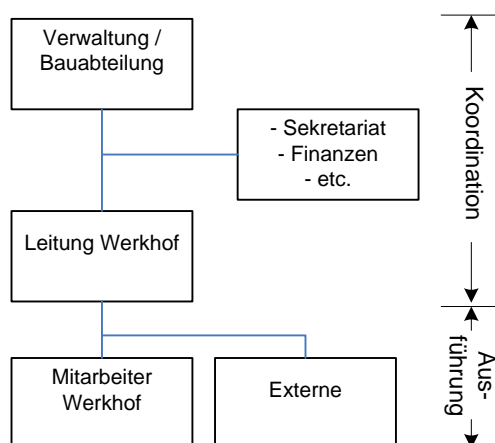


Abbildung 12: Organigramm im betrieblichen Strassenunterhalt

Es können die folgenden Organisationsstufen unterschieden werden:

- Koordination
  - Verwaltung (inkl. unterstützende Bereiche: Sekretariat, Finanzen etc.)
  - Leitung Werkhof
- Ausführung
  - Operativ tätige Mitarbeiter
  - Externe Leistungserbringer

Zum Aufgabenumfang des Werkhofes einer Gemeinde gehören neben dem betrieblichen Strassenunterhalt eine Vielzahl unterschiedlicher Tätigkeitsbereiche, diese können von Gemeinde zu Gemeinde stark variieren (z.B. Liegenschaftsunterhalt, Wasserversorgung, Unterhalt Friedhof inkl. Bestattungswesen, Unterhalt der Gewässer, Unterstützung bei Festanlässen etc.).

Der Anteil des betrieblichen Strassenunterhaltes (Reinigung, Winterdienst, kleiner baulicher Unterhalt) an den Gesamtausgaben des Werkhofes liegt in den untersuchten Gemeinden zwischen 40% und 60% [148].

#### 4.6.4 Systematik der Kosten

Bei der Erfassung der Kosten wird zwischen indirekten und direkten Kosten unterschieden. Die „direkten Kosten“ fallen vorwiegend bei den operativen Tätigkeiten und können diesen direkt zugeordnet werden:

- Winterdienst
- Reinigung
- Kleiner baulicher Unterhalt

Für jeden Leistungsbereich sind die Kosten getrennt in den vier Kostenarten erfasst. Diese sind:

- Lohn
- Material
- Inventar/Geräte
- Fremdleistungen

Die „indirekten Kosten“ ergeben sich vor allem auf zwei Ebenen (Koordination):

- Verwaltung
- Werkhof

Bei den Verwaltungskosten werden ausschliesslich Kosten berücksichtigt, die nicht in anderen Kostenstellen erfasst sind, wie z. B. Löhne oder sonstige Ausgaben (u. a. Büromaterial, Büroeinrichtungen, sowie Fremdleistung für Beratungs-, Ingenieur- und EDV-Service).<sup>45</sup>

Zu den Kosten des Werkhofs für den betrieblichen Strassenunterhalt zählen einerseits die Kosten, welche im Rahmen koordinativer Tätigkeiten anfallen, sowie andererseits weitere Tätigkeiten, die nicht den einzelnen operativen Leistungsbereichen zugeordnet werden können.<sup>46</sup> Die Werkhofkosten umfassen vor allem:

- Wartung von Fahrzeugen, Geräten und Inventar
- Organisation der Tätigkeiten
- Koordination von internen und externen Arbeiten

<sup>45</sup> Ansätze für eine Abschreibung der Investitionen bzw. eine Miete für die Verwaltungsgebäude sind aufgrund fehlender Angaben bei allen beteiligten Gemeinden nicht in den Verwaltungskosten enthalten.

<sup>46</sup> Ansätze für eine Abschreibung der Investitionen bzw. eine Miete für den Werkhof sind aufgrund fehlender Angaben bei allen beteiligten Gemeinden nicht in den Werkhofkosten enthalten.

- Unterhalt des Werkhofgebäudes und andere Lagerflächen

#### 4.6.5 Kosten im betrieblichen Strassenunterhalt

In Tabelle 51 sind die Ergebnisse der Forschungsarbeit ASTRA 2008/004 [148] und die um die Teuerung korrigierten Ergebnissen aus der Datenhebung ASTRA 2003/007 [28] zusammengestellt.

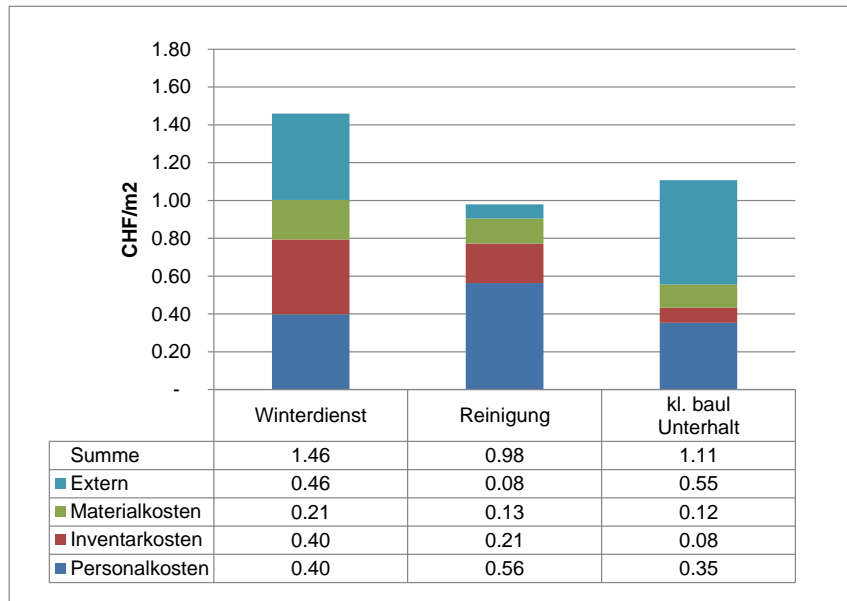
Tabelle 51: Ergebnisse Kostenerhebungen ([148], [28])

	Mittelwert 2009	Bandbreite 2009		Vergleich 2003 (inkl. Teuerung)
		von	bis	
<b>Allgemeine Daten</b>				
EWZ	10'159	5089	12227 EW	8'550 EW
Gemeindestrassennetz Länge (gesamt)	50.8	28.16	73.40 km	36.77 km
Gemeindestrassennetz Fläche (gesamt)	274'355	191052	352268 m <sup>2</sup>	309'854 m <sup>2</sup>
Verhältnis m <sup>2</sup> /EW	29	17	38 m <sup>2</sup> /EW	36.49 m <sup>2</sup> /EW
<b>Winterdienst</b>				
Winterdienst	388'312	251'764	513'588 CHF	171'276 CHF
Eigenleistung	269'055	171'478	377'768 CHF	122'541 CHF
Fremdleistung	119'257	80'286	144'324 CHF	48'734 CHF
Winterdienstkosten je m <sup>2</sup>	1.46	1.07	2.10 CHF / m <sup>2</sup>	0.57 CHF / m <sup>2</sup>
Winterdienstkosten je EW	43.3	21.1	78.8 CHF / EW	19.74 CHF / EW
<b>Reinigung</b>				
Reinigung (gesamt)	261'338	166'442	422'850 CHF	401'663 CHF
Eigenleistung	241'643	120'983	422'850 CHF	345'884 CHF
Fremdleistung	19'696	-	45'459 CHF	55'779 CHF
Reinigungskosten gesamt je m <sup>2</sup>	0.98	0.47	1.35 CHF / m <sup>2</sup>	1.32 CHF / m <sup>2</sup>
Reinigungskosten gesamt je EW	27.2	17.2	41.3 CHF / EW	46.82 CHF / EW
Häufigkeit der maschinellen Reinigung	1.74	0.50	4.00 pro Monat	
<b>kl. baul. Unterhalt</b>				
kl. baul. Unterhaltskosten gesamt	287'853	144'152	403'050 CHF	157'226 CHF
Eigenleistung	144'523	57'330	272'042 CHF	122'782 CHF
Fremdleistung	143'329	86'822	228'978 CHF	34'443 CHF
kl. baul. Unterhaltskosten gesamt je m <sup>2</sup>	1.11	0.46	1.70 CHF / m <sup>2</sup>	0.56 CHF / m <sup>2</sup>
kl. baul. Unterhaltskosten gesamt je EW	31.1	11.8	47.1 CHF / EW	18.17 CHF / EW

Für eine Abschätzung der Auswirkung eines veränderten betrieblichen Unterhaltes von lärmarmen Belägen sind neben den Gesamtkosten die Kostenarten (Personalkosten, Geräte und Inventarkosten) pro Bereich entscheidend.

Tabelle 52 zeigt, dass die Tätigkeitsbereiche des betrieblichen Unterhaltes eine unterschiedliche Verteilung der Kosten nach Kostenarten aufweisen. So ist im Bereich Winterdienst der Anteil der Material- und Gerätekosten deutlich höher als in der Reinigung und im kleinen baulichen Unterhalt.

Tabelle 52: Anteil der Kostenarten je Tätigkeitsbereich [148]



#### 4.6.6 Beispielgemeinden

Die Kostenstrukturen des betrieblichen Unterhalts variieren in Abhängigkeit der Gemeindegrößen. Für die Kostenanalyse in diesem Projekt werden drei verschieden grosse Beispielgemeinden generiert, anhand derer die Auswirkung des Einsatzes von lärmarmen Belägen untersucht wird.

Die Basisdaten der Gemeinden sind in Abbildung 13 dargestellt.

##### Gemeinde 1

Einwohner	< 5'000
Länge Gemeindestrassennetz	30 km
davon LdB in %	5%
Strassenbreite	7 m
Länge Kantonsstrassennetz	10 km
davon LdB in %	10%
Strassenbreite	8 m
Gesamtfläche	290'000 m <sup>2</sup>
davon LdB 6.4%	18'500 m <sup>2</sup>
davon herk. Beläge	271'500 m <sup>2</sup>
Häufigkeit	
maschinelle	1 - 2 pro Monat
herkömmliche	
Reinigungskosten ohne LdB	0.48 CHF/m <sup>2</sup>

**Gemeinde 2**

Einwohner	5'000 - 15'000
Länge Gemeindestrassennetz	45 km
davon LÄB in %	8%
Strassenbreite	7 m
Länge Kantonsstrassennetz	15 km
davon LÄB in %	15%
Strassenbreite	8 m
Gesamtfläche	435'000 m <sup>2</sup>
davon LÄB 9.9%	43'200 m <sup>2</sup>
davon herk. Beläge	391'800 m <sup>2</sup>
Häufigkeit	
maschinelle	3 - 6 pro Monat
herkömmliche	
Reinigungskosten ohne LÄB	1.32 CHF/m <sup>2</sup>

**Gemeinde 3**

Einwohner	15'000 - 50'000
Länge Gemeindestrassennetz	55 km
davon LÄB in %	10%
Strassenbreite	7 m
Länge Kantonsstrassennetz	20 km
davon LÄB in %	20%
Strassenbreite	8 m
Gesamtfläche	545'000 m <sup>2</sup>
davon LÄB 12.9%	70'500 m <sup>2</sup>
davon herk. Beläge	474'500 m <sup>2</sup>
Häufigkeit	
maschinelle	6 - 8 pro Monat
herkömmliche	
Reinigungskosten ohne LÄB	2.76 CHF/m <sup>2</sup>

Abbildung 13: Beispielgemeinde 1 „klein“, „mittel“ und „gross“ (Angabe der Reinigungskosten für den Fall, dass alle Beläge herkömmlich sind)

Bei der Kostenanalyse kann in den drei Beispielgemeinden die Vielzahl gemeindespezifischer Einflussfaktoren (Lage der Gemeinde, räumliche Ausdehnung des Gemeindegebietes, Einwohnerzahl, Grösse des Gemeindestrassennetzes, touristische Attraktivität, Arbeitnehmer u. v. m.) nicht berücksichtigt werden. Die gewählten Ausgangswerte (Abbildung 13) ergeben sich auf Basis von Mittelwerten.

Der Einsatz von lärmarmen Belägen kann je nach Verkehrsbelastung der Gemeinde sehr unterschiedlich sein. Im Rahmen von Untersuchungen im Auftrag des BAFU [149] für ein Pilotprojekt am Beispiel der Stadt Uster wurde der Anteil der lärmarmen Beläge am Gesamtstrassennetz untersucht. Es konnten mittels eines eigens entwickelten Selektionsverfahrens mögliche Erfordernisse für lärmarme Beläge an

- 12 % der Gemeindestrassen (13 km von 110 km der Stadtstrassen von Uster sind lärmtechnisch betroffen;  $L_E > IGW$ ) und
- 60 % der Kantonsstrassen (15 km von 25 km der Kantonsstrassen im Stadtgebiet von Uster sind lärmtechnisch betroffen;  $L_E > IGW$ )

qualifiziert werden ([150], [148]).

Da Uster aufgrund der fehlenden Westumfahrung eine erhöhte Verkehrsbelastung aufweist, wird der Ansatz für das Erfordernis lärmarmen Beläge in Gemeindestrassennetzen abgeschätzt und darauf basierend für dieses Projekt für die drei Beispielgemeinden unterschiedlich festgelegt (Abbildung 13).

Die Verantwortlichkeiten für den betrieblichen Unterhalt (Reinigung, Winterdienst, kleiner baulicher Unterhalt) der Kantonsstrassen im Gemeindegebiet sind in den einzelnen

Kantone und teilweise von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich geregelt. Dies kann im Rahmen dieses Projekts nicht differenziert betrachtet werden und wird mittels folgender Annahme abgebildet:

- Die Reinigung der Kantonsstrassen im Innerortsbereich inkl. Trottoirs wird durch die Gemeinde durchgeführt.

Zusätzlich haben die Kostenerhebungen ([148], [28]) ergeben, dass

- Reinigungskosten mit zunehmender Gemeindegrosse steigen (zunehmende Reinigungsfrequenzen)
- Winterdienstkosten und Kosten des kleinen baulichen Unterhalts mit zunehmender Gemeindegrosse eher nicht steigen (hier sind eher klimatische Bedingungen bzw. die gewünschten Eingriffszeitpunkte ausschlaggebend).

## 4.6.7 Prozessbeschreibung betrieblicher Unterhalt in Gemeinden und Städten

### 4.6.7.1 Reinigung

Die Reinigung ist in der Regel der personalintensivste Teil des betrieblichen Strassenunterhalt; im Mittel ca. 35% der Mitarbeiterstunden im Bereich betrieblicher Unterhalt entfallen auf die Reinigung. Der Anteil der Maschinenstunden an den Mitarbeiterstunden ist mit durchschnittlich 33% relativ gering.

Die Reinigung kann grundsätzlich in die Prozesse **Handreinigung** und **maschinelle Reinigung** untergliedert werden. Die Handreinigung ist erforderlich, wenn Flächen nur schlecht durch Maschinen zugänglich sind, z. B. auf Treppen, bei Bushaltestellen und Sitzbänken, Unterführungen etc. Die Intensität der Handreinigung ist abhängig vom Verschmutzungsgrad und dem Qualitätsanspruch in der Gemeinde und betrifft häufig nur den Teil des Strassennetzes mit hohem Publikumsverkehr. Dies resultiert in sehr unterschiedlichen Reinigungszyklen (z. B. einmal alle 2 Wochen bis hin zu 3mal täglich) und führt somit zu unterschiedlich hohen Anteilen der Handreinigung an den Gesamtkosten. Insbesondere grosse Städte und Zentrumsgemeinden haben einen hohen Anteil an Handreinigung.

Die maschinelle Reinigung wird vor allem auf Gehwegen und an Fahrbahnen durchgeführt. Auch hier ist die Intensität der Reinigung abhängig vom Verschmutzungsgrad und dem gewünschten Qualitätsanspruch. Eine regelmässige Reinigung ist in bestimmten Bereichen des Strassennetzes erforderlich, um die Funktionalität des Strassenentwässerungssystems zu gewährleisten und trägt somit auch zur Sicherheit im Strassennetz bei. Auch in der maschinellen Reinigung sind die Reinigungszyklen sehr unterschiedlich und variieren in einem ähnlichen Rahmen wie die Handreinigung. Grosse Gemeinden können durch den Einsatz von unterschiedlichen Reinigungsfahrzeugen auf die verschiedenen räumlichen Gegebenheiten in ihrem Einsatzgebiet Rücksicht nehmen. Kleine Gemeinden sind hier deutlich limitierter, da häufig nur ein Reinigungsfahrzeug eingesetzt wird und noch nicht mal für dieses eine optimale Auslastung nicht erreicht werden kann.

Häufig sind in den Gemeindebetrieben mit der Reinigung der Strassen noch weitere Gemeindeaufgaben eng verknüpft. Hierzu zählen u. a.:

- Leeren und Entsorgen von Papierkörben
- Bewirtschaftung von Robidogbehältern

### 4.6.7.2 Winterdienst

Durchschnittlich ca. 19% der Tätigkeiten (Basis rapportierte Stunden) im Bereich betrieblicher Unterhalt fallen im Bereich Winterdienst an; diese Arbeiten erzeugen im Jahresverlauf die grössten Spitzen und sind nicht planbar. Für die Organisation des Werkhofes ist die Gewährleistung des Winterdienstes daher eine Schlüsselfunktion [148].

Für einen zielgerichteten und möglichst effizienten Winterdienst existieren in vielen Gemeinden Routenpläne mit definierten Prioritäten und Räumungszeiten. Stark befahrene Strassen und Routen mit Busverkehr haben häufig die höchste Priorität und die kürzesten Räumungszeiten. Auch erfolgt hier je nach Situation ein präventives Streuen von Taumitteln, während darauf bei kleinen Quartierstrassen je nach Ausrichtung des Winterdienstes verzichtet wird.

Der Bereich Winterdienst kann in die folgenden operativen Prozesse unterteilt werden:

- Pflügen (Schneeräumen auf Fahrbahnen und Gehwegen)
- Salzen (Ausbringen von Salz auf Fahrbahnen und Gehwegen)
- Handräumung (Räumen von Schnee in Treppengebieten, an Fussgängerüberwegen und Ausfahrten)
- Schneeabfuhr (Abtransport von Schnee in Aussenbereiche)
- Entfernen der Streumittel (Waschen der Strassen nach dem Winterdienst, Entfernung von Splitt)

Im Durchschnitt beträgt im Winterdienst der Anteil der Maschinenstunden an den Mitarbeiterstunden ca. 60% bis 65%. Der Winterdienst stellt insbesondere in kleineren Gemeinden in einem durchschnittlichen Winter die grösste Ausgabengruppe dar und weist den höchsten Maschineneinsatz im betrieblichen Strassenunterhalt auf. Teure Anbaugeräte, die nur für den Winterdienst genutzt werden können, führen zu hohen Fixkosten in der Bereitstellung der Geräte.

Eine Auslagerung der Arbeiten im Winterdienst wird von vielen Gemeinden angestrebt, ist aber aufgrund der erforderlichen Spezialgeräte, der nicht immer verfügbaren externen Partner und der unkalkulierbaren Einsatzzeiten nicht für alle Gemeinden möglich.

In kleinen und mittleren Gemeinden definiert tendenziell die Organisation des Winterdienstes die Leistungserbringung in den anderen Bereichen des Werkhofes, da die vorhandenen Mitarbeiter in den Sommermonaten ausgelastet werden müssen. In grossen Gemeinden, besonders mit touristischer Nutzung, kann auch die Reinigung massgebend für die Grösse der Organisation des Werkhofes sein.

#### 4.6.7.3 Kleiner baulicher Unterhalt

Der kleine bauliche Unterhalt umfasst alle Tätigkeiten für provisorische und definitive Reparaturen inkl. Sofortmassnahmen an Fahrbahnen, Wegen und Kunstbauten, welche örtlich begrenzt und nicht flächig sind (vgl. 2.1.4).

Im Bereich der Fahrbahn und Trottoir zählen hierzu:

- Örtliche Oberflächenverbesserung
- Örtliche Erneuerung Deckschicht
- Örtliche Belagserneuerung
- Örtliche Oberbauerneuerung (teilweise, vollständig)
- Risse auffräsen und vergiessen

Weiterhin:

- Reparaturen von Entwässerungsanlagen (Strassenkörper)

Alle genannten Tätigkeiten erfordern eine sachgerechte Ausführung und somit eine entsprechende Qualifikation der Mitarbeiter. Gemäss Analyse der Kostenstruktur [148] ist in diesem Bereich der Personaleinsatz hoch. Durchschnittlich 65% aller gemeindeinternen Kosten im kleinen baulichen Unterhalt sind Personalkosten, 21% entfallen auf Materialkosten und 14% Inventarkosten.

Im Gegensatz zum Winterdienst sind die Arbeiten im kleinen baulichen Unterhalt in der Regel gut planbar und werden je nach Bedarf durch die Gemeinde selbst erledigt oder ausgeschrieben und an Dritte vergeben.



#### 4.6.7.4 Werkhof

Alle Prozesse des betrieblichen Unterhaltes der Strassen müssen in den gesamten Arbeitsumfang des Werkhofes einer Gemeinde integriert werden. Effizienzbeurteilungen können deshalb nicht isoliert für einen Teilprozess betrachtet werden, sondern stehen immer im Zusammenhang mit dem gesamten Aufgabengebiet des Werkhofes.

So steht bei der Anschaffung von Geräten nicht die optimale Nutzung der Fahrzeuge für eine spezifische Aufgabe im Vordergrund, sondern vielmehr universelle Einsatzmöglichkeiten.

Tabelle 53 zeigt eine mögliche Zusammensetzung des Inventars für eine kleine Gemeinde (<10'000 Einwohner). Häufig ist es für kleine Gemeinden schwierig, die Fahrzeuge mit grossen Einsatzzeiten und somit wirtschaftlich auszulasten.

*Tabelle 53: Beispiel Inventar einer „kleinen“ Gemeinde*

Anzahl Wischmaschinen	1
Anzahl Kommunalfahrzeuge	2
Anzahl PW	1
Anzahl Kleintransporter	1
Anzahl Kleintraktoren	2
Summe Anschaffungswert Fahrzeuge [CHF]	721'000
Summe Anschaffungswert Anbaugeräte und Zusatzgeräte [CHF]	497'000
<b>Gesamtanschaffungswert Inventar Werkhof [CHF]</b>	<b>1'218'000</b>

Erst ab einer Gemeindegrösse von ca. 50'000 Einwohnern können unterschiedliche Geräte für spezifische Anwendungen angeschafft und wirtschaftlich ausgelastet werden.

#### 4.6.8 Kostenanalyse Reinigung

Wie in Kap. 4.6.7 beschrieben setzt sich die Reinigung aus einer Vielzahl von einzelnen Prozessen zusammen. Die Reinigung lärmarmen Beläge wirkt sich jedoch nur auf die maschinelle Reinigung von Strassen aus.

##### 4.6.8.1 Kostenstruktur Reinigung

Gemäss den Untersuchungen dieses Projekts und dem Fazit Reinigung in Kap. 4.5.1 erfolgt eine Reinigung lärmarmen Beläge der Kategorie 1 (porös) zusätzlich zu der Reinigung aufgrund der betrieblichen Bedürfnisse einer Gemeinde. Die Reinigung der Beläge der Kategorie 2 bis 4 erfolgt wie bei herkömmlichen Belägen. Eine Analyse der spezifischen Kostenstruktur der anfallenden Reinigungskosten ist daher nicht erforderlich (im Vergleich zu Kap. 4.6.9.1 Kostenstruktur Winterdienst und 4.6.10.1 Kostenstruktur kleiner baulicher Unterhalt).

##### 4.6.8.2 Auswirkung der Belagskategorien auf die Kosten der Reinigung

Gemäss der Ergebnisse geeigneter Verfahren (Kap. 4.5.1) wird die Ermittlung der Reinigungskosten „Kategorie 1: Poröse Beläge“ und „Kategorien 2 bis 4“ unterschieden.

##### Kategorie 1 „Offenporige“ Beläge:

Annahmen:

- Reinigung wird aufgrund betrieblicher Bedürfnisse wie herkömmlich durchgeführt; es wird versucht die Reinigung der lärmarmen Beläge mit dem Kehr-Saug-Verfahren auf das Nötigste zu reduzieren, um die Lärmwirkung nicht durch eine Verstopfung der Poren zu vermindern.
- Zusätzlich werden die lärmarmen Beläge 2x pro Jahr mit Hochdruck gereinigt.

Da die Reinigungskosten in Abhängigkeit der Gemeindegrösse variieren muss eine Kostenentwicklung für die Reinigung lärmarmen Beläge für die drei Gemeindegrössen

differenziert betrachtet werden (Tabelle 54).

Tabelle 54: Abschätzung Reinigungskosten Kategorie 1

<b>Reinigungskosten Basisdaten</b>	Gemeinde 1	Gemeinde 2	Gemeinde 3	
Reinigungskosten (normale Reinigung)	0.48	1.32	2.76	Fr./m <sup>2</sup>
Häufigkeit				
Hochdruckreinigung	2.00	2.00	2.00	pro Jahr
Kosten Hochdruckreinigung	1.00	1.00	1.00	Fr./m <sup>2</sup>
<b>Reinigungskosten mit LÄB</b>	Gemeinde 1	Gemeinde 2	Gemeinde 3	
alle Beläge, normale Reinigung	139'200	574'200	1'504'200	Fr.
LäB, Hochdruck	37'000	86'400	141'000	Fr.
Gesamt	176'200	660'600	1'645'200	Fr.
Reinigungskosten mit LÄB	0.61	1.52	3.02	Fr./m <sup>2</sup>
Mehrkosten	27%	15%	9%	

Damit liegen die Reinigungskosten in einer Gemeinde mit offenporigen Belägen zwischen 9% bis 27% höher als in einer Gemeinde mit ausschliesslich herkömmlichen Belägen.

Es wird deutlich, je grösser die Gemeinde, je höher die Reinigungsfrequenzen und somit je teurer die Reinigung je m<sup>2</sup> ist, desto weniger stark fällt die 2x pro Jahr erforderliche Hochdruckreinigung ins Gewicht.

#### **Kategorien 2, 3 und 4:**

Die Reinigung der Kategorien 2, 3 und 4 erfolgt wie herkömmlich; somit ist mit keiner Kostensteigerung zu rechnen.

### **4.6.9 Kostenanalyse Winterdienst**

Wie in Kap. 4.6.7 beschrieben setzt sich der Winterdienst aus einer Vielzahl von einzelnen Prozessen zusammen. Der Winterdienst von lärmarmen Belägen wirkt sich jedoch nur auf den maschinellen Winterdienst auf der Fahrbahn aus, d.h. die Kosten müssen für den Teilprozess „Winterdienst Fahrbahn“ analysiert werden.

Bisherige Untersuchungen [28] zeigen, dass die Grösse der Gemeinden eher keinen Einfluss auf die spezifischen Winterdienstkosten hat (Kap. 4.6.6). Deshalb kann die Auswirkung des Einflusses der lärmarmen Beläge *unabhängig von der Gemeindegrösse* betrachtet werden.

Gemäss der Ergebnisse geeigneter Verfahren (Kap. 4.5.2) müssen für den Winterdienst alle vier Belagskategorien untersucht werden, weil sich deren Winterdienst hinsichtlich der benötigten Taumittelmenge für den präventiven und kurativen Einsatz unterscheidet. Die anderen Teilprozesse sind davon nicht beeinflusst.

Derzeit existieren verschiedene Verfahren für die Salzausbringung (Trockensalz, Feuchtsalz, Sole). Die Entscheidung, welches Verfahren in einer Gemeinde/Stadt zur Anwendung kommt, basiert auf individuellen, strategischen Entscheidungen der Gemeinde. Prinzipiell gelten bei den Verfahren die gleichen Vor- und Nachteile wie bei herkömmlichen Belägen.

#### **4.6.9.1 Kostenstruktur Winterdienst**

Tabelle 55 gibt eine Übersicht über die in der Kostenerhebung ermittelten mittleren Winterdienstkosten [148]

Tabelle 55: Durchschnittliche Winterdienstkosten

Kostenarten		interne Kosten	externe Kosten	Gesamtkosten
Material	Fr./m <sup>2</sup>	0.21	0.00	0.21
Geräte, Maschinen	Fr./m <sup>2</sup>	0.40	0.21	0.61
Personal	Fr./m <sup>2</sup>	0.40	0.24	0.64
<b>Gesamtkosten Winterdienst</b>	<b>Fr./m<sup>2</sup></b>	<b>1.01</b>	<b>0.45</b>	<b>1.46</b>

Unter Einbeziehung verschiedener qualitativer Aussagen der interviewten Verantwortlichen in den Gemeinden und durch quantitative Analyse der rapportierten Mitarbeiterstunden, konnte eine Aufteilung der Kosten im Winterdienst auf die Fahrbahn und die Gehwege ermittelt werden (Tabelle 56). Dabei ist zu berücksichtigen, dass externe Unternehmer, welche die Gemeinden im Winterdienst unterstützen, in der Regel das Taumittel aus dem Lager der Gemeinde beziehen. Bei den Fahrzeugen der Externen handelt es sich meist um kleine Lastwagen oder Traktoren, die mit Anbaugeräten für den Winterdienst umgerüstet werden. Hauptsächlich werden von Externen Strassen geräumt, da die externen Fahrzeuge für den Gehwegbereich zu gross sind.

Beim Winterdienst wird von den Kosten eines durchschnittlichen Winters ausgegangen (Tabelle 55).

Tabelle 56: Aufteilung Kosten Winterdienst

Kostenarten		interne Kosten	externe Kosten	Gesamtkosten
Material	Fr./m <sup>2</sup>	0.21	0.00	0.21
Winterdienst Fahrbahn	Fr./m <sup>2</sup>	80% 0.17	0.00	80% 0.17
Winterdienst Gehwege	Fr./m <sup>2</sup>	20% 0.03	0.00	20% 0.03
Geräte, Maschinen	Fr./m <sup>2</sup>	0.40	0.21	0.61
Winterdienst Fahrbahn	Fr./m <sup>2</sup>	80% 0.32	90% 0.19	83% 0.51
Winterdienst Gehwege	Fr./m <sup>2</sup>	20% 0.08	10% 0.02	17% 0.10
Personal	Fr./m <sup>2</sup>	0.40	0.24	0.64
Winterdienst Fahrbahn	Fr./m <sup>2</sup>	60% 0.24	80% 0.19	68% 0.43
Winterdienst Gehwege	Fr./m <sup>2</sup>	40% 0.16	20% 0.05	33% 0.21
<b>Gesamtkosten Winterdienst</b>	<b>Fr./m<sup>2</sup></b>	<b>1.01</b>	<b>0.45</b>	<b>1.46</b>
<b>Gesamtkosten Fahrbahn [Fr./m<sup>2</sup>]</b>				76.0% <b>1.11</b>
<b>Gesamtkosten Gehweg [Fr./m<sup>2</sup>]</b>				23.5% <b>0.34</b>

Die Kosten für den Winterdienst auf den Gehwegen betragen 0.34 Fr./m<sup>2</sup> (bezogen auf die gesamte Fläche der Strassen und Gehwege) und enthalten sowohl Anteile der Handräumung als auch des maschinellen Winterdienstes. Der Anteil für die Fahrbahnen beträgt 1.11 Fr./m<sup>2</sup>.

#### 4.6.9.2 Auswirkung der Belagskategorien auf die Kosten im Winterdienst

Aufgrund der grösseren Oberfläche, die schneller auskühlt, sind bei den Belägen der Kategorien 1 und 3 schnellere und häufigere Massnahmen gegen Glättebildung erforderlich (mehr Salz, mehr Fahrten) ([151], S.15). Für die Abschätzung der Winterdienstkosten in einer Gemeinde mit lärmarmen Strassenbelägen wird von vier Szenarien (basierend auf den Ergebnissen, Kap.4.5.2) ausgegangen:

- Szenarien 1a - 1c: Auf den Strecken mit lärmarmen Belägen wird die x-fache Menge Salz gestreut. Dies hat erhöhte Materialkosten zur Folge. Bei den Kosten für Personal und Geräte wird von einem Mehraufwand von 5% ausgegangen, bspw. für Handling. Es wird mit drei Varianten von Salzmengen gerechnet:
  - Szenario 1a: 1.2-fache Menge an Taumittel
  - Szenario 1b: 1.5-fache Menge an Taumittel
  - Szenario 1c: doppelte Menge an Taumittel

Die Fahrtrouten müssen ggf. an die Taumittel mengen angepasst werden und werden evtl. kürzer, weil die Fahrzeuge nicht mehr Taumittel fassen können. Es kommt zu mehr Fahrten, um die Fahrzeuge neu mit Taumittel zu beladen, was sich erhöhend auf die Kosten auswirkt.

- Szenario 2: Es wird doppelt so oft mit der einfachen Salzmenge gefahren (wie z.B. für offenporige Beläge praktiziert). Dadurch verdoppeln sich auf den Strecken mit lärmarmen Belägen die Kosten.

Die verschiedenen Belagskategorien der lärmarmen Beläge (gemäss Kapitel) können wie folgt in die gebildeten Szenarien eingeordnet werden (Tabelle 57):

Tabelle 57 : Szenarien im Winterdienst lärmarmen Beläge je Kategorie

Belagskategorie	Zugeordnetes Szenario
Kategorie 1 („Poröse Beläge“)	1c oder 2
Kategorie 2 („Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“)	kein Einfluss
Kategorie 3 („Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“)	1a oder 1b
Kategorie 4 („Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“)	kein Einfluss

Die Auswirkung der verschiedenen Szenarien auf die Kostenstruktur einer Gemeinde im Winterdienst ist in Tabelle 58 dargestellt. Bezogen auf die Fahrbahnfläche der lärmarmen Beläge führen die unterschiedlichen Szenarien zu 7% bis 100% höheren Kosten.

Da der Gesamtanteil der lärmarmen Beläge an der Gesamtstrassenfläche gering ist, resultieren Mehrkosten für den gesamten Winterdienst in Höhe bis zu 10%, je nach Anteil der lärmarmen Beläge am Gesamtstrassennetz und nach Belagskategorie. Insbesondere die „wasserundurchlässigen“ lärmarmen Beläge führen zu sehr geringen Kostenerhöhungen.

Tabelle 58: Abschätzung Kosten Winterdienst mit lärmarmen Belägen

Kosten Winterdienst mit lärmarmen Belägen				Szenarien 1a- 1c				Szenario 2	
				x-fache Menge Salz; geringfügige Mehrkosten bei Personal und Geräten				doppelt so oft fahren -> 2-fache Kosten bei allen Posten (Gehwege konstant)	
				1a	1b	1c	2		
<b>x-fache Menge Salz auf Strecken mit LÄB</b>				1.2	1.5	2	2		
<b>Auswirkung LÄB auf Kosten Fahrbahn</b>									
Kosten Fahrbahn	Fr./m <sup>2</sup>	1.11	1.19	1.24	1.32	2.22			
Material	Fr./m <sup>2</sup>	0.17	120% 0.20	150% 0.25	200% 0.34	200% 0.34			
Geräte Maschinen	Fr./m <sup>2</sup>	0.51	105% 0.53	105% 0.53	105% 0.53	200% 1.02			
Personal	Fr./m <sup>2</sup>	0.43	105% 0.45	105% 0.45	105% 0.45	200% 0.86			
		Mehrkosten	7%	12%	19%	100%			
<b>Gesamtkosten Winterdienst</b>									
Gesamtkosten Gehwege	Fr./m <sup>2</sup>	0.34	100% 0.34	100% 0.34	100% 0.34	100% 0.34			
Lärmarme Beläge von ... bis ... %									
Beispielgemeinde 1	6.4%	Fr./m <sup>2</sup>	1.11	100% 1.11	101% 1.12	101% 1.12	106% 1.18		
Beispielgemeinde 2	9.9%	Fr./m <sup>2</sup>	1.11	101% 1.12	101% 1.12	102% 1.13	110% 1.22		
Beispielgemeinde 3	12.9%	Fr./m <sup>2</sup>	1.11	101% 1.12	102% 1.13	103% 1.14	113% 1.25		
<b>Gesamtkosten Winterdienst</b>				Fr./m <sup>2</sup>	1.45	1.46 bis 1.46	1.46 bis 1.47	1.47 bis 1.48	1.52 bis 1.6
<b>Mehrkosten</b>					<b>0% bis 1%</b>	<b>ca. 1%</b>	<b>1% bis 2%</b>	<b>5% bis 10%</b>	

#### 4.6.10 Kostenanalyse kleiner baulicher Unterhalt

Wie in Kap. 4.6.7 beschrieben, setzt sich der kleine bauliche Unterhalt aus einer Vielzahl von einzelnen Prozessen zusammen. Der kleine bauliche Unterhalt von lärmarmen Belägen wirkt sich jedoch nur auf Massnahmen an der Fahrbahn aus, d.h. die Kosten müssen für den Teilprozess „Reparatur Fahrbahn“ (Kap. 4.6.7.3) analysiert werden.

Bisherige Untersuchungen zeigen, dass die Grösse der Gemeinden eher keinen Einfluss auf die spezifischen Kosten im kleinen baulichen Unterhalt hat [28]. Deshalb kann die Auswirkung des Einflusses der lärmarmen Beläge *unabhängig* von der Gemeindegrösse betrachte werden.

Gemäss der Ergebnisse geeigneter Verfahren (Kap.4.5.3) unterscheiden sich die Kategorien in der Häufigkeit / dem Risiko für einen erforderlichen Eingriff in die Fahrbahn im Rahmen des kleinen baulichen Unterhalts und in den für die Ausführung benötigten Materialien, Geräten sowie dem Personaleinsatz. Die anderen Teilprozesse (z.B. alle Massnahmen an Gehwegen, Randsteinen) sind davon nicht beeinflusst

Daher müssen für die Kostenanalyse im kleinen baulichen Unterhalt Kategorie 1 „Poröse Beläge“, Kategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“ und 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ sowie Kategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“ unterschieden werden.

##### 4.6.10.1 Kostenstruktur kleiner baulicher Unterhalt

Tabelle 59 stellt eine Übersicht über die in der Kostenerhebung ermittelten mittleren Kosten für den kleinen baulichen Unterhalt dar [148].

Tabelle 59: Durchschnittliche Kosten kleiner baulicher Unterhalt

Kostenarten		interne Kosten	externe Kosten	Gesamtkosten
Material	Fr./m <sup>2</sup>	0.12	0.12	0.24
Geräte, Maschinen	Fr./m <sup>2</sup>	0.08	0.15	0.23
Personal	Fr./m <sup>2</sup>	0.35	0.28	0.63
<b>Gesamtkosten kl. Baul. U.</b>	<b>Fr./m<sup>2</sup></b>	<b>0.55</b>	<b>0.55</b>	<b>1.10</b>

Unter Einbeziehung verschiedener qualitativer Aussagen der interviewten Verantwortlichen in den Gemeinden konnte die folgende Aufteilung der Kosten im kleinen baulichen Unterhalt auf Fahrbahn und Gehwege abgeschätzt werden (Tabelle 60) [148].

Tabelle 60: Aufteilung Kosten kleiner baulicher Unterhalt

Kostenarten		interne Kosten	externe Kosten	Gesamtkosten
Material	Fr./m <sup>2</sup>	0.12	0.12	0.24
<i>kl. Baul. U. Belag</i>	Fr./m <sup>2</sup>	50% 0.06	70% 0.08	50% 0.14
<i>kl. baul. U. übrige Reparaturen</i>	Fr./m <sup>2</sup>	50% 0.06	30% 0.04	50% 0.10
Geräte, Maschinen	Fr./m <sup>2</sup>	0.08	0.15	0.23
<i>kl. Baul. U. Belag</i>	Fr./m <sup>2</sup>	70% 0.06	70% 0.11	70% 0.16
<i>kl. baul. U. übrige Reparaturen</i>	Fr./m <sup>2</sup>	30% 0.02	30% 0.05	30% 0.07
Personal	Fr./m <sup>2</sup>	0.35	0.28	0.63
<i>kl. Baul. U. Belag</i>	Fr./m <sup>2</sup>	60% 0.21	90% 0.25	73% 0.46
<i>kl. baul. U. übrige Reparaturen</i>	Fr./m <sup>2</sup>	40% 0.14	10% 0.03	27% 0.17
<b>Gesamtkosten kl. Baul. U.</b>	<b>Fr./m<sup>2</sup></b>	<b>0.55</b>	<b>0.55</b>	<b>1.10</b>
<b>Gesamtkosten Fahrbahn [Fr./m<sup>2</sup>]</b>				70% <b>0.77</b>
<b>Gesamtkosten übrige Reparaturen [Fr./m<sup>2</sup>]</b>				30% <b>0.33</b>

Die Kosten für den Winterdienst auf den Gehwegen betragen 0.33 Fr/m<sup>2</sup> (bezogen auf die gesamte Strassen- und Gehwegfläche). Der Anteil für die Fahrbahnen beträgt 0.77 Fr/m<sup>2</sup>.

#### 4.6.10.2 Auswirkung der Belagskategorien auf die Kosten im kleinen baulichen Unterhalt

Die Kosten im kleinen baulichen Unterhalt lärmarmen Beläge sind abhängig von:

- der Häufigkeit mit der ein Eingriff erforderlich ist,
- dem Umfang / der Grösse des Eingriffs in die Fahrbahn und
- dem eingesetzten Verfahren (Sonderverfahren präventiv/kurativ).

Dabei besteht das Ziel eines Eingriffs nicht allein im Erhalt der Funktionalität im Sinn einer sicheren Befahrbarkeit, sondern auch im Erhalt der lärmreduzierenden Wirkung der Beläge (Kap. 2.3.3).

Die Eigenschaften der gebildeten Kategorien können wie folgt in Bezug auf ihre Auswirkungen auf den kleinen baulichen Unterhalt beschrieben werden:

##### **Kategorie 1: „Poröse Beläge“**

- Aufgrund des sehr hohen Hohlraumgehaltes und der dadurch stark verminderten Stabilität besteht ein erhöhtes Schadensrisiko im Innerortsbereich (Belastung durch LKWs, Unfälle, Schub/Scherbelastung durch starkes Anfahren etc.).
- Aus akustischer Sicht müssen leichte Materialverluste, Risse in der Deckschicht und Oberflächenglätte nicht behoben werden. Auch technisch-mechanischer Sicht ist dies jedoch sinnvoll bzw. ggf. erforderlich, um die Sicherheit zu gewährleisten und/oder eine weitere Ausbreitung des Schadensbildes zu vermeiden. Besonders grössere Schäden wirken sich dann auch akustisch aus und müssen aus akustischer Sicht behoben werden. Bei Belägen der Kategorie 1 gibt es zwei geeignete, grossflächige Verfahren: Oberbauerneuerung mit lärmarmem, porösem Mischgut und Rückformen (vgl. Kap. 4.5.3)
- In den nachfolgenden Berechnungen wird das Risiko für einen erforderlichen Eingriff aufgrund der zwei genannten Gründe 3mal höher als bei einem herkömmlichen Belag eingeschätzt.
- Je nach Verfahren sind für den Eingriff Spezialgeräte erforderlich (Ansatz Kosten für Geräte 2-fach)
- Das lärmarme Mischgut ist teurer und es müssen derzeit noch Mehrmengen als bei herkömmlichem Belag abgenommen werden (Ansatz: Kosten für Material 4-fach)
- aufgrund des grossflächigen Reparatur (Ansatz: Personal 2-fach)

##### **Kategorien 2 und 3:**

- Aufgrund des erhöhten Hohlraumgehaltes und der dadurch beeinträchtigten Stabilität besteht ein leicht erhöhtes Schadensrisiko im Innerortsbereich.
- Belägen der Kategorien 2 und 3 können fast wie herkömmliche Beläge behandelt werden (vgl. Kap. 4.5.3). Aus akustischer Sicht müssen leichte Materialverluste, Risse in der Deckschicht und Oberflächenglätte nicht behoben werden. Auch technisch-mechanischer Sicht ist dies jedoch sinnvoll bzw. ggf. erforderlich (besonders bei Risse vergiessen, hier sind erhöhte Kapazitäten einzuplanen), um die Sicherheit zu gewährleisten und/oder eine weitere Ausbreitung des Schadensbildes (Frostschäden) zu vermeiden. Besonders grössere Schäden wirken sich dann auch akustisch aus und müssen aus akustischer Sicht behoben werden. Spezialverfahren können zur Anwendung kommen (Rückformen, Konservierungsmittel).
- In den nachfolgenden Berechnungen wird das Risiko für einen erforderlichen Eingriff aufgrund des erhöhten Schadensrisikos 1.5-mal höher als bei einem herkömmlichen Belag eingeschätzt.
- Je nach Verfahren sind für den Eingriff Spezialgeräte erforderlich (Ansatz Kosten für Geräte 2-fach)

- Das lärmarme Material ist teurer und es müssen derzeit noch Mehrmengen als bei herkömmlichem Belag abgenommen werden (Ansatz: Kosten für Material 2-fach)
- je nach Lage des Schaden wird die Grösse der erforderlichen Eingriffs bestimmt (Ansatz: Personal 1.5-fach)

#### **Kategorie 4:**

- Aufgrund des niedrigen Hohlraumgehaltes besteht kein erhöhtes Schadensrisiko im Innerortsbereich.
- Belägen der Kategorie 4 können fast wie herkömmliche Beläge behandelt werden (vgl. Kap. 4.5.3). Aus akustischer Sicht müssen leichte Materialverluste, Risse in der Deckschicht und Oberflächenglätte nicht behoben werden. Auch technisch-mechanischer Sicht ist dies jedoch sinnvoll bzw. ggf. erforderlich (besonders bei Risse vergiessen, hier sind erhöhte Kapazitäten einzuplanen), um die Sicherheit zu gewährleisten und/oder eine weitere Ausbreitung des Schadensbildes (Frostschäden) zu vermeiden. Besonders grössere Schäden wirken sich dann auch akustisch aus und müssen aus akustischer Sicht behoben werden. Spezialverfahren können zur Anwendung kommen (Rückformen, Konservierungsmittel).
- In den nachfolgenden Berechnungen wird das Risiko für einen erforderlichen Eingriff aufgrund der zwingenden Notwendigkeit, Risse zu vergiessen, 1.2-mal höher als bei einem herkömmlichen Belag eingeschätzt.
- Je nach Verfahren sind für den Eingriff Spezialgeräte erforderlich (Ansatz Kosten für Geräte 2-fach)
- Das lärmarme Material ist teurer und es müssen derzeit noch Mehrmengen als bei herkömmlichem Belag abgenommen werden (Ansatz: Kosten für Material 1.5-fach)
- je nach Lage des Schaden wird die Grösse der erforderlichen Eingriffs bestimmt (Ansatz: Personal 1.5-fach)

Die Auswirkung der verschiedenen Einflüsse auf die Kostenstruktur ist in Tabelle 61 dargestellt.

*Tabelle 61: Abschätzung Kosten kleiner baulicher Unterhalt mit lärmarmen Belägen*

		Kategorie 1		Kategorie 2 & 3		Kategorie 4			
<b>Risiko für erforderlichen Eingriff gegenüber herkömmlichen Belägen</b>		3 fach erhöht		1.5 fach erhöht		1.2 fach erhöht			
<b>Erhöhter Material Bedarf für flächige Reparatur</b>		4 fach erhöht		2 fach erhöht		1.5 fach erhöht			
<b>Zusätzlicher Einsatz von spezifische Maschinen</b>		2 fach erhöht		2 fach erhöht		2 fach erhöht			
<b>Zusätzlicher Einsatz von Personal</b>		2 fach erhöht		1.5 fach erhöht		1.5 fach erhöht			
<b>Auswirkung LÄB auf Kosten kl. baul. Unterhalt Fahrbahn</b>									
Kosten Fahrbahn		Fr./m <sup>2</sup>	0.77	5.47		1.95		1.48	
Material		Fr./m <sup>2</sup>	0.14	1200%	1.73	300%	0.43	180%	0.26
Geräte Maschinen		Fr./m <sup>2</sup>	0.16	600%	0.97	300%	0.48	240%	0.39
Personal		Fr./m <sup>2</sup>	0.46	600%	2.77	225%	1.04	180%	0.83
				3295% Mehrkosten		1114% Mehrkosten		818% Mehrkosten	
<b>Gesamtkosten kl. Baul. Unterhalt</b>									
Gesamtkosten übrige Reparaturen		Fr./m <sup>2</sup>	0.33	100%	0.33	100%	0.33	100%	0.33
Gesamtkosten Fahrbahn Anteil Lärmarme Beläge von ... bis ... %									
Beispielgemeinde 1	6.4%	Fr./m <sup>2</sup>	0.77	139%	1.07	110%	0.84	106%	0.81
Beispielgemeinde 2	9.9%	Fr./m <sup>2</sup>	0.77	161%	1.23	115%	0.88	109%	0.84
Beispielgemeinde 3	12.9%	Fr./m <sup>2</sup>	0.77	179%	1.37	120%	0.92	112%	0.86
<b>Gesamtkosten kl. Baul. Unterhalt Mehrkosten</b>		<b>Fr./m<sup>2</sup></b>	<b>1.10</b>	<b>1.4 bis 1.71</b>		<b>1.18 bis 1.25</b>		<b>1.15 bis 1.19</b>	
				<b>27% bis 55%</b>		<b>7% bis 14%</b>		<b>4% bis 8%</b>	

Bezogen auf die Fahrbahnfläche der lärmarmen Beläge führen die porösen Beläge der Kategorie 1 zu merklich höheren Kosten im kleinen baulichen Unterhalt: für kleine Gemeinden zu 27% Mehrkosten, bei grossen 55% Mehrkosten.

Der kleine bauliche Unterhalt lärmarmen Beläge der Kategorie 4 führt zu geringen Kostenerhöhungen: bei kleinen Gemeinden zu 8% Mehrkosten, bei grossen Gemeinden zu 14% Mehrkosten.

#### 4.6.11 Kosten Beispielmunicipalitäten betrieblicher Strassenunterhalt

Die Kostenanalysen je Tätigkeitsbereich führen für die drei Beispielmunicipalitäten (Kap. 4.6.6) zu folgenden Kostenabschätzungen (Tabelle 62, Tabelle 63, Tabelle 64) für die Integration lärmarmen Beläge (auf Kantons- und Gemeindestrassen) in den betrieblichen Strassenunterhalt.

*Tabelle 62: Kosten betrieblicher Unterhalt von lärmarmen Belägen für eine kleine Gemeinde je Kategorie*

<b>Gemeinde 1</b>						
Einwohner	< 5'000					
Länge Gemeindestrassennetz	30 km					
davon LÄB in %	5%					
Länge Kantonsstrassennetz	10 km					
davon LÄB in %	10%					
Gesamtfläche	290'000 m <sup>2</sup>					
davon LÄB 6.4%	18'500 m <sup>2</sup>					
davon herk. Beläge	271'500 m <sup>2</sup>					
Reinigungshäufigkeit	1 - 2 pro Monat					
	ohne LÄB	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	
Reinigung	0.48	0.61	0.48	0.48	0.48	Fr./m <sup>2</sup>
Winterdienst	1.46	1.50	1.46	1.47	1.46	Fr./m <sup>2</sup>
kleiner baulicher Unterhalt	1.10	1.40	1.18	1.18	1.15	Fr./m <sup>2</sup>
Betrieblicher Unterhalt Strassen	3.04	3.51	3.12	3.13	3.09	Fr./m <sup>2</sup>
Mehrkosten in [%]		15%	2%	3%	1%	

*Tabelle 63: Kosten betrieblicher Unterhalt von lärmarmen Belägen für eine mittlere Gemeinde je Kategorie*

<b>Gemeinde 2</b>						
Einwohner	5'000 - 15'000					
Länge Gemeindestrassennetz	45 km					
davon LÄB in %	8%					
Länge Kantonsstrassennetz	15 km					
davon LÄB in %	15%					
Gesamtstrassenfläche	435'000 m <sup>2</sup>					
davon LÄB 9.9%	43'200 m <sup>2</sup>					
davon herk. Beläge	391'800 m <sup>2</sup>					
Reinigungshäufigkeit	3 - 6 pro Monat					
	ohne LÄB	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	
Reinigung	1.32	1.52	1.32	1.32	1.32	Fr./m <sup>2</sup>
Winterdienst	1.46	1.53	1.46	1.47	1.46	Fr./m <sup>2</sup>
kleiner baulicher Unterhalt	1.10	1.57	1.22	1.22	1.17	Fr./m <sup>2</sup>
Betrieblicher Unterhalt Strassen	3.88	4.61	4.00	4.01	3.95	Fr./m <sup>2</sup>
Mehrkosten in [%]		19%	3%	3%	2%	



*Tabelle 64: Kosten betrieblicher Unterhalt von lärmarmen Belägen für eine grosse Gemeinde je Kategorie*

<b>Gemeinde 3</b>						
Einwohner	15'000 - 50'000					
Länge Gemeindestrassennetz	55 km					
davon LÄB in %	10%					
Länge Kantonsstrassennetz	20 km					
davon LÄB in %	20%					
Gesamtstrassenfläche	545'000 m <sup>2</sup>					
davon LÄB 12.9%	70'500 m <sup>2</sup>					
davon herk. Beläge	474'500 m <sup>2</sup>					
Reinigungshäufigkeit	6 - 8 pro Monat					
	ohne LÄB	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4	
Reinigung	2.76	3.02	2.76	2.76	2.76	Fr./m <sup>2</sup>
Winterdienst	1.46	1.55	1.46	1.47	1.46	Fr./m <sup>2</sup>
kleiner baulicher Unterhalt	1.10	1.71	1.25	1.25	1.19	Fr./m <sup>2</sup>
Betrieblicher Unterhalt Strassen	5.32	6.27	5.47	5.48	5.41	Fr./m <sup>2</sup>
Mehrkosten in [%]		18%	3%	3%	2%	

Die Kostenanalyse zeigt auf, dass für Beläge der Kategorie 1 „porös“ Mehrkosten im betrieblichen Strassenunterhalt der Gemeinden je nach Gemeindegrösse zwischen 15 bis 19 % entstehen können, da diese Beläge aufgrund ihrer offenen, hohlraumreichen Struktur einer besonderen Reinigung bedürfen, einen erhöhten Taumittelverbrauch aufweisen und nur zwei Verfahren im kleinen baulichen Unterhalt geeignet sind.


Für die Beläge der Kategorien 2, 3 und 4 ergeben sich aufgrund der Kostenanalyse nur geringe Mehrkosten im betrieblichen Unterhalt einer Gemeinde zwischen 1-3%.

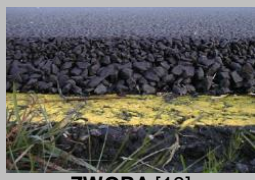
## 5 Empfehlungen

### 5.1 Empfohlene Unterhaltsverfahren

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Forschungsprojekts praxisnah in Tabellenform dargestellt. Die Erkenntnisse stammen aus den durchgeführten Recherchen; auf Quellenverweise wird aus Gründen der Handhabung der Tabellen weitestgehend verzichtet. Die Verweise befinden sich in den Kapitel in 4.5 sowie in den Anhängen III, IV und V

#### Kategorie 1

<b>Kategorie</b>	1 „Poröse Beläge“			
<b>Eigenschaften :</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>Hohlraumgehalt &gt; 16 Vol.-%</b> (ggf. > 10 Vol.-%)		
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>ja</b>		
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>ZWOPA 8/16</b> <b>PA 8</b>	<b>Twinlayer PA 4+8 0/4</b> <b>(PMA 5)</b>	<b>ZWOPA [19]</b>	
<b>Reinigung</b>				
<p><b>Herkömmliche Reinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poröse Beläge der Kategorie 1 sind nicht optimal zu reinigen. Da der Selbstreinigungseffekt unter 60 km/h fehlt, sind eine vollständige, langanhaltende Reinigung und damit die Aufrechterhaltung des nach dem Einbau vorhandenen Hohlraumgehaltes bis zum Ende der Lebensdauer zurzeit nicht möglich.</li> <li>• Die herkömmlichen Reinigungsverfahren „Kehren und Saugen“ sowie „Sprengen und Schwemmen“ sind möglichst zu vermeiden, da durch deren Anwendung eine weitere Verstopfung der Poren nicht auszuschliessen ist.</li> <li>• Ggf. kann eine rein saugende Reinigung ohne akustische Verschlechterung angewendet werden.</li> <li>• In der Praxis wird Verschmutzung tlw. mit der Hand aufgesammelt.</li> </ul> <p><b>Spezialreinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus akustischer Sicht ist eine Spezialreinigung mittels „Hochdruckreinigung“ oder „Schrubbsaugverfahren“ erforderlich.</li> <li>• Die Spezialreinigung kann aufgrund des Hochdrucks oder der rotierenden Bürsten zu Belagsschäden führen und ist mit grosser Vorsicht durchzuführen.</li> <li>• Die Einstellungen der Maschinen sollten an einer Probefläche getestet werden.</li> </ul> <p><b>Ölspuren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ölspuren sollten umgehend (Gefahr von Folgeschäden durch ungehindertes Vordringen des Öls im Belag) und nur mittels Hochdruck mit Wiederaufnahme oder Schrubbsaugverfahren entfernt werden.</li> <li>• Verfahren „Kehren und Saugen“ sowie „Sprengen und Schwemmen“ nach Abstreuen mit Ölbinder sollten nicht eingesetzt werden.</li> </ul> <p><b>Allgemein:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine Nassreinigung ist generell unwirtschaftlicher als die Trockenreinigung.</li> </ul>				
<b>Zustand</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Anwendung</b>		
		<b>tech.-mech.</b>	<b>akustisch</b>	<b>betrieblich</b>
grober loser Schmutz	kehren und saugen	nicht erforderlich	ungünstig	nur bei Bedarf aufgrund gemeindespezifischer Anforderungen
festsitzender Schmutz	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	nicht erforderlich	teilweise günstig	1-2 mal pro Jahr Vorsicht : Hochdruck, Bürsten
	Schrubbsaugverfahren			
Ölspur	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme	erforderlich	unklar	bei Bedarf Vorsicht : Hochdruck, Bürsten
	Schrubbsaugverfahren			

<b>Kategorie</b>	<b>1 „Poröse Beläge“</b>		
<b>Eigenschaften :</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>Hohlraumgehalt &gt; 16 Vol.-%</b> (ggf. > 10 Vol.-%)	
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>ja</b>	
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>&gt; 450 µm</b> (ggf. > 300 µm)	
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>ZWOPA 8/16 PA 8</b>	<b>Twinlayer PA 4+8 0/4 (PMA 5)</b>	<b>ZWOPA [19]</b>

**Winterdienst**

Derzeit existieren verschiedene Verfahren für die Taumittelausbringung (Trockensalz, Feuchtsalz, Sole). Die Entscheidung, welches Verfahren in einer Gemeinde/Stadt zur Anwendung kommt, basiert auf individuellen, strategischen Entscheidungen der Gemeinde. Prinzipiell gelten bei den Verfahren die gleichen Vor- und Nachteile für lärmarme Beläge wie bei herkömmlichen Belägen.

**Anwendung Taumittel:**


- Die Anwendung der herkömmlichen Taumittel ist möglich.
- Auch bei herkömmlichen Belägen ist die Anwendung von Trockensalz generell nicht empfohlen (Mehrmengen durch Wegwehen des Salzes im Vergleich zu Feuchtsalz oder Sole).
- Bei porösen Belägen der Kategorie 1 kommen Mehrmengen aufgrund Einsickerns in den Belag hinzu.
- Wegen der besseren Haftung empfiehlt sich grobes Feuchtsalz oder Sole.
- Bei starkem Schneefall oder starker Nässe kann Trockensalz (wie bei herkömmlichen Belägen) eingesetzt werden
- Bei den Taumitteln ist eine bis zu 2-fache Menge im Vergleich zu herkömmlichen Belägen erforderlich. Die detaillierten, temperaturabhängigen Dosierungen für herkömmliche Beläge finden sich unter [77] und [90].
- Bei Glatteis ist die nachträgliche Glättebeseitigung (kurativ) in der Regel nicht wirkungsvoll.


**Mechanische Beanspruchungen:**

- VORSICHT: Das Befahren mit Schneeketten und Spikes kann diese Beläge zerstören und ist zu vermeiden.
- Splitt sollte auf keinen Fall, auch nicht in Ausnahmefällen, angewendet werden, da er den Belag akustisch zerstören kann (Folgeschäden im Betrieb). Ausserdem stellt Splitt eine zusätzliche Lärmquelle auf dem Belag dar.
- Der Pflug sollte genügend Abstand von der Belagsoberfläche haben, intakt und korrekt eingestellt sein, um Berührungen und damit mögliche Zerstörungen zu vermeiden.


**Winterdienst**


Zustand	Verfahren	Anwendung			Menge (maximal)	
		tech.-mech.	akustisch	betrieblich	Sole (ml/m <sup>2</sup> )	Feuchtsalz (g/m <sup>2</sup> )
Schnee, Schneeglätte	erst mech. Räumen, dann Taumittleinsatz	-	nicht erforderlich; neutral	bei Bedarf kurativ	-	20 - 80
Reifglätte	Taumittleinsatz, vorzugsweise Sole				30 - 60	20 - 60
Eisglätte	Taumittleinsatz, vorzugsweise Feuchtsalz				-	20 - 80
Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	Taumittleinsatz, vorzugsweise Sole			bei Bedarf präventiv	20 - 120	10 - 80

<b>Kategorie</b>	<b>1 „Poröse Beläge“</b>		 <p style="text-align: center;"><b>ZWOPA [19]</b></p>		
<b>Eigenschaften :</b>	<b>Hohlraumgehalt</b> <b>wasserdurchlässig</b> <b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>Hohlraumgehalt &gt; 16 Vol.-%</b> (ggf. > 10 Vol.-%) <b>ja</b> <b>&gt; 450 µm</b> (ggf. > 300 µm)			
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>ZWOPA 8/16</b> <b>PA 8</b>	<b>Twinlayer PA 4+8 0/4</b> <b>(PMA 5)</b>			
<b>Kleiner baulicher Unterhalt</b>					
<p><b>Besonderheiten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Besonderheiten durch Offenporigkeit und somit Wasserdurchlässigkeit der Deckschicht</li> <li>• Horizontale Wasserdurchlässigkeit auf der entwässernden Schicht zur Entwässerungsrinne muss stets gewährleistet sein.</li> <li>• Starke mechanische Beanspruchungen (Scherbeanspruchungen) während der Reparatur sind zu vermeiden.</li> </ul> <p><b>Erhaltungsmassnahmen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhaltungsmassnahmen sollten möglichst grossflächig bis hin zur Entwässerungsrinne erfolgen.</li> <li>• Als Mischgut für Oberbauerneuerung sollte lärmarmes, wasserdurchlässiges Ausgangsmaterial verwendet werden.</li> <li>• Für örtliche Belagserneuerungen und Ausbesserungen sollte trotz Verlust der Lärmeigenschaften auf diesem Teilstück nicht lärmarmes Mischgut zum Einsatz kommen, um keine wasserundurchlässige Reparaturstelle (Nähte) zu erzeugen)</li> <li>• Reparaturstelle sollte so angeordnet werden, dass der Wasserabfluss um die Reparaturstelle herum gewährleistet ist.</li> <li>• Keine aufrauenden Verfahren (wg. hohem Hohlraumgehalt)</li> <li>• Präventiv könnte ein Konservierungsmittel aufgebracht werden.</li> <li>• Rückformen und Aufbringen eines Konservierungsmittels haben sich im Ausland bewährt und stellen geeignete Unterhaltsverfahren dar. Zurzeit gibt es in der Schweiz für diese Verfahren noch keine Anbieter; sie sind daher unten nicht aufgeführt.</li> <li>• Gute Erfahrungen mit „diamond cutting“ zum Aufrauen von OPAs in den Niederlanden; Erfahrungen mit weiteren aufrauenden Verfahren liegen nicht vor.</li> </ul> <p><b>Bedeutung Risse vergiessen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risse in der Deckschicht müssen aus akustischer und technisch-mechanischer Sicht nicht vergossen werden.</li> <li>• Risse in tieferen Schichten sollten aus technisch-mechanischer Sicht vergossen werden.</li> <li>• Das Risse vergiessen muss im Hinblick auf die Wasserdurchlässigkeit erfolgen (nur bei Rissen längs zur Falllinie); sonst Belagersetzt.</li> </ul>					
<b>Empfehlenswerte Verfahren</b>					
Verfahren	Zustand	Anwendung			
		tech.-mech.	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	betrieblich
Oberbauerneuerung (lärmarm)	Oberflächenglätte	ggf. erforderlich	-	nicht erf.; neutral	Wasserdurchlässigkeit des Belages entlang der entwässernden Schicht muss auch nach der Reparatur gewährleistet sein.
	Leichte Materialverluste			nicht erf.; günstig	
	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)			nicht erf.; neutral	
	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	günstig	Geschickte Anordnung des Belagersetzes im Hinblick auf die Wasserdurchlässigkeit
	Strukturelle Schäden			neutral	

<b>Kategorie</b>	1 „Poröse Beläge“				
<b>Eigenschaften :</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>Hohlraumgehalt &gt; 16 Vol.-%</b> (ggf. > 10 Vol.-%)			
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>ja</b>			
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>&gt; 450 µm</b> (ggf. > 300 µm)			
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>ZWOPA 8/16</b> <b>PA 8</b>	<b>Twinlayer PA 4+8 0/4</b> <b>(PMA 5)</b>		<b>ZWOPA [19]</b>	
<b>Bedingt empfehlenswerte Verfahren</b>					
Verfahren	Zustand	Anwendung			
		tech.-mech.	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	betrieblich
Örtl. Belags-erneuerung (nicht lärmarm)	Oberflächenglätte	ggf. erforderlich	-	nicht erforderlich, ungünstig	Wasserdurchlässigkeit des Belages um Reparaturstelle herum muss entlang der entwässernden Schicht auch nach der Reparatur gewährleistet sein. Geschickte Anordnung des örtlichen Belagsersatz im Hinblick auf die Wasserdurchlässigkeit
	Leichte Materialverluste				
	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)				
	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	ungünstig	
	Strukturelle Schäden				
Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	Bei Rissen tiefer als Deckschicht erforderlich	nicht erforderlich neutral	Nur bei Rissen längs zur Falllinie wg. Wasserdurchlässigkeit; sonst Belagsersatz
	Strukturelle Schäden				
Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	ungünstig	Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein

**Kategorie 2**

<b>Kategorie</b>	<b>2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“</b>		 <p><b>Nanosoft [152]</b></p>	
<b>Eigenschaften:</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>&gt; 10%</b>		
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>nein</b>		
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>&lt; 200 µm (ggf. &lt; 300 µm)</b>		
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>Nanosoft 4, Viaphone, MOA-Leise-4</b>			
<b>Reinigung</b>				
<p><b>Herkömmliche Reinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die herkömmlichen Reinigungsverfahren „Kehren und Saugen“ sowie „Sprengen und Schwemmen“ können problemlos angewendet werden.</li> </ul> <p><b>Spezialreinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Spezialreinigung ist aus akustischer Sicht nicht erforderlich.</li> <li>Spezialreinigung kann aufgrund des Hochdrucks oder der rotierenden Bürsten zu Belagsschäden führen und ist mit grosser Vorsicht durchzuführen.</li> <li>Die Einstellungen der Maschine sollten an einer Probefläche getestet werden.</li> </ul> <p><b>Ölspuren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ölspuren sollten mittels „Kehren und Saugen mit Ölbindemittel“ oder „Sprengen und Schwemmen mit Ölbindemittel“ beseitigt werden.</li> <li>Vorsicht bei Hochdruckreinigung und Schrubbsaugverfahren.</li> </ul> <p><b>Allgemein:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eine Nassreinigung ist generell unwirtschaftlicher als eine Trockenreinigung.</li> </ul>				
Zustand	Verfahren	Anwendung		
		tech.-mech.	akustisch	betrieblich
loser Schmutz	kehren und saugen	nicht erforderlich	günstig	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen			
festsitzender Schmutz	kehren und saugen (in Komb. mit Hochdruck oder Abkratzen)	nicht erforderlich	neutral	bei Bedarf Vorsicht : Hochdruck, Bürsten
	sprengen, schwemmen		tlw. günstig	
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme			
	Schrubbsaugverfahren			
Ölspur	kehren und saugen (nach Abstreuen mit Ölbindemittel)	erforderlich	günstig	bei Bedarf Vorsicht : Hochdruck, Bürsten
	sprengen, schwemmen (nach Abstreuen mit Ölbindemittel)			
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme			
	Schrubbsaugverfahren			

<b>Kategorie</b>	<b>2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“</b>	 <p>Nanosoft [152]</p>
<b>Eigenschaften:</b>	<b>Hohlraumgehalt</b> > 10% <b>wasserdurchlässig</b> nein <b>Rauigkeitstiefe</b> < 200 µm (ggf. < 300 µm)	
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>Nanosoft 4, Viaphone, MOA-Leise-4</b>	

**Winterdienst**

Derzeit existieren verschiedene Verfahren für die Taumittelausbringung (Trockensalz, Feuchtsalz, Sole). Die Entscheidung, welches Verfahren in einer Gemeinde/Stadt zur Anwendung kommt, basiert auf individuellen, strategischen Entscheidungen der Gemeinde. Prinzipiell gelten bei den Verfahren die gleichen Vor- und Nachteile für lärmarme Beläge wie bei herkömmlichen Belägen.

**Anwendung Taumittel:**

- Die Anwendung der herkömmlichen Taumittel ist möglich.
- Auch bei herkömmlichen Belägen ist die Anwendung von Trockensalz generell nicht empfohlen (Mehrmengen durch Wegwehen des Salzes im Vergleich zu Feuchtsalz oder Sole).
- Wegen der besseren Haftung empfiehlt sich grobes Feuchtsalz oder Sole.
- Bei starkem Schneefall oder starker Nässe kann Trockensalz (wie bei herkömmlichen Belägen) eingesetzt werden
- Dosierung der Taumittel ist wie bei herkömmlichen Belägen. Die detaillierten, temperaturabhängigen Dosierungen für herkömmliche Beläge finden sich unter [77] und [90].
- Bei Glatteis ist die nachträgliche Glättebeseitigung (kurativ) in der Regel nicht wirkungsvoll.

**Mechanische Beanspruchungen:**


- **VORSICHT:** Das Befahren mit Schneeketten kann den Belag zerstören.
- Splitt sollte bei den wasserundurchlässigen, hohlraumreichen Belägen vermieden werden, da aufgrund des grossen Hohlraumgehaltes Folgeschäden im Betrieb erwartet werden. Ausserdem stellt Splitt eine zusätzliche Lärmquelle auf dem Belag dar.
- Der Pflug sollte genügend Abstand von der Belagsoberfläche haben, intakt und korrekt eingestellt sein, um Berührungen und damit mögliche Zerstörungen zu vermeiden.


Zustand	Verfahren	Anwendung			Menge (maximal)	
		tech.-mech.	akustisch	betrieblich	Sole (ml/m <sup>2</sup> )	Feuchtsalz (g/m <sup>2</sup> )
Schnee, Schnee-glätte	erst mech. Räumen, dann Taumittleinsatz	-	nicht erforderlich; neutral	bei Bedarf kurativ	-	10 - 40
Reifglätte	Taumittleinsatz, vorzugsweise Sole				15-30	10-30
Eisglätte	Taumittleinsatz, vorzugsweise Feuchtsalz				-	10 - 40
Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	Taumittleinsatz, vorzugsweise Sole			bei Bedarf präventiv	10 - 60	5 - 40

<b>Kategorie</b>	<b>2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“</b>			 <b>Nanosoft [152]</b>	
<b>Eigenschaften:</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>&gt; 10%</b>			
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>nein</b>			
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>&lt; 200 µm (ggf. &lt; 300 µm)</b>			
<b>Beispielbeläge:</b>	<b>Nanosoft 4, Viaphone, MOA-Leise-4</b>				
<b>Kleiner baulicher Unterhalt</b>					
<b>Besonderheiten:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Starke mechanische Beanspruchungen (Scherbeanspruchungen) während der Reparatur sind zu vermeiden.</li> </ul>					
<b>Erhaltungsmassnahmen:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleiner baulicher Unterhalt erfolgt weitestgehend wie bei herkömmlichen Belägen.</li> <li>Möglichst keine aufrauenden Verfahren (wg. hohem Hohlraumgehalt) anwenden.</li> <li>Als Mischgut für Belagserneuerungen und Oberbauerneuerung sollte lärmarmes, wasserundurchlässiges Ausgangsmaterial verwendet werden.</li> <li>Bei Belagsschäden zwischen den Fahrspuren kann die Ausbesserung mit einem lärmarmen Asphaltmischgut ausreichen (z.B. einem lärmarmen Gussasphalt (MA LA))</li> <li>Präventiv könnte ein Konservierungsmittel aufgebracht werden.</li> <li>Rückformen und Aufbringen eines Konservierungsmittels haben sich im Ausland bewährt und stellen geeignete Unterhaltsverfahren dar. Zurzeit gibt es in der Schweiz für diese Verfahren noch keine Anbieter; sie sind daher unten nicht aufgeführt.</li> </ul>					
<b>Bedeutung Risse vergiessen:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Risse in der Deckschicht und in tieferen Schichten müssen aus technisch-mechanischer Sicht vergossen werden, um Frostschäden vorzubeugen.</li> </ul>					
<b>Verfahren</b>	<b>Zustand</b>	<b>Anwendung</b>			
		<b>tech.-mech.</b>	<b>akustisch Ebeneheit</b>	<b>akustisch Parameter</b>	<b>betriebl.ich</b>
<b>Empfehlenswerte Verfahren</b>					
Örtliche Belagserneuerung und Oberbauerneuerung (lärmarm)	Oberflächenglätte	ggf. erforderlich	-	nicht erf.; neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Leichte Materialverluste			nicht erf.; günstig	
	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)			nicht erf.; neutral	
	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	günstig	
	Strukturelle Schäden	erforderlich	neutral		
<b>Bedingt empfehlenswerte Verfahren</b>					
Örtl. Belagserneuerung und Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	erforderlich, günstig	nicht erforderlich, ungünstig	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Schwere Materialverluste			nicht erforderlich, neutral	
	Strukturelle Schäden			nicht erforderlich, ungünstig	
Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	-	nicht erforderlich neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Strukturelle Schäden				
Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Strukturelle Schäden				




**Kategorie 3**


<b>Kategorie</b>	3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“			 AC MR 8 [153]
<b>Eigenschaften</b>	Hohlraumgehalt wasserdurchlässig Rauigkeitstiefe	6% bis 16% nein zwischen 200 und 450 µm		
<b>Beispielbeläge</b>	AC MR 8, SMA LA 8, AC MR 8 +			
<b>Reinigung</b>				
<p><b>Herkömmliche Reinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die herkömmlichen Reinigungsverfahren „Kehren und Saugen“ sowie „Sprengen und Schwemmen“ können problemlos angewendet werden.</li> <li>Das Kehr-Saug-Verfahren reinigt den Belag evtl. nicht vollständig aufgrund der groben Textur. Es erfolgt aber eine Selbstreinigung bei Regen.</li> </ul> <p><b>Spezialreinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Spezialreinigung ist aus akustischer Sicht nicht erforderlich.</li> <li>Spezialreinigung kann wie bei herkömmlichen Belägen angewendet werden.</li> </ul> <p><b>Ölspuren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ölspuren können mit allen gängigen Methoden entfernt werden.</li> </ul> <p><b>Allgemein:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eine Nassreinigung ist generell unwirtschaftlicher als eine Trockenreinigung.</li> </ul>				
<b>Zustand</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Anwendung</b>		
		<b>tech.-mech.</b>	<b>akustisch</b>	<b>betrieblich</b>
loser Schmutz	kehren und saugen	nicht erforderlich	tlw. günstig	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen			
festsitzen-der Schmutz	kehren und saugen (in Komb. mit Hochdruck oder Abkratzen)	nicht erforderlich	neutral	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen		tlw. günstig	
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme			
	Schrubbsaugverfahren			
Ölspur	kehren und saugen (nach Abstreuen mit Ölbinder)	erforderlich	tlw. günstig	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen (nach Abstreuen mit Ölbinder)			
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme		günstig	
	Schrubbsaugverfahren			

<b>Kategorie</b>	<b>3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“</b>			 <b>AC MR 8 [153]</b>		
<b>Eigenschaften</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>6% bis 16%</b>				
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>nein</b>				
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>zwischen 200 und 450 µm</b>				
<b>Beispielbeläge</b>	<b>AC MR 8, SMA LA 8, AC MR 8 +</b>					
<b>Winterdienst</b>						
<p>Derzeit existieren verschiedene Verfahren für die Taumittelausbringung (Trockensalz, Feuchtsalz, Sole). Die Entscheidung, welches Verfahren in einer Gemeinde/Stadt zur Anwendung kommt, basiert auf individuellen, strategischen Entscheidungen der Gemeinde. Prinzipiell gelten bei den Verfahren die gleichen Vor- und Nachteile für lärmarme Beläge wie bei herkömmlichen Belägen.</p> <p><b>Anwendung Taumittel:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Anwendung der herkömmlichen Taumittel ist möglich.</li> <li>• Auch bei herkömmlichen Belägen ist die Anwendung von Trockensalz generell nicht empfohlen (Mehrmengen durch Wegwehen des Salzes im Vergleich zu Feuchtsalz oder Sole).</li> <li>• Wegen der besseren Haftung empfiehlt sich grobes Feuchtsalz oder Sole.</li> <li>• Bei starkem Schneefall oder starker Nässe kann Trockensalz (wie bei herkömmlichen Belägen) eingesetzt werden</li> <li>• Dosierung der Taumittel zwischen der für herkömmliche und der für offenporige Beläge (Angaben hier: 1.5-fache Menge). Die detaillierten, temperaturabhängigen Dosierungen für herkömmliche Beläge finden sich unter [77] und [90].</li> <li>• Bei Glatteis ist die nachträgliche Glättebeseitigung (kurativ) in der Regel nicht wirkungsvoll.</li> </ul> <p><b>Mechanische Beanspruchungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz Schneeketten und Pflug wie bei herkömmlichen Belägen.</li> <li>• Splitt sollte vermieden werden, da aufgrund der groben Textur evtl. Folgeschäden im Betrieb zu erwarten sind. Ausserdem stellt Splitt eine zusätzliche Lärmquelle auf dem Belag dar.</li> </ul>						
Zustand	Verfahren	Anwendung			Menge (maximal)	
		tech.-mech.	akustisch	betrieblich	Sole (ml/m <sup>2</sup> )	Feuchtsalz (g/m <sup>2</sup> )
Schnee, Schneeglätte	erst mech. Räumen, dann Taumittleinsatz	-	nicht erforderlich; neutral	bei Bedarf kurativ	-	15 - 60
Reifglätte	Taumittleinsatz, vorzugsweise Sole				23 - 45	15 - 45
Eisglätte	Taumittleinsatz, vorzugsweise Feuchtsalz				-	15 - 60
Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	Taumittleinsatz, vorzugsweise Sole			15 - 90	8 - 60	

<b>Kategorie</b>	<b>3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“</b>			 <b>AC MR 8 [153]</b>	
<b>Eigenschaften</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	<b>6% bis 16%</b>			
	<b>wasserdurchlässig</b>	<b>nein</b>			
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	<b>zwischen 200 und 450 µm</b>			
<b>Beispielbeläge</b>	<b>AC MR 8, SMA LA 8, AC MR 8 +</b>				
<b>Kleiner baulicher Unterhalt</b>					
<b>Besonderheiten:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine</li> </ul>					
<b>Erhaltungsmassnahmen:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleiner baulicher Unterhalt erfolgt wie bei herkömmlichen Belägen</li> <li>Als Mischgut für Belagserneuerungen und Oberbauerneuerung sollte lärmarmes, wasserundurchlässiges Ausgangsmaterial verwendet werden.</li> <li>Bei Belagsschäden zwischen den Fahrspuren kann die Ausbesserung mit einem lärmarmen Asphaltmischgut ausreichen (z.B. einem lärmarmen Gussasphalt (MA LA))</li> <li>Präventiv könnte ein Konservierungsmittel aufgebracht werden.</li> <li>Rückformen und Aufbringen eines Konservierungsmittels haben sich im Ausland bewährt und stellen geeignete Unterhaltsverfahren dar. Zurzeit gibt es in der Schweiz für diese Verfahren noch keine Anbieter; sie sind daher unten nicht aufgeführt.</li> </ul>					
<b>Bedeutung Risse vergiessen:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Risse in der Deckschicht und in tieferen Schichten müssen aus technisch-mechanischer Sicht vergossen werden, um Frostschäden vorzubeugen.</li> </ul>					
Verfahren	Zustand	Anwendung			
		tech.-mech.	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	betriebl.
<b>Empfehlenswerte Verfahren</b>					
Örtliche Belagserneuerung und Oberbauerneuerung (lärmarm)	Oberflächen-glätte	ggf. erforderlich	-	nicht erf.; neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Leichte Materialverluste			nicht erf.; günstig	
	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)			nicht erf.; neutral	
	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	günstig	
	Strukturelle Schäden			neutral	
<b>Bedingt empfehlenswerte Verfahren</b>					
Örtl. Belagserneuerung und Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	erforderlich, günstig	nicht erforderlich, ungünstig	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Schwere Materialverluste			nicht erforderlich, neutral	
	Strukturelle Schäden			nicht erforderlich, ungünstig	
Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	-	nicht erforderlich, neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Strukturelle Schäden				
Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Strukturelle Schäden				

**Kategorie 4**

<b>Kategorie</b>	4 "Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur"		 LOA 5 D [154]	
<b>Eigenschaften</b>	Hohlraumgehalt	< 6%		
	wasserdurchlässig	nein		
	Rauigkeitstiefe	< 200 µm (ggf. < 300 µm)		
<b>Beispielbeläge</b>	LOA 5 D, DSH-V 5			
<b>Reinigung</b>				
<p><b>Herkömmliche Reinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die herkömmlichen Reinigungsverfahren „Kehren und Saugen“ sowie „Sprengen und Schwemmen“ können problemlos angewendet werden.</li> </ul> <p><b>Spezialreinigung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Spezialreinigung ist aus akustischer Sicht nicht erforderlich.</li> <li>Spezialreinigung kann wie bei herkömmlichen Belägen angewendet werden.</li> </ul> <p><b>Ölspuren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ölspuren können mit allen gängigen Methoden entfernt werden.</li> </ul> <p><b>Allgemein:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eine Nassreinigung ist generell unwirtschaftlicher als eine Trockenreinigung.</li> </ul>				
Zustand	Verfahren	Anwendung		
		tech.-mech.	akustisch	betrieblich
loser Schmutz	kehren und saugen	nicht erforderlich	günstig	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen			
festsitzender Schmutz	kehren und saugen (in Komb. mit Hochdruck oder Abkratzen)	nicht erforderlich	neutral	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen		tlw. günstig	
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme			
	Schrubbsaugverfahren			
Ölspur	kehren und saugen (nach Abstreuen mit Ölbinder)	erforderlich	günstig	bei Bedarf
	sprengen, schwemmen (nach Abstreuen mit Ölbinder)			
	Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme			
	Schrubbsaugverfahren			

<b>Kategorie</b>	<b>4 "Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur"</b>			 <b>LOA 5 D [154]</b>		
<b>Eigenschaften</b>	<b>Hohlraumgehalt</b>	< 6%				
	<b>wasserdurchlässig</b>	nein				
	<b>Rauigkeitstiefe</b>	< 200 µm (ggf. < 300 µm)				
<b>Beispielbeläge</b>	<b>LOA 5 D, DSH-V 5</b>					
<b>Winterdienst</b>						
<p>Derzeit existieren verschiedene Verfahren für die Taumittelausbringung (Trockensalz, Feuchtsalz, Sole). Die Entscheidung, welches Verfahren in einer Gemeinde/Stadt zur Anwendung kommt, basiert auf individuellen, strategischen Entscheidungen der Gemeinde. Prinzipiell gelten bei den Verfahren die gleichen Vor- und Nachteile wie bei herkömmlichen Belägen.</p> <p><b>Anwendung Taumittel:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Anwendung der herkömmlichen Taumittel ist möglich.</li> <li>• Auch bei herkömmlichen Belägen ist die Anwendung von Trockensalz generell nicht empfohlen (Mehrmengen durch Wegwehen des Salzes im Vergleich zu Feuchtsalz oder Sole).</li> <li>• Wegen der besseren Haftung empfiehlt sich grobes Feuchtsalz oder Sole.</li> <li>• Bei starkem Schneefall oder starker Nässe kann Trockensalz (wie bei herkömmlichen Belägen) eingesetzt werden</li> <li>• Dosierung der Taumittel wie bei herkömmlichen Belägen. Die detaillierten, temperaturabhängigen Dosierungen für herkömmliche Beläge finden sich unter [77] und [90].</li> <li>• Bei Glatteis ist die nachträgliche Glättebeseitigung (kurativ) in der Regel nicht wirkungsvoll.</li> </ul> <p><b>Mechanische Beanspruchungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz Schneeketten und Pflug wie bei herkömmlichen Belägen.</li> <li>• Splitt sollte vermieden werden, da er eine zusätzliche Lärmquelle auf dem Belag darstellt.</li> </ul>						
Zustand	Verfahren	Anwendung			Menge (maximal)	
		tech.-mech.	akustisch	betrieblich	Sole (ml/m <sup>2</sup> )	Feuchtsalz (g/m <sup>2</sup> )
Schnee, Schneeglätte	erst mech. Räumen, dann Taumittel	-	nicht erforderlich; neutral	bei Bedarf kurativ	-	10 - 40
Reifglätte	Taumittel, vorzugsweise Sole				15-30	10-30
Eisglätte	Taumittel, vorzugsweise Feuchtsalz				-	10 - 40
Schnee, Schnee-, Reif-, Eisglätte, Glatteis	Taumittel, vorzugsweise Sole			bei Bedarf präventiv	10 - 60	5 - 40

<b>Kategorie</b>	4 "Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur"			 LOA 5 D [154]	
<b>Eigenschaften</b>	Hohlraumgehalt	< 6%			
	wasserdurchlässig	nein			
	Rauigkeitstiefe	< 200 µm (ggf. < 300 µm)			
<b>Beispielbeläge</b>	LOA 5 D, DSH-V 5				
<b>Kleiner baulicher Unterhalt</b>					
<b>Besonderheiten:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine</li> </ul>					
<b>Erhaltungsmassnahmen:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kleiner baulicher Unterhalt erfolgt wie bei herkömmlichen Belägen</li> <li>Als Mischgut für Belagserneuerungen und Oberbauerneuerung sollte lärmarmes, wasserundurchlässiges Ausgangsmaterial verwendet werden.</li> <li>Bei Belagsschäden zwischen den Fahrspuren kann die Ausbesserung mit einem lärmarmen Asphaltmischgut ausreichen (z.B. einem lärmarmen Gussasphalt (MA LA))</li> <li>Präventiv könnte ein Konservierungsmittel aufgebracht werden.</li> <li>Rückformen und Aufbringen eines Konservierungsmittels haben sich im Ausland bewährt und stellen geeignete Unterhaltsverfahren dar. Zurzeit gibt es in der Schweiz für diese Verfahren noch keine Anbieter; sie sind daher unten nicht aufgeführt.</li> </ul>					
<b>Bedeutung Risse vergiessen:</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Risse in der Deckschicht und in tieferen Schichten müssen aus technisch-mechanischer Sicht vergossen werden, um Frostschäden vorzubeugen.</li> </ul>					
Verfahren	Zustand	Anwendung			
		tech.-mech.	akustisch Ebenheit	akustisch Parameter	betrieblich
<b>Empfehlenswerte Verfahren</b>					
Örtliche Belagserneuerung und Oberbauerneuerung (lärmarm)	Oberflächen-glätte	ggf. erforderlich	-	nicht erf.; neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Leichte Materialverluste			nicht erf.; günstig	
	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)			nicht erf.; neutral	
	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	günstig	
	Strukturelle Schäden			neutral	
<b>Bedingt empfehlenswerte Verfahren</b>					
Örtl. Belagserneuerung und Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	erforderlich, günstig	nicht erforderlich, ungünstig	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Schwere Materialverluste			nicht erforderlich, neutral	
	Strukturelle Schäden			nicht erforderlich, ungünstig	
Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen	Risse, Nähte (ohne Unebenheit)	ggf. erforderlich	-	nicht erforderlich neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Strukturelle Schäden				
Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)	Schwere Materialverluste	erforderlich	erforderlich	neutral	Wasserundurchlässigkeit des Belages muss gewährleistet sein
	Strukturelle Schäden				

## 5.2 Strategische und planerische Ansätze

Ein zentraler Schlüssel für den Erhalt der Langlebigkeit eines lärmarmen Belages liegt in der Planung. Ziel muss sein, Lärmquellen von vornherein und langfristig auszuschliessen.

### 5.2.1 Streckenwahl

#### Technisch-mechanische Aspekte

Belagsschäden können bei den sehr wirksamen, aber empfindlichen Belägen (Kategorien 1 und 2) von vornherein vermieden werden, indem diese Beläge nur dort eingebaut werden, wo sie auch wirklich benötigt werden. Das heisst auf Strecken, wo mit der Höchstgeschwindigkeit für innerorts gefahren wird und höherem LKW-Verkehr. Strecken, auf denen langsam gefahren wird (Kreisel, Parkplätze, Kreuzungen, Ein- und Ausfahrten) erfordern nicht notwendigerweise lärmarme Beläge. Diese sollten mit einem SMA oder AC MR asphaltiert werden. Dadurch können Schäden durch Anfahren oder Richtungswechsel (Scherbeanspruchung) vermieden werden ([115]; [38], S. 17).

#### Betriebliche Aspekte

Die Streckenwahl ist auch betrieblich ein Thema. Hinsichtlich des Winterdienstes ist darauf zu achten, dass Strecken, die evtl. mit Schneeketten geräumt werden müssen, nicht aus Belägen der Kategorien 1 und 2 bestehen.

### 5.2.2 Planung / Koordination

Die Bedeutung der Koordination der Werke innerorts nimmt nicht nur beim Einsatz lärmarmen Belägen einen grossen Stellenwert ein. Jedoch besonders bei lärmarmen Belägen sollten Aufgrabungen während möglichst vieler Jahre nach dem Aufbringen des Belages vermieden werden. Daher ist eine gute Koordination zwischen den Tiefbauämtern und den Werkleitungseigentümern unerlässlich. Der Einbau eines lärmarmen Belages sollte genutzt werden, Kanalisation und Leitungen zu erneuern.

### 5.2.3 Konstruktionsweise

Innerorts bestehen Unstetigkeiten im Belag, die zu einer inhomogenen Oberfläche und damit bei Überfahrt zu Schlaggeräuschen führen, beispielsweise ([151], S.8)

- Belagswechsel bei Fahrbahn-Bushaltestellen (z.B. aus Beton), Brückenübergängen, Schwellen
- Belagswechsel/Übergänge, bedingt durch Unterhaltsarbeiten, Werkleitungsgräben etc.

#### 5.2.3.1 Tragschicht

Eine gute Qualität der Tragschicht ist für die lange Lebensdauer eines lärmarmen Belages wichtig. Der Unterbau muss ausreichend tragfähig und in gutem Zustand sein. Jeder Schaden und jede Unebenheit in der Tragschicht pflanzt sich in die Deckschicht fort und kann dort zu Lärm erzeugenden Schäden führen ([18], S.28).

Innerhalb des Konzeptes des „perpetual pavement“ hat eine Fahrbahn ohne grössere Erneuerung oder Instandsetzung und ausschliesslich mit der regelmässigen Erneuerung der Deckschicht eine sehr lange ("ewige") Lebensdauer ([55], S. XIII).

#### 5.2.3.2 Strassenführung

Da lärmarme Beläge maschinell eingebaut werden sollten, muss darauf geachtet werden, dass die Strassenführung dies zulässt. Stellen mit Handeinbau (z.B. hervorspringende Trottoirs) sollten vermieden werden.

### 5.2.3.3 Unebenheiten durch Einbauten

Kanal- oder Schachtdeckel, die vor dem Einbau eines lärmarmen Belages *in* der Fahrspur liegen, sollten *zwischen* die Fahrspuren verlegt werden (Abbildung 14). Das gleiche gilt für Wasserabflüsse. Diese können ggf. so eingebaut werden, dass sie in den Strassenrand hineinreichen (abzuwägen zwischen Fussgängergefährdung und günstigen Lärmeigenschaften, Abbildung 15).

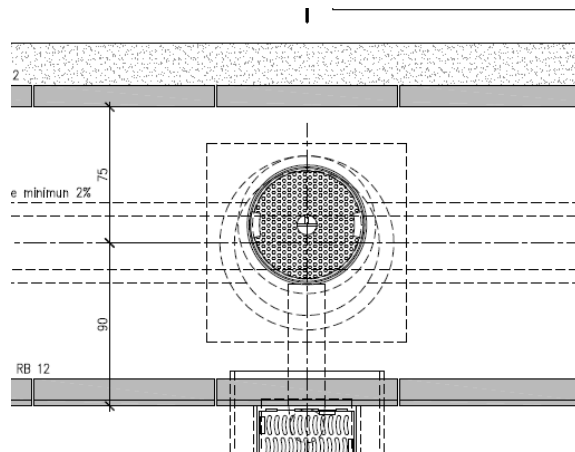


Abbildung 14: Kanaldeckel zwischen Fahrspuren (Detailzeichnung, Aufsicht) [155]

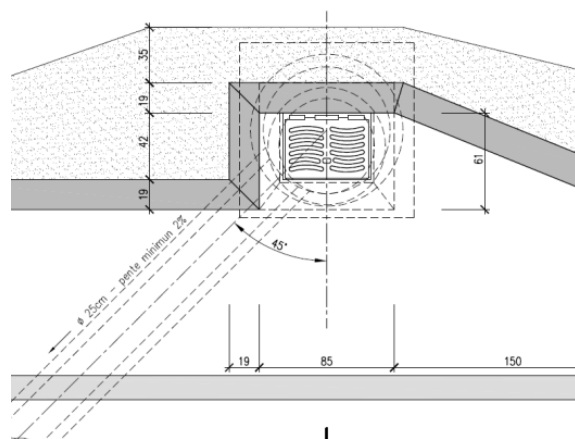


Abbildung 15: In den Strassenrand reichender Schachtdeckel (Detailzeichnung, Aufsicht) [156]

Die Höhenanpassung von Kanalschächten und anderen Einbauten kann beim Einbau von Dünnschichtbelägen aufgrund der geringen Belagsdicke entfallen [48].

Für Schachtabdeckungen gibt es lärmarme Systeme, bei denen die Kräfte mit Hilfe eines konischen Schachtrahmens nicht in den Schacht führen, sondern in die Fahrbahn, wo sie keinen Schaden anrichten. Dabei sind Deckel mit einem Asphaltbelag, der in einen Kunststoffring eingefasst ist, vorzuziehen (Abbildung 16) [157].



Abbildung 16: Lärmarme Schachtabdeckung [157]



#### 5.2.3.4 Bushaltestellen

An Bushaltestellen besteht aufgrund der Wärmeabstrahlung der Niederflrbusse die Gefahr, dass sich der Belag im Sommer zusätzlich aufheizt und aufgrund des Raddruckes verformt. In der Vergangenheit wurde daher bei Fahrbahnhaltestellen für den Deckbelag Beton verwendet. Gemäss aktueller mündlicher Weisung des Kantons Aargau wird für Fahrbahnhaltestellen nicht mehr Beton verwendet, sondern der lärmarme Belag muss durchgehend eingebaut werden. Dabei nimmt man eine kürzere Lebensdauer des Belages an der Haltestelle zugunsten der Lärmreduktion in Kauf [158].

#### 5.2.3.5 Bahnübergänge

Bei den Bahnübergängen gelten Systeme aus Gummi als lärmreduzierend. Es handelt sich dabei um Platten aus recykliertem und recyclingfähigem Gummi, vorwiegend aus der Reifenrunderneuerung [159].

Als besonders lärmarm wahrgenommen, scheint sich ein System zu erweisen, das ursprünglich zur Vermeidung von Spurrillen entwickelt wurde. Es besteht aus einer Innenplatte, welche die Fahrbahn zwischen den Schienen völlig eben abschliesst. Ein Wechselelement an der Schieneninnenkante wird durch den Spurkranz von Eisenbahnradern niedergedrückt, bietet jedoch Personen zu Fuss oder mit dem Velo sowie Rollstuhl- und Kinderwagenrädern ausreichend Widerstand, also eine ebene Fläche ohne Stolperfallen. Zur akustischen Güte eines solchen Überganges gibt es keine systematischen Messungen [160] [161].



Abbildung 17: Lärmarmes Bahnübergang [161]

#### 5.2.4 Einbau

Muss beim Einbau von einem lärmarmen zu einem herkömmlichen Belag gewechselt werden, so ist während des Einbaus der kontinuierliche Übergang zum neuen Mischgut zu empfehlen („changing mix on the fly“, [18], S.28). Dies verhindert möglicherweise lärmerezeugende Übergänge oder Nähte.

### 5.3 Kritische Würdigung und Ausblick

Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Untersuchung und Auswahl geeigneter Verfahren des betrieblichen Unterhalts für lärmarme Beläge innerorts. Erfahrungen mit offenporigen Belägen innerorts haben Praktiker verunsichert, da aufgrund der gegebenen Instabilität für gewisse Beanspruchungen, der fehlenden Eignung bestimmter Unterhaltsverfahren für die Beläge, dem fehlenden Selbstreinigungseffekt und der hohen Material- und Einbaukosten hohe Unterhaltskosten entstanden sind. Neben den hohen Kosten konnte die akustische Lebensdauer nicht langfristig erhalten werden. Die Forschungen zur Neuentwicklung lärmarmen Beläge für den Innerortsbereich basieren daher auf Rezepturen, welche die Nachteile der offenporigen Beläge nicht aufweisen.

In diesem Forschungsprojekt wird eine Kategorisierung anhand drei massgebender Parameter zur Lärminderung (Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit, Rauigkeitstiefe) vorgestellt. Diese Kategorisierung ermöglicht es, alle existierenden lärmarmen Belagstypen zu erfassen und in Kategorien mit gleichen Eigenschaften für den betrieblichen Unterhalt einzuteilen. Die Kategorisierung erlaubt es weiterhin, Neuentwicklungen von Belägen in die Gruppen einzuordnen und darüber Empfehlungen für den Unterhalt der Neuentwicklung zu erhalten (Kap. 3).

Da systematische, quantitative Messungen der Wirkung eines Unterhaltsverfahrens auf lärmarme Beläge nicht vorliegen (Ausnahme „poröse Beläge“) erfolgt die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren in diesem Forschungsprojekt auf Basis systematischer, qualitativer Erkenntnisgewinnung. Grundlagen sind (Kap. 4):

- vier Wege für die qualitative Wissensgenerierung (Qualitative Herleitung, Literatur, Experten, Praxiserfahrungen)
- Auswertung der qualitativen Informationen auf vier Betrachtungsebene (technisch-mechanisch, akustisch, betrieblich und finanziell)
- systematisches Vorgehen je Belagskategorie, je Zustandsänderung und Verfahren.

Die qualitative Herleitung versucht, auf Basis physikalischer Zusammenhänge die akustische Wirkung der Unterhaltsverfahren zu erfassen. Sie ist im Vergleich zu Messungen als weniger aussagefähig zu bezeichnen. Zur Erhöhung der Aussagefähigkeit der Untersuchung der Eignung von Unterhaltsverfahren wären systematische (für alle Kategorien) empirisch-quantitative Messungen und Tests sinnvoll, welche die Entwicklung der Lärminderung vor und nach Anwendung des Verfahrens messtechnisch erfassen sollten; besonders für die Beläge der Kategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“.<sup>47</sup>

Die systematische Auswertung der Erkenntnisse aus Literatur, von Experten und aus Berichten der Praxis zeigt den Stand der Forschung und Praxis auf. Die meisten lärmarmen Beläge in der Schweiz und in Deutschland wurden erst vor wenigen Jahren (<3-5) eingebaut. Besonders der kleine bauliche Unterhalt funktioniert in der Praxis auf Basis von „trial and error“; treten bestimmte Schäden auf, entscheiden die Verantwortlichen aufgrund ihres Erfahrungshintergrundes und auf Basis von Recherchen im Einzelfall, wie sie diese beheben wollen und führen Verfahrenstests durch. Systematische Aufzeichnungen oder Erfahrungsberichte gibt es nicht. In den Niederlanden bspw. werden kurze Lebensdauern bewusst in Kauf genommen und ein Ersatz des lärmarmen Belags nach bereits 5 bis 10 Jahren eingeplant, so dass der kleine bauliche Unterhalt in der Regel eine untergeordnete Rolle spielt.

Bei den Interviews mit Praktikern fiel auf, dass oftmals ein lärmarmen Belag nicht gesondert gereinigt oder im Winterdienst behandelt wird, was nicht unbedingt dessen Bedürfnissen und Anforderungen entsprach, sondern der Tatsache geschuldet war, dass die Verantwortlichen für den operativen Unterhalt vor Ort nicht die Kenntnis besaßen, ob und wo lärmarme Beläge im Gemeindegebiet eingebaut sind.

Sollte sich die in diesem Projekt entwickelte Kategorisierung als pragmatisch in der An-

<sup>47</sup> Hier wurden im Projekt widersprüchliche Aussagen über eine mögliche Verstopfung der Täler und eine daraus folgende Lärmreduzierung recherchiert (vgl. Kap. III.3).

wendung erweisen, könnten auch weitere qualitative Forschungen mit Zunahme des Alters der Beläge und einer systematischen Erfassung der Erfahrungen ein umfassendes Bild aufzeigen.

Die Untersuchung geeigneter Unterhaltsverfahren für lärmarme Beläge innerorts wird durch die Untersuchung der finanziellen Aspekte abgeschlossen. Bei der Kostenanalyse liegt der Fokus nicht auf den reinen Mehrkosten je m<sup>2</sup> Belag. Vielmehr wurde anhand von drei Beispielgemeinden unterschiedlicher Grösse aufgezeigt, wie sich der Unterhalt lärmarmen Beläge organisatorisch in den kommunalen Unterhalt einfügen lässt und wie sich dadurch die bestehenden Kostenstrukturen entwickeln.

Für den Unterhalt der Beläge der Kategorie 1 „porös“ ergeben sich je Gemeindegrösse Mehrkosten im betrieblichen Unterhalt zwischen 16 bis 19% (Kap. 4.6.11). Organisatorisch lassen sich diese Beläge in die Reinigung und den Winterdienst unter bestimmten Bedingungen einbinden:

- Sie erfordern eine zusätzliche Reinigung. Die herkömmliche Reinigung mit Kehr- saugmaschinen hingegen sollte auf diesen Belägen entfallen bzw. möglichst reduziert werden.
- Im Winterdienst sind Mehrmengen für den Materialverbrauch und Mehrfachfahrten einzuplanen sowie der Verzicht auf Schneeketten.

Für den kleinen baulichen Unterhalt von porösen Belägen der Kategorie 1 liegen die Besonderheiten in der Wasserdurchlässigkeit der Deckschicht. Daher sind lediglich zwei Erhaltungsmassnahmen als wirklich empfehlenswert anzusehen: die „Oberbauerneuerung“ mit lärmarmem Mischgut und das „Rückformen“ (noch keine Erfahrungen in Schweiz), welche möglichst grossflächig bis hin zur Entwässerungsrinne erfolgen sollten.

Der Unterhalt der Kategorien 2, 3 und 4 weist nur geringe Mehrkosten auf, ca. 2 - 3% (Kap. 4.6.11). Organisatorisch lassen sich diese Beläge bei Reinigung und Winterdienst problemlos ohne bestimmte Anforderungen einbinden (ggf. geringe Mehrmengen beim Materialverbrauch im Winterdienst, bei Belägen der Kategorie 2: Fahrtrouten im Winterdienst ohne Schneeketten). Der kleine bauliche Unterhalt von wasserundurchlässigen, lärmarmen Belägen „Kategorien 2 bis 4“ kann weitestgehend wie bei herkömmlichen Belägen erfolgen. Als Mischgut für Belagserneuerungen und Oberbauerneuerung sollte lärmarmes, wasserundurchlässiges Ausgangsmaterial verwenden. Erhaltungsmassnahmen müssen nicht unbedingt grossflächig erfolgen. Risse in der Deckschicht und in tieferen Schichten müssen vergossen werden, um Frostschäden vorzubeugen.

Die Auswertungen dieses Projekts ergeben vereinfachend zwei Aussagen zum betrieblichen Unterhalt (Reinigung, Winterdienst, kleiner baulicher Unterhalt) von lärmarmen Belägen innerorts:

- Lärmarme Beläge der Kategorie 1 „porös“:
  - akustische Wirkung kann durch Unterhalt *nicht* langfristig sichergestellt werden
  - besondere Anforderung bei der Anwendung bestimmter Verfahren
  - teilweise Spezialverfahren/Spezialgeräte erforderlich
  - Unterhalt organisatorisch aufwendiger in Gemeinde zu integrieren
  - relativ hohe Mehrkosten

→ Einsatz innerorts nicht prioritär

- Lärmarme Beläge der Kategorien 2 „wasserundurchlässig, hohlraumreich“ ,3 „wasserundurchlässig, mit grober Textur“ und 4 „wasserundurchlässig, mit feiner Textur“:
  - akustische Wirkung relativ unabhängig vom Unterhalt
  - keine besondere Anforderung bei der Anwendung der bestimmter Verfahren
  - keine Spezialverfahren erforderlich; Spezialgeräte bedingt erforderlich
  - Unterhalt organisatorisch einfach einzubinden
  - geringe Mehrkosten

→ Einsatz innerorts vielversprechend



## Anhänge

<b>I</b>	<b>Kategorisierung lärmarme Beläge</b> .....	<b>118</b>
I.1	Untersuchte Beläge .....	118
I.2	Parameterkombinationen .....	119
<b>II</b>	<b>Unterhaltsverfahren</b> .....	<b>120</b>
<b>III</b>	<b>Reinigung</b> .....	<b>121</b>
III.1	Belagskategorie 1 „Poröse Beläge“ .....	121
III.2	Belagskategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“ .....	124
III.3	Belagskategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ .....	126
III.4	Belagskategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“ .....	128
<b>IV</b>	<b>Winterdienst</b> .....	<b>130</b>
IV.1	Belagskategorie 1 „Poröse Beläge“ .....	130
IV.2	Belagskategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“ .....	134
IV.3	Belagskategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ .....	137
IV.4	Belagskategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“ .....	140
<b>V</b>	<b>Kleiner baulicher Unterhalt</b> .....	<b>143</b>
V.1	Belagskategorie 1 „Poröse Beläge“ .....	143
V.2	Belagskategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“ .....	151
V.3	Belagskategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ .....	156
V.4	Belagskategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“ .....	161

# I Kategorisierung lärmarme Beläge

Untersuchte Beläge Tabelle 65 zeigt die Liste der untersuchten Beläge.

Tabelle 65: Untersuchte Beläge aus dem In- und Ausland

Name des Belages	Ort	Land	Quelle
AC 11	Sargans	Schweiz	[20]
AC 11 Leca Gasperini	Bellinzona TI	Schweiz	[20]
AC MR 4 EOS	Turtmann VS	Schweiz	[20]
AC MR 4 EOS	Turtmann VS	Schweiz	[20]
AC MR 4 Famsa	Turtmann VS	Schweiz	[20]
AC MR 4 Gasperini	Sargans SG	Schweiz	[20]
AC MR 8	Wettingen AG, Stadt Zürich	Schweiz	[162]
AC MR 8 EOS	Zuchwil SO	Schweiz	[20]
AC MR 8 EOS	Sargans SG	Schweiz	[20]
AC MR 8 plus	Kanton AG	Schweiz	[162]
DSH-V	-	Deutschland	[38]
Lärmarm Belag 2-5 mm	Rotterdam	Niederlande	[110]
Lärmarm Belag 2-6 mm	Rotterdam	Niederlande	[110]
LOA 5 D	Düsseldorf	Deutschland	[109]
MA 8 mit Abstreuerung 2/4	Leuggern AG	Schweiz	[20]
MA 8 mit Abstreuerung 3/6	Leuggern AG	Schweiz	[20]
MOA-Leise-4	Goldach SG	Schweiz	[22]
Nanosoft 4	Salvenach FR	Schweiz	[22]
PA 8	Leuggern AG	Schweiz	[20]
PMA 5	-	Deutschland	[38]
SMA 6	Oftringen AG	Schweiz	[22]
SMA 8	Neuendorf SO	Schweiz	[22]
SMA LA 8	-	Deutschland	[56]
SPA 4 Famsa	Turtmann VS	Schweiz	[20]
SPA 8	Leuggern AG	Schweiz	[20]
Twinlayer PA 4+8 0/4	Kreuzlingen TG	Schweiz	[20]
Wecophone 6	Grossgurmels FR	Schweiz	[20]
ZWOPA 8+16 0/8	Ingolstadt	Deutschland	[101]

Zu den Daten einzelner Parameter sind folgende Bemerkungen zu machen:

- Beim Maximum der effektiven Rauigkeitstiefe werden die Werte nach Einbau verwendet.
- Bei einigen sehr wirksamen Belägen sind nicht alle für die Kategorisierung relevanten Daten verfügbar. In diesem Fall wurden Annahmen getroffen (Tabelle 66)

Tabelle 66 : Ergänzte und geschätzte Daten

Name des Belages	Parameter
Nanosoft 4	Der Hersteller des Belages konnte keine Angaben zum Texturspektrum machen [163]. Da der Belag ein eher kleines Grösstkorn hat und sehr feinkörnig und glatt erscheint, wird in dieser Untersuchung ein Wert von < 200 µm für das Maximum der Rauigkeitstiefe angenommen.
Wecophone 6	Bei diesem Belag ist nur der Hohlraumgehalt des Marshall-Prüfkörpers angegeben. Im Schnitt ist der Hohlraumgehalt des Bohrkerns ca. 30% grösser als der Hohlraumgehalt des Marshall-Prüfkörpers (eigene Analyse). Aus dem Hohlraumgehalt des Marshall-Prüfkörpers (7.1%) wird der Hohlraumgehalt des Bohrkerns berechnet (10%). A <sub>max</sub> : Bei der Messung von A <sub>max</sub> ist der Belag ein Jahr älter als die anderen. Über mehrere Jahre weist er ein weitgehend gleichbleibendes Maximum bei ca. 300 µm auf. Daher wird für die Kategorisierung A <sub>max</sub> = 300 µm verwendet.

Die Beläge

- AC MR 4 EOS Turtmann VS

- AC MR 4 Gasperini Sargans
- AC MR 8 EOS Gummigranulat Sargans SG
- AC 11 Leca Gasperini Bellinzona
- MA 8 mit Abstreuerung 3/6
- SPA 4 Famsa Turtmann VS

werden für die Kategorisierung nicht weiter verwendet, da sie sich als nicht dauerhaft lärmarm erwiesen haben [20] oder nicht alle relevanten Daten ermittelt werden konnten.

## I.1 Parameterkombinationen

Tabelle 67 zeigt die Wertebereiche der Parameter der Beläge und die zugehörigen Parameterkombinationen.

Tabelle 67: *Parameterkombinationen der untersuchten Beläge*

Name des Belages		AC 11 Leca Gasperini Bellinzona	AC 11 Sargans SG	AC MR 4 EOS Gummigranulat Turtmann VS	AC MR 4 EOS Turtmann VS	AC MR 4 Famsa Turtmann VS	AC MR 4 Gasperini Sargans	AC MR 8 EOS Gummigranulat Sargans SG	AC MR 8 EOS Zuchwil SO	AC MR 8 plus	AC MR 8	DSH-V 5	LäB NL 2-5 mm	LäB NL 2-6 mm	LOA 5 D	MA 8 mit Abstreuerung 2/4	MA 8 mit Abstreuerung 3/6	MOA-Laise-4	Nanosoft 4	PA 8 Leuggem	PMA 5	SMA 6 (2003)	SMA 8 (2005) SO Neuendorf	SMA LA 8	SPA 4 Famsa Turtmann VS	SPA 8 Leuggem	Twinlayer PA 4+8 0/4	Wecophone 6	ZWOPA 8+16 0/8 Ingolstadt
Parameter																													
Hohlraumgehalt (Bohrkern) (%)	Wertebereich	10.8	?	9	11.4	9.1	16	12	7.9	12	7.5	0	12	12	5	?	?	16	20	24.1	0	0	4	0	13.6	12.6	17.2	ca. 10	25
Hohlraumgehalt (Bohrkern)	Intervall-Nummer	2	4*	3	2	3	1	2	3	2	3	4	2	2	4	4*	4*	1	1	1	1	4	4	2	2	2	1	3	1
Wasserdurchlässigkeit	Wertebereich	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein	gering	nein	nein	ja	nein	ja
Wasserdurchlässigkeit	Intervall-Nummer	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	2	2	1	2	1
Maximum der Rauigkeitstiefe (µm)	Wertebereich	470	230	451	480	330	290	310	350	325	275	210	130	130	110	320	330	150	< 200*	540	0	120	180	330	490	580	300	300	450-600
Maximum der Rauigkeitstiefe	Intervall-Nummer	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	3	1	1	1	2	3	3	2	2	3
Parameterkombination		223	422	322	223	322	122	222	322	222	322	422	221	221	421	422	422	121	121	113	121	421	421	232	223	223	112	322	113

\*) Annahme

## II Unterhaltsverfahren

Tabelle 68 zeigt die Belagsschäden gruppiert nach ihrem Einfluss auf die Ebenheit des Belages und auf die massgebenden Parameter zur Lärmreduktion. Meist geht dies einher mit der Anwendung des gleichen Verfahrens für den kleinen baulichen Unterhalt.

Tabelle 68: Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts in Abhängigkeit vom Schadensbild für alle Schadensbilder

Schadensart gem. Norm VSS SN 640 731b	betroffene Parameter										Verfahren	
	Schadensbild	Schadensgruppe	Ebenheit betroffen?	Rauigkeits-tiefe	Wasser-durch-lässigkeit	Hohlraum-gehalt	(Anspritzen mit Bitumenemulsion und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen; Oberflächen-behandlung	Ausbessern/Verfüllen mit Asphaltmischgut (kalt oder heiss)	Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen	örtliche Belags-erneuerung oder Oberbau-erneuerung	Abfräsen von Unebenheiten	Aufräumen
Oberflächenglätte	Polieren	A	nein	x	x	x	def.		def.		prov. & def.	-
Oberflächenglätte	Schwitzen	A	nein	x	x	x	prov. & def.		def.			-
Belagsschäden	Abrieb	B	nein	x	x	x	def.		evtl.			x
Belagsschäden	Ausmagerung/Absanden	B	nein	x	x	x	def.		x			x
Belagsschäden	Kornausbrüche	B	nein	x	x	x	def.		x			x
Strukturelle Schäden	Längsrisse	C	nein	-	x	-		def. (& prov.)	x			bedingt*
Strukturelle Schäden	Neizrisse	C	nein	-	x	-	prov		def.			x
Belagsschäden	Offene Nähte	C	nein	-	x	-			x			bedingt
Belagsschäden	Querrisse	C	nein	-	x	-		def. (& prov.)	x			bedingt
Belagsschäden	Wildre Risse	C	nein	-	x	-		def. (& prov.)	x			bedingt
Belagsschäden	Abblösungen	D	ja	x	x	-			x			x
Belagsschäden	Schlaglöcher	D	ja	x	x	-		prov.	def.			x
Belagsverformungen	Spurrinnen	E	ja	x	x	x		prov.	def.			x
Belagsverformungen	Aufwölbungen	E	ja	x	x	x		prov. & def.	def.	prov.		x
Belagsverformungen	Weilblechverformungen	E	ja	x	x	x		prov. & def.	def.	prov.		x
Belagsverformungen	Schubverformungen	E	ja	x	x	x		prov. & def.	def.	prov.		x
Strukturelle Schäden	Abgedrückte Ränder	E	ja	x	x	x		prov. & def.	def.	prov.		x
Strukturelle Schäden	Anrisse von Setzungen	E	ja						def.			-
Strukturelle Schäden	Belagsrandrisse	E	ja					prov. oder def.	def.			-
Strukturelle Schäden	Frosthebungen	E	ja					prov. oder def.	def.			-
Strukturelle Schäden	Setzungen/Ensenkungen	E	ja	?	x	-	prov.	prov. & def.	def.			-

Legende:  
 A Oberflächenglätte  
 B Leichter Materialverlust  
 C Risse, Nähte (ohne Unebenheit)  
 D Schwere Materialverluste  
 E Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten, Belagsverformungen

prov. = provisorisch  
 def. = definitiv  
 \* bei oberflächlichen Rissen



### III Reinigung

#### III.1 Belagskategorie 1 „Poröse Beläge“

Reinigung		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
loser Schmutz (Reifenabrieb, Laub, PET-Flaschen) <sup>48</sup>	<b>kehren und saugen</b>	unklar	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht empfohlen, da Schmutz in die Poren gewischt wird [100]</li> <li>rotierende Bürsten können OPAs schädigen [100]</li> <li>Trockenreinigung ist der Nassreinigung aus wirtsch. Gründen vorzuziehen ([73], S.2)</li> </ul>	Verschmutzung wird evtl. nicht ganz entfernt [54]	regelmässig wegen Schmutzeintrag aus angrenzender Grünfläche [101]	nicht empfehlenswert (akustisch ungünstig; betrieblich ggf. erforderlich, im Bewusstsein, dass dadurch feine Verschmutzung in die Poren gewischt wird)
	<b>sprengen, schwemmen</b>	unklar	bedingt empfohlen ([73], S.2)	nicht sinnvoll [87]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
festsitzender Schmutz, lokal und flächig (z.B. Lehm, Kadaver, Exkremente, Fruchtfall); verstopfte Poren	<b>kehren und saugen</b>	unklar	rotierende Bürsten können OPAs schädigen [100]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nach vorherigem Einweichen mit herkömmlicher Kehr- saugmaschine möglich [54]</li> <li>nach vorherigem Abkratzen möglich [103]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen</b>	unklar	-	nicht sinnvoll [87]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert

<sup>48</sup> Feiner loser Schmutz wird bei den Belägen dieser Kategorie zu festsitzendem Schmutz, da er irgendwann in die Täler gerät. Loser Schmutz umfasst bei diesen Belägen daher groben Schmutz wie Laub oder PET-Flaschen.

Reinigung		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	teilw. günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung Wasser gefährdender Stoffe und/oder <u>Extremschmutz</u> [104]</li> <li>Wirksamkeit der saugenden Verfahren begrenzt ([2], S. 207)</li> <li>Hochdruckreinigung mit Vorsicht wg. Gefahr des Partikelverlusts [100]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>regelmässige Reinigung in kurzen Abständen [105]</li> <li>möglicherweise bessere Entfernung von feststehendem Schmutz durch Wasserstrahl als durch Bürsten [106]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1x/Jahr mit Saug-Spülfahrzeug nach vorherigem Einweichen mit Wasser (durch Dritte) [101]</li> <li>Anschaffung eines Gerätes wird erwogen [102]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	teilw. günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung Wasser gefährdender Stoffe und/oder <u>Extremschmutz</u> [104]</li> <li>Wirksamkeit der saugenden Verfahren begrenzt ([2], S. 207)</li> <li>rotierende Bürsten können OPAs schädigen [100]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aus technischer Sicht möglicherweise besser als Hochdruck, da Belag sanfter behandelt wird [72]</li> <li>empfohlen ("für Extremschmutzbeseitigung" [84])</li> </ul>	wird erwogen [102]	bedingt empfehlenswert
Ölspur	<b>kehren und saugen</b> (Ölbindemittel)	ungünstig	Ölbindemittel in Pulverform bei diesem Belag nicht empfohlen, verstopft Poren ([52], S.10) rotierende Bürsten können OPAs schädigen [100]	Ölbindemittel mit Kehrmaschine aufnehmen birgt Risiko (Explosionsgefahr wg. Unterdruck in der Kammer) [54]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen</b> (Ölbindemittel)	ungünstig	Ölbindemittel in Pulverform bei diesem Belag nicht empfohlen, verstopft Poren ([52], S.10)	-	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert

Reinigung		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	unklar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geeignetes Verfahren [107]</li> <li>• Nassreinigung mit Wiederaufnahme ist notwendig [108]</li> <li>• Wirksamkeit der saugenden Verfahren begrenzt ([2], S. 207)</li> <li>• Hochdruckreinigung mit Vorsicht wg. Gefahr des Partikelverlusts [100]</li> <li>• empfohlen ([52], S.10; [45], S. 83)</li> <li>• geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extrem-schmutz [104]</li> </ul>	bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Schrubbsaugverfahren [106]	vorstellbar; bis jetzt nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	unklar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geeignetes Verfahren [107]</li> <li>• Nassreinigung mit Wiederaufnahme ist notwendig [108]</li> <li>• Wirksamkeit der saugenden Verfahren begrenzt ([2], S. 207)</li> <li>• rotierende Bürsten können OPAs schädigen [100]</li> <li>• geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extrem-schmutz [104]</li> </ul>	bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Hochdruckverfahren [106]	vorstellbar; bis jetzt nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert
Allgemein			<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine ausreichenden Erfahrungen für die Reinigung innerorts [52]</li> <li>• regelmässige Spezialreinigung ca. alle zwei Jahre ([45], S.38)</li> <li>• Reinigung 1 - 2 mal im Jahr ([45], S.83)</li> <li>• „Reinigung nur bei Bedarf, da Bitumen ausgewaschen wird“ ([52], S.10)</li> <li>• Reinigung innerorts nötig (OPA, ([17], S.6); PMA ([17], S.21))</li> <li>• durch geringere Geschwindigkeiten innerorts schwache Selbstreinigung ([38], S.15)</li> </ul>	Forschungsprojekt für die Reinigung von offenporigen Belägen wäre notwendig [105]	Fruchtfall, Kadaver etc. werden von Hand aufgesammelt [102]	

### III.2 Belagskategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“

Reinigung		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
loser Schmutz (Abrieb, Laub, PET-Flaschen)	<b>kehren und saugen</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen (wie für herkömmliche Beläge) [71]</li> <li>Trockenreinigung ist der Nassreinigung aus wirtsch. Gründen vorzuziehen ([73], S.2)</li> </ul>	wie bei herkömmlichem Belag [109]	<ul style="list-style-type: none"> <li>angewendet ( 2x / Jahr) [110]</li> <li>regelmässige Reinigung, 4-5 x / Jahr [111]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen (wie für herkömmliche Beläge) [71]</li> <li>bedingt empfohlen ([73], S.2)</li> </ul>	bei kleineren Flächen toleriert, wünschenswert ist aber die Aufnahme des Schmutzes [103]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
festsitzender Schmutz, lokal und flächig (z.B. Lehm, Kadaver, Exkremente, Fruchtfall); verstopfte Poren	<b>kehren und saugen</b>	neutral	nicht empfohlen -> Nassreinigung ([73], S.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>nach vorherigem Einweichen mit herkömmlicher Kehrsaugmaschine möglich [54]</li> <li>nach vorherigem Abkratzen möglich [103]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Erfahrung [110]</li> <li>in Kombination mit Hochdruck oder Abkratzen [112]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen</b>	teilweise günstig	bedingt empfohlen ([73], S.2)	bei kleineren Flächen toleriert, wünschenswert ist aber die Aufnahme des Schmutzes [103]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung Wasser gefährdender Stoffe und/oder <u>Extremschmutz</u> [104]	möglicherweise bessere Entfernung von festsitzendem Schmutz durch Wasserstrahl als durch Bürsten [106]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung Wasser gefährdender Stoffe und/oder <u>Extremschmutz</u> [104]	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen ("für Extremschmutzbeseitigung" [84])</li> <li>aus technischer Sicht möglicherweise besser als Hochdruck, da Belag sanfter behandelt wird [72]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>vorstellbar, aber bis jetzt nicht angewendet [110]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
Ölspur	<b>kehren und saugen</b> (Ölbindemittel)	günstig	geeignetes Verfahren [113]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ist allgemein in der Schweiz üblich</li> <li>geeignetes Verfahren, Explosionsgefahr beachten [54]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>kam auf Nanosoft bis jetzt noch nicht vor</li> <li>angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert

Reinigung		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>sprengen, schwemmen</b> (Ölbindemittel)	günstig	geeignetes Verfahren [108]	ist allgemein in der Schweiz üblich [114]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren [113]</li> <li>geeignetes Verfahren [107]</li> <li>geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extremschmutz [104]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nassreinigung ist gründlicher als Abbinden mit Ölbindemittel [114]</li> <li>bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Schrubbsaugverfahren [106]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nassreinigung von Ölspuren ist bekannt, wird aber nicht durchgeführt [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren [113]</li> <li>geeignetes Verfahren [107]</li> <li>geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extremschmutz [104]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Hochdruckverfahren [106]</li> <li>Nassreinigung ist gründlicher als Abbinden mit Ölbindemittel [114]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nassreinigung von Ölspuren ist bekannt, wird aber nicht durchgeführt [111]</li> <li>vorstellbar, aber bis jetzt nicht angewendet [110]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
Allgemein				gleicher Unterhalt wie für einen Belag des Typs AC, AC MR oder SMA [115]	keine Besonderheiten bzgl. Reinigung [111]	

### III.3 Belagskategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“

Reinigung		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustands- änderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewer- tung (7)
loser Schmutz (Abrieb, Laub, PET- Flaschen)	<b>kehren und saugen</b>	teilweise günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen ([19], S.30)</li> <li>Trockenreinigung ist der Nassrei- nigung aus wirtsch. Gründen vor- zuziehen ([73], S.2)</li> </ul>	anwendbar und wirksam, vollständige Reini- gung der Täler nicht erwiesen [54]	alle zwei Wochen; im Herbst mind. 1 x/ Woche [116]	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwem- men</b>	teilweise günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht explizit erwähnt [19]</li> <li>bedingt empfohlen ([73], S.2)</li> </ul>	bei kleineren Flächen toleriert, wünschens- wert ist aber die Aufnahme des Schmutzes [103]	<ul style="list-style-type: none"> <li>wird nicht angewendet [116]</li> <li>wird 2x / Jahr ange- wendet [117]</li> </ul>	empfehlenswert
festsitzen- der Schmutz, lokal und flächig (z.B. Lehm, Kadaver, Exkremen- te, Frucht- fall)	<b>kehren und saugen</b>	neutral	nicht empfohlen -> Nassreinigung ([73], S.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>nach vorherigem Einweichen mit her- kömmlicher Kehrsaugmaschine möglich [54]</li> <li>nach vorherigem Abkratzen möglich [103]</li> </ul>	Verursacher muss Entfer- nung veranlassen, ist nicht genau bestimmt [116]	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwem- men</b>	teilweise günstig	bedingt empfohlen ([73], S.2)	bei kleineren Flächen toleriert, wünschens- wert ist aber die Aufnahme des Schmutzes [103]	Verursacher muss Entfer- nung veranlassen, ist nicht genau bestimmt [116]	empfehlenswert
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren [20] geeignetes Verfahren gem. den Be- stimmungen für die Beseitigung Wasser- gefährdender Stoffe und/oder <u>Extrem- schmutz</u> [104]	möglicherweise bessere Entfernung von festsitzendem Schmutz durch Wasserstrahl als durch Bürsten [106]	Verursacher muss Entfer- nung veranlassen, ist nicht genau bestimmt [116]	empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfah- ren</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren gem. den Be- stimmungen für die Beseitigung Wasser- gefährdender Stoffe und/oder <u>Extrem- schmutz</u> [104]	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen ("für Extremschmutzbeseiti- gung" [84])</li> <li>aus technischer Sicht möglicherweise besser als Hochdruck, da Belag sanfter behandelt wird [72]</li> </ul>	Verursacher muss Entfer- nung veranlassen, ist nicht genau bestimmt [116]	empfehlenswert
Ölspur	<b>kehren und saugen (Ölbindemittel)</b>	teilweise günstig	geeignetes Verfahren [113]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ist allgemein in der Schweiz üblich</li> <li>geeignetes Verfahren, Explosionsgefahr beachten [54]</li> </ul>	wird prinzipiell angewendet [116] [118]	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwem- men</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren [108]	ist allgemein in der Schweiz üblich [114]	nicht angewendet [116]	empfehlenswert

Reinigung		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustands- änderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	(Ölbindemittel)					
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren [113]</li> <li>geeignetes Verfahren [107]</li> <li>geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extremschmutz [104]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nassreinigung ist gründlicher als Abbinden mit Ölbindemittel [114]</li> <li>bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Schrubbsaugverfahren [106]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>wird nicht angewendet [116]</li> <li>Anwendung geplant (Fahrzeug bestellt) [118]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren [113]</li> <li>geeignetes Verfahren [107]</li> <li>geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extremschmutz [104]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>aus technischer Sicht empfohlen, da Belag sanfter behandelt wird als bei Hochdruckverfahren [72] [88] [84]</li> <li>Nassreinigung ist gründlicher als Abbinden mit Ölbindemittel [114]</li> <li>bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Hochdruckverfahren [106]</li> </ul>	wird nicht angewendet [116] [118]	empfehlenswert
Allgemein			<ul style="list-style-type: none"> <li>Regelmässige Reinigung ist wichtig, um Lärmreduktion zu erhalten ([19], S.30).</li> <li>Der AC MR 8 wird als Nachfolger des SMA 8 verwendet. MR- und SMA-Beläge haben dieselben Eigenschaften und es gelten die gleichen Einbautechniken ([119], S.20).</li> </ul>		wird behandelt wie andere Beläge in der Gemeinde auch [116] [117]	

### III.4 Belagskategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“

Reinigung		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
loser Schmutz (Abrieb, Laub, PET-Flaschen)	<b>kehren und saugen</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen (wie für herkömmliche Beläge) [71]</li> <li>Trockenreinigung ist der Nassreinigung aus wirtsch. Gründen vorzuziehen ([73], S.2)</li> </ul>	wie bei herkömmlichem Belag [109]	wird angewendet; Belag reagiert neutral [120]	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen (wie für herkömmliche Beläge) [71]</li> <li>bedingt empfohlen ([73], S.2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei kleineren Flächen toleriert, wünschenswert ist aber die Aufnahme des Schmutzes [103]</li> <li>wie bei herkömmlichem Belag [109]</li> </ul>	nicht angewendet auf Fahrbahnen [121], [120]	empfehlenswert
festsitzender Schmutz, lokal und flächig (z.B. Lehm, Kadaver, Exkrememente, Fruchtfall); verstopfte Poren	<b>kehren und saugen</b>	neutral	nicht empfohlen -> Nassreinigung ([73], S.2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>nach vorherigem Einweichen mit herkömmlicher Kehr- und Saugmaschine möglich [54]</li> <li>nach vorherigem Abkratzen möglich [103]</li> </ul>	-	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen</b>	teilweise günstig	bedingt empfohlen ([73], S.2)	bei kleineren Flächen toleriert, wünschenswert ist aber die Aufnahme des Schmutzes [103]	nicht angewendet auf Fahrbahnen [121], [120]	empfehlenswert
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung Wasser gefährdender Stoffe und/oder <u>Extremschmutz</u> [104]	möglicherweise bessere Entfernung von festsitzendem Schmutz durch Wasserstrahl als durch Bürsten [106]	angewendet [121]	empfehlenswert
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	teilw. günstig	geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung Wasser gefährdender Stoffe und/oder <u>Extremschmutz</u> [104]	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen ("für Extremschmutzbeseitigung" [84])</li> <li>aus technischer Sicht möglicherweise besser als Hochdruck, da Belag sanfter behandelt wird [72]</li> </ul>	nicht angewendet [122]	empfehlenswert
Ölspur	<b>kehren und saugen (Ölbindemittel)</b>	günstig	geeignetes Verfahren [113]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ist allgemein in der Schweiz üblich</li> <li>geeignetes Verfahren, Explosionsgefahr beachten [54]</li> </ul>	wird angewendet; Belag reagiert neutral [120]	empfehlenswert
	<b>sprengen, schwemmen (Ölbindemittel)</b>	günstig	geeignetes Verfahren [108]	ist allgemein in der Schweiz üblich [114]	nicht angewendet [120]	empfehlenswert
	<b>Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren [113]</li> <li>geeignetes Verfahren [107]</li> <li>geeignetes Verfahren gem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nassreinigung ist gründlicher als Abbinden mit Ölbindemittel [114]</li> <li>bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit</li> </ul>	bei Ölspur angewendet [122]	empfehlenswert



Reinigung		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustands- änderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extrem-schmutz [104]	Schrubbsaugverfahren [106]		
	<b>Schrubbsaugverfahren</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geeignetes Verfahren [113]</li> <li>• geeignetes Verfahren [107]</li> <li>• geeignetes Verfahren gem. den Bestimmungen für die Beseitigung <u>Wasser gefährdender Stoffe</u> und/oder Extrem-schmutz [104]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nassreinigung ist gründlicher als Abbinden mit Ölbindemittel [114]</li> <li>• bei Ölspur wahrscheinlich gleichwertig mit Hochdruckverfahren [106]</li> </ul>	nicht angewendet [122]	empfehlenswert
Allgemein				<ul style="list-style-type: none"> <li>• gleicher Unterhalt wie bei herkömmlichem Belag [109]</li> <li>• Der LOA 5 D wurde ganz gezielt nahe an konventionellen Belägen entwickelt, mit Parametern zwischen einem AC und einem SMA, so dass der gleiche Unterhalt wie für die konventionellen Beläge zur Anwendung kommt [109].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behandlung gleich wie bei einem SMA oder AC [120]</li> <li>• unproblematisch zu reinigen, keine Unterschiede zu anderen Belägen [121]</li> </ul>	

## IV Winterdienst

### IV.1 Belagskategorie 1 „Poröse Beläge“

Winterdienst		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
Schnee	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen ([61], S.11 und 17) → zusätzliche Einsatz von tauenden Streustoffen während anhaltenden Schneefalls sinnvoll</li> <li>Pflug mit Metallschienen und falsch justierten oder defekten Schürfleisten können den Belag schädigen ([52], S.11)</li> </ul>	empfohlen (anstelle von Salzen) [89]	angewendet [125]	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur bei starkem Schneefall empfohlen ([61], S.15)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht empfohlen ([45], S.89)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
Schneeglätte	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	Als erster Schritt empfohlen; zweiter Schritt ist Feuchtsalz streuen ([61], S.17)	empfohlen [89]	angewendet [125]	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	Trockensalz kann in den Belag einsickern „Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89]	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung nach mech. Räumung</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es</li> </ul>	besser als Trockensalz, kann aber auch in den Belag eindringen [123]	Angewendet ([101], S.20): <ul style="list-style-type: none"> <li>aus 70 % Salz und 30 % Salzlösung</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)

Winterdienst		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)		<ul style="list-style-type: none"> <li>max. 15 Gramm je Quadratmeter</li> </ul>	
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht empfohlen ([45], S.89)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
Reifglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>kann in den Belag einsickern</li> <li>„Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89])</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	besser als Trockensalz, kann aber in den Belag eindringen [123]	angewendet ([101], S.20): <ul style="list-style-type: none"> <li>aus 70 % Salz und 30 % Salzlösung</li> <li>max. 15 Gramm je Quadratmeter</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen ([89], [123]) guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht empfohlen ([45], S.89)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> <li>bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
Eisglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>kann in den Belag einsickern</li> <li>„Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89])</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	besser als Trockensalz, kann in den Belag eindringen [123]	angewendet ([101], S.20): <ul style="list-style-type: none"> <li>aus 70 % Salz und 30 % Salzlösung</li> <li>max. 15 Gramm je Quadratmeter</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)

Winterdienst		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht empfohlen [45]</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> <li>bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
Glatteis	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>kann in den Belag einsickern</li> <li>„Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89])</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	Besser als Trockensalz, dringt aber auch in den Belag ein [123]	angewendet ([101], S.20): <ul style="list-style-type: none"> <li>aus 70 % Salz und 30 % Salzlösung</li> <li>max. 15 Gramm je Quadratmeter</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht empfohlen ([45], S.89)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert
<b>Allgemein</b>	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>„Zusatzaufwände beim Winterdienst beschränken sich auf wenige Extremsituationen“ [128]</li> <li>kein Splitt oder Sand wegen Verstopfung der Hohlräume</li> <li>ZWOPA: Salzmenge zwischen OPA und dichtem Asphalt; 7 - 14 g/m<sup>2</sup> ([19], S.30)</li> <li>OPA: ca. 14 Gramm/m<sup>2</sup> ([19], S.30)</li> <li>grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> <li>Aufgrund der grösseren Oberfläche,</li> </ul>	Art des Belages ist kein Thema bei der Bestellung eines Räumfahrzeuges	<ul style="list-style-type: none"> <li>Winterdienst wie für Brücken (präventiv) ([101], S.18)</li> <li>verstärkte Kontrollen im Winter ([101], S.20)</li> <li>keine zusätzlichen Streueinsätze, gleich viel Streumenge wie auf anderen Strassen in Ingolstadt ([101], S.20)</li> </ul>	-

Winterdienst		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16		Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			<p>die schneller auskühlt, sind schnellere und häufigere Massnahmen gegen Glättebildung erforderlich (mehr Salz, mehr Fahrten) ([129], S.15)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Um Salz zu sparen, ist es sinnvoll, möglichst viel Schnee und Eis mechanisch zu räumen ([61], S.17).</li> </ul>			

## IV.2 Belagskategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“

Winterdienst		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
Schnee	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen ([61], S.11 und 17)</li> <li>→ zusätzliche Verfahren gegen Schnee und Glätte notwendig</li> <li>Pflug mit Metallschienen und falsch justierten oder defekten Schürfleisten können den Belag evtl. schädigen (siehe bei Kategorie 1)</li> </ul>	empfohlen (anstelle von Salzen) [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	bei starkem Schneefall empfohlen ([61], S.15)	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ausschliesslich Trockensalz und nur kurativ [111]</li> <li>angewendet 15-20 g/m<sup>2</sup> [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung nach mech. Räumung ([61], S.17)</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	nicht empfohlen [61]	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	neutral (ungünstig im Betrieb)	im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126].	nicht empfohlen [127]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	nicht empfehlenswert
Schnee-glätte	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	Als erster Schritt empfohlen; zweiter Schritt ist Feuchtsalz streuen ([61], S.17)	empfohlen [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	allenfalls nach mechanischer Räumung [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>ausschliesslich Trockensalz und nur kurativ [111]</li> <li>angewendet 15-20 g/m<sup>2</sup> [110]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung nach mech. Räumung ([61], S.17)</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	allenfalls nach mechanischer Räumung [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	allenfalls nach mechanischer Räumung [89]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> </ul>	empfehlenswert

Winterdienst		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
					• nicht angewendet [110]	(präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126].	nicht empfohlen [127]	• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	nicht empfehlenswert
Reifglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggekehrt werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	-	• ausschliesslich Trockensalz und nur kurativ [111] • angewendet 15-20 g/m <sup>2</sup> [110]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)	-	• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen [61]	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild [89]	• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Splitt streuen</b>	neutral (ungünstig im Betrieb)	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> <li>bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	nicht empfehlenswert
Eisglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggekehrt werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	-	• ausschliesslich Trockensalz und nur kurativ [111] • angewendet 15-20 g/m <sup>2</sup> [110]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)		• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen [61]	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> <li>bei Eis- und Reifglätte nahezu</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	• nicht angewendet [111] • nicht angewendet [110]	nicht empfehlenswert

Winterdienst		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			wirkungslos ([61], S.19)			
Glatteis	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>ausschliesslich Trockensalz und nur kurativ [111]</li> <li>angewendet 15-20 g/m<sup>2</sup> [110]</li> </ul>	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)		<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen [61]	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126].	nicht empfohlen [127]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [111]</li> <li>nicht angewendet [110]</li> </ul>	nicht empfehlenswert
<b>Allgemein</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>wie für Kategorie 4 = wie für herkömmliche Beläge</li> <li>Um Salz zu sparen, ist es sinnvoll, möglichst viel Schnee und Eis mechanisch zu räumen ([61], S.17).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gleich wie für einen Belag des Typs AC, AC MR oder SMA [115]</li> <li>Scherbeanspruchungen, Schneeketten möglichst vermeiden</li> </ul>	Winterdienst durch Dritte: es gibt keine Vorschriften bzgl. Schneeketten [111]	



### IV.3 Belagskategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“

Winterdienst			Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm			
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
Schnee	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	empfohlen ([61], S.11 und 17) → zusätzliche Verfahren gegen Schnee und Glätte notwendig	empfohlen (anstelle von Salzen) [89]	• angewendet [116]	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	bei starkem Schneefall empfohlen ([61], S.15)	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	• angewendet [116]	empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	• nicht angewendet [116]	empfehlenswert
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	• nicht angewendet [116]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126].	nicht empfohlen [127]	• wird möglichst vermieden, allenfalls Trottoirs oder Quartierstrassen [117]	nicht empfehlenswert
Schneeglätte	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	Als erster Schritt empfohlen; zweiter Schritt ist Feuchtsalz streuen ([61], S.17)	1. Priorität empfohlen ([89])	• angewendet [116]	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggekehrt werden ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	Trockensalz kann in die Täler einsickern „Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89])	• angewendet [116]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung nach mech. Räumung</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>empfohlen; grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	besser als Trockensalz, dringt aber auch in den Belag / in die Täler ein [123]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (2. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (1. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	im Vergleich zu Salz ökologisch und	nicht empfohlen [127]	wird möglichst vermieden, allenfalls	nicht

Winterdienst			Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich	Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			wirtschaftlich nicht vertretbar [126].		Trottoirs oder Quartierstrassen [117]	empfehlenswert
Reifglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggekehrt werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	Trockensalz kann in die Täler einsickern „Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89])	angewendet [116]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>empfohlen; grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	besser als Trockensalz, kann aber in den Belag eindringen [123]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (2. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (1. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126] bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)	nicht empfohlen [127]	wird möglichst vermieden, allenfalls Trottoirs oder Quartierstrassen [117]	nicht empfehlenswert
Eisglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggekehrt werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f.)	Trockensalz kann in die Täler einsickern „Je mehr Oberfläche, desto mehr Salz ist notwendig“ [89])	angewendet [116]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>empfohlen; grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	besser als Trockensalz, dringt aber auch in den Belag ein [123]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (2. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (1. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv und kurativ)

Winterdienst			Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich	Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> <li>bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	wird möglichst vermieden, allenfalls Trottoirs oder Quartierstrassen [117]	nicht empfehlenswert
Glatteis	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggekehrt werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f)	-	angewendet [116]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> <li>empfohlen; grobes Streusalz verwenden, damit es an der Oberfläche bleibt ([19], S.30)</li> </ul>	besser als Trockensalz, kann aber in den Belag eindringen [123]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (2. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	vorbeugend empfohlen ([61], S.16)	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	<ul style="list-style-type: none"> <li>nicht angewendet [116]</li> <li>angewendet (1. Priorität) [117]</li> </ul>	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126].	macht als Verfahren keinen Sinn [127]	wird möglichst vermieden, allenfalls Trottoirs oder Quartierstrassen [117]	nicht empfehlenswert
<b>Allgemein</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>präventive Streuung ist bei diesen Belägen sehr wichtig ([19], S.30)</li> <li>Salzmenge liegt zwischen dichter Deckschicht und OPA ([19]; S.30)</li> <li>Beläge mit grober Textur frieren schneller zu ([19]; S.31)</li> <li>Um Salz zu sparen, ist es sinnvoll, möglichst viel Schnee und Eis mechanisch zu räumen ([61], S.17).</li> </ul>		präventive Streuung [110]	

#### IV.4 Belagskategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“

Winterdienst		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
Schnee	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen [90]</li> <li>empfohlen ([61], S.11 und 17) → zusätzliche Verfahren gegen Schnee und Glätte notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>empfohlen (anstelle von Salzen) [89]</li> <li>wie bei herkömmlichem Belag [109]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsatz bei allen Schneehöhen (Schnee unwahrscheinlicher als Glätte) [120]</li> <li>Räumung nach Strassenkategorie (Winterdienstkategorie), nicht nach Belag [120]</li> </ul>	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	bei starkem Schneefall empfohlen ([61], S.15)	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	in speziellen Lagen, bei hohen Schneelagen [121]	empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv empfohlen [90]</li> <li>kurativ empfohlen [90]</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	nicht angewendet [121]	empfehlenswert
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	präventiv empfohlen [90]	Salzen bei Schnee grundsätzlich nicht empfohlen wegen hohem Salzverbrauch [89]	nicht angewendet [121]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögliches Verfahren (FGSV)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur, wenn Salz ausgeht [121]</li> <li>angewendet [120]</li> </ul>	nicht empfehlenswert
Schneeglätte	<b>mechanische Räumung</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Als erster Schritt empfohlen; zweiter Schritt ist Feuchtsalz streuen ([61], S.17)</li> <li>kurativ empfohlen [90]</li> </ul>	empfohlen ([89])	nicht angewendet [121]	empfehlenswert
	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f)	allenfalls nach mechanischer Räumung [89]	in speziellen Lagen, bei hohen Schneelagen [121]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv empfohlen [90]</li> <li>kurativ empfohlen [90]</li> <li>Anwendung nach mech. Räumung ([61], S.17)</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	allenfalls nach mechanischer Räumung [89]	hauptsächlich angewandtes Verfahren bei Glätte [121]	empfehlenswert

Winterdienst		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorbeugend empfohlen ([61], S.16)</li> <li>präventiv empfohlen [90]</li> </ul>	allenfalls nach mechanischer Räumung [89]	auf speziellen Strecken (Brücken, Hauptverkehrsachsen) [121]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögliches Verfahren (FGSV)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nur, wenn Salz ausgeht [121]	nicht empfehlenswert
Reifglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f)	-	in speziellen Lagen, bei hohen Schneelagen [121]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv empfohlen [90]</li> <li>kurativ empfohlen [90]</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	besser als Trockensalz [123]	hauptsächlich angewandtes Verfahren bei Glätte [121]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv empfohlen [90]</li> <li>kurativ empfohlen (FGSV-Blatt von Hr. Wallner)</li> <li>vorbeugend empfohlen ([61], S.16)</li> </ul>	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	auf speziellen Strecken (Brücken, Hauptverkehrsachsen) [121]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei dieser Art von Glätte bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nur, wenn Salz ausgeht [121]	nicht empfehlenswert
Eisglätte	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f)	-	in speziellen Lagen, bei hohen Schneelagen [121]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv empfohlen [90]</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	besser als Trockensalz [123]	hauptsächlich angewandtes Verfahren bei Glätte [121]	empfehlenswert (präventiv und kurativ)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	präventiv empfohlen [90]	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche	auf speziellen Strecken (Brücken, Hauptverkehrsachsen) [121]	empfehlenswert (präventiv)

Winterdienst		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
				che und gutem Streubild ([89], [123])		
	<b>Splitt streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei dieser Art von Glätte bei Eis- und Reifglätte nahezu wirkungslos ([61], S.19)</li> <li>im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126]</li> </ul>	nicht empfohlen [127]	nur, wenn Salz ausgeht [121]	nicht empfehlenswert
Glätteis	<b>Trockensalz streuen</b>	neutral	Trockensalz kann grundsätzlich weggeweht werden kann ([61], S.15); besser Feuchtsalz ausbringen ([61], S.15f)	-	in speziellen Lagen, bei hohen Schneelagen [121]	bedingt empfehlenswert
	<b>Feuchtsalz streuen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv empfohlen (FGSV-Blatt von Hr. Wallner)</li> <li>gut bei Schnee und Glätte ([61], S.16)</li> </ul>	besser als Trockensalz [123]	hauptsächlich angewandtes Verfahren bei Glätte [121]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Sole sprühen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>vorbeugend empfohlen ([61], S.6.1)</li> <li>präventiv empfohlen [90]</li> </ul>	ideal im Vergleich zu Trockensalz und Feuchtsalz wegen guter Haftung an der Fahrbahnoberfläche und gutem Streubild ([89], [123])	auf speziellen Strecken (Brücken, Hauptverkehrsachsen) [121]	empfehlenswert (präventiv)
	<b>Splitt streuen</b>	ungünstig	mögliches Verfahren (FGSV) im Vergleich zu Salz ökologisch und wirtschaftlich nicht vertretbar [126].	nicht empfohlen [127]	nur, wenn Salz ausgeht [121]	nicht empfehlenswert
<b>Allgemein</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>wie für herkömmliche Beläge</li> <li>(Salzmengen siehe [90])</li> <li>Um Salz zu sparen, ist es sinnvoll, möglichst viel Schnee und Eis mechanisch zu räumen ([61], S.17).</li> </ul>	Der LOA 5 D wurde ganz gezielt nahe an konventionellen Belägen entwickelt, mit Parametern zwischen einem AC und einem SMA, so dass der <u>gleiche Unterhalt wie für die konventionellen Beläge</u> zur Anwendung kommt [109].	Behandlung gleich wie bei einem SMA oder AC [120].		

## V Kleiner baulicher Unterhalt

### V.1 Belagskategorie 1 „Poröse Beläge“

Aufgrund des Einflusses der Wasserdurchlässigkeit auf den Betrieb werden „örtliche Belagserneuerung“ und „Oberbauerneuerung“ bei dieser Belagskategorie separat behandelt. Dabei wird „lärmarm“ gleichgesetzt mit „wasserdurchlässig“ und „nicht lärmarm“ mit „wasserundurchlässig“.

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 1 anhand von ZWOPA 8/16 Hohlraumgehalt > 16 Vol.-% (ggf. > 10 Vol.-%), wasserdurchlässig (an Oberfläche), Rauigkeitstiefe > 450 µm (ggf. > 300 µm)				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
Oberflächenglätte	(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	bei L&B nicht empfohlen [57]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig)
	Örtl. Belagserneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig; betrieblich evtl. sinnvoll; Wasserabfluss um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)
	Oberbauerneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; Wasserabfluss ist gewährleistet)
	Örtl. Belagserneuerung (lärmarm, wasserdurchlässig)	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; betrieblich evtl. nicht sinnvoll: Wasserabfluss aus Reparaturstelle heraus und herum muss gewährleistet sein)
	Oberbauerneuerung (lärmarm, wasserdurchlässig)	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; Wasserabfluss ist gewährleistet)

	<b>Aufrauen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> <li>Bei bituminösen Belägen kann bei den meisten Verfahren zum Aufrauen eine Erhöhung des Rollgeräuschpegels nicht ausgeschlossen werden ([132], S. 7,11,13).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gute Erfahrung mit Aufrauen mittels ("diamond cutting") bei OPAs und ZWOPAs in NL [133]</li> <li>keine Erfahrung mit Aufrauen von OPAs in der Schweiz ([134], [135])</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; wenig Erfahrung mit dieser Art von Belägen)
<b>Leichte Materialverluste</b>	<b>(Anspritzen und Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen)</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abstumpfung durch Abstreuen nicht empfohlen ([101], S.13)</li> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei L&amp;B nicht empfohlen [57]</li> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Material, da der Rand mit Bitumen angestrichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch nicht notwendig (Kornausbrüche gelten als akustisch nicht relevant (4.2.3.1)), akustisch ungünstig; betrieblich evtl. sinnvoll Wasserabfluss um die Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; Wasserabfluss ist gewährleistet)
	<b>Örtl. Belagserneuerung (lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Material, da der Rand mit Bitumen angestrichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig (Kornausbrüche gelten als akustisch nicht relevant (4.2.3.1)); akustisch günstig; Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum und heraus muss gewährleistet sein)



	<b>Oberbauerneuerung (lärmarm, wasser-durchlässig)</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; Wasserabfluss ist gewährleistet)
	<b>Rückformen (örtlich)</b>	günstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung, aber noch keine Erfahrung ([97]; [99])</li> <li>Ohne Abstreuen bei offenporigen Belägen [136]</li> <li>Keine Nähte, daher besonders geeignet für die Reparatur offenporiger Asphaltbeläge (OPAs) [97]</li> <li>für verbindungsfreie Reparaturen [137]</li> <li>bei OPAs eher schlechte Erfahrungen [138]</li> </ul>	testweise durchgeführt an Kornausbrüchen [139]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig (Kornausbrüche gelten als akustisch nicht relevant (4.2.3.1)); akustisch günstig)
	<b>Aufbringen eines Konservierungsmittels (präventiv)</b>	unklar	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv zur Verbesserung der Lebensdauer des Bindemittels ([45], S.77)</li> <li>bei OPAs akustisch und technisch-mechanisch nachweislich günstig [140]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mögliches Verfahren bei einschichtigen und zweischichtigen porösen Asphalten [81]</li> <li>präventiv zur Lebensdauerverlängerung [98]</li> <li>bei sich abzeichnenden Kornausbrüchen [141]</li> </ul>	testweise durchgeführt an Kornausbrüchen mit Rhinophalt ([139], [142])	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; Wirkung akustisch unklar)
<b>Risse, Nähte (ohne Unebenheit)</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abstumpfung durch Abstreuen nicht empfohlen ([101], S.13)</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei LÄB nicht empfohlen [57]</li> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	akustisch nicht unbedingt notwendig [65]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig akustisch neutral)

	<b>Örtl. Belagserneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wenn Riss quer zur Falllinie verläuft, dann muss die Deckschicht bis zur Entwässerung ersetzt werden (sonst Gefahr von stauendem Wasser, wenn der Riss vergossen wird, Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Material, da der Rand mit Bitumen angestrichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch nicht notwendig (Kornausbrüche gelten als akustisch nicht relevant (4.2.3.1)); akustisch ungünstig; betrieblich evtl. sinnvoll; Wasserabfluss um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	ungünstig	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; Wasserabfluss ist gewährleistet)
	<b>Örtl. Belagserneuerung (lärmarm, wasser-durchlässig)</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wenn Riss quer zur Falllinie verläuft, dann muss die Deckschicht bis zur Entwässerung ersetzt werden (sonst Gefahr von stauendem Wasser, wenn der Riss vergossen wird, Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Material, da der Rand mit Bitumen angestrichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum und heraus muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (lärmarm, wasser-durchlässig)</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; Wasserabfluss ist gewährleistet)

	<b>Rückformen</b>	neutral	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]</li> <li>ohne Abstreuen bei offenporigen Belägen [136]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren für Deck-schichtsanierung [97]</li> <li>Ohne Abstreuen bei offenporigen Belägen [136]</li> <li>besonders geeignet für die Reparatur offenporiger Asphaltbeläge (OPAs ) [136],</li> <li>für verbindungsfreie Reparaturen [137]</li> <li>bei OPAs eher schlechte Erfahrungen [138]</li> </ul>	bei diesem Schaden nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig (Kornausbrüche gelten als akustisch nicht relevant (4.2.3.1)); akustisch günstig)
<b>Schwere Materialverluste</b>	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>akustisch ungünstig, Wasserdurchlässigkeit lokal evtl. nicht gewährleistet (Gefahr von Aquaplaning und Eislinen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; akustisch ungünstig; Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)
	<b>Örtl. Belagserneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Material, da der Rand mit Bitumen angestrichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; akustisch ungünstig; Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; akustisch ungünstig; Wasserabfluss ist gewährleistet))

	<b>Örtl. Belagserneuerung (lärmarm, wasserdurchlässig)</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Material, da der Rand mit Bitumen angestrichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit:</u> Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum und heraus muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (lärmarm, wasserdurchlässig)</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit:</u> Wasserabfluss ist gewährleistet)
	<b>Rückformen</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]</li> <li>ohne Abstreuen bei offenporigen Belägen [136]</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]</li> <li>besonders geeignet für die Reparatur offenporiger Asphaltbeläge (OPAs) [136],</li> <li>für verbindungsfreie Reparaturen [137]</li> <li>bei OPAs eher schlechte Erfahrungen [138]</li> </ul>	bei diesem Schaden nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig (Kornausbrüche gelten als akustisch nicht relevant (4.2.3.1)); <u>Wiederherstellung der Ebenheit;</u> akustisch günstig)
<b>Strukturelle Schäden mit Rissen und/ oder Unebenheiten</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	neutral für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Abstumpfung durch Abstreuen nicht empfohlen ([101], S.13)</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bei L&amp;B nicht empfohlen [57]</li> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch ungünstig)
	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> <li>Erhaltung nur grossflächig ([17], S.6)</li> </ul>	akustisch ungünstig, Wasserdurchlässigkeit lokal evtl. nicht gewährleistet [65]	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit:</u> Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)

	<b>Verfüllen und Ver- giessen von Fugen / Rissen</b>	neutral für Megatextur, neutral für massge- bende Parameter zur Lärmre- duktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	akustisch nicht unbedingt notwendig [65]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral)
	<b>Örtl. Belagserneue- rung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für mass- gebende Parameter zur Lärmre- duktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>"Erhaltung nur grossflä- chig" (wg. Wasserdurch- lässigkeit) ([17], S.6)</li> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Mate- rial, da der Rand mit Bitumen ange- strichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; Akustisch ungünstig; Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (nicht lärmarm, wasserundurchlässig)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für mass- gebende Parameter zur Lärmre- duktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>"Erhaltung nur grossflä- chig" (wg. Wasserdurch- lässigkeit) ([17], S.6)</li> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; Wasserabfluss ist gewährleistet))
	<b>Örtl. Belagserneue- rung (lärmarm, wasser- durchlässig)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massge- bende Parameter zur Lärmre- duktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>"Erhaltung nur grossflä- chig" (wg. Wasserdurch- lässigkeit) ([17], S.6)</li> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungünstig für Wasserdurchlässigkeit, unabhängig vom verwendeten Mate- rial, da der Rand mit Bitumen ange- strichen werden muss, damit der eingebaute Asphalt hält (Gefahr von Aquaplaning und Eislinsen) [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert (akustisch notwendig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; Wasserdurchlässigkeit um Reparaturstelle herum und heraus muss gewährleistet sein)
	<b>Oberbauerneuerung (lärmarm, wasser- durchlässig)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massge- bende Parameter zur Lärmre- duktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>"Erhaltung nur grossflä- chig" (wg. Wasserdurch- lässigkeit) ([17], S.6)</li> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	nicht angewendet [102]	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig; <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> Wasserabfluss ist gewährleistet)

	<b>Abfräsen von Unebenheiten</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])</li> </ul>	macht einen hohlraumreichen Belag schneller kaputt, da Steine als Ganzes herausgerissen werden [143]	nicht angewendet [102]	nicht empfehlenswert ( <u>Wiederherstellung der Ebenheit</u> ; akustisch ungünstig)
Allgemein			<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermeidung von Schäden durch die Vermeidung des Einbaus dieses Belages auf Strecken, die durch die Verwendung von Spikes, Schneeketten usw. beschädigt werden könnten ([45], S. 89)</li> <li>Erhaltung nur grossflächig (OPA ([17], S.6); PMA ([17], S.21))</li> <li>Einbau mit üblichen Muldenkippen und Festigern (PMA) ([38], S.28)</li> </ul>	Langfristig nur grossflächige Erneuerung [65]	"Verfahren, die die Poren verstopfen, sind nur im Notfall anzuwenden, wenn der bauliche Zustand umgehend wieder hergestellt werden muss und die Schallminderung (temporär) vernachlässigt wird." [102]	

## V.2 Belagskategorie 2 „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
<b>Oberflächenglätte</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	Diese Schadensart ist bis jetzt nicht aufgetreten [67].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])			nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])			empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral)
	<b>Aufräumen</b>	ungünstig	Bei bituminösen Belägen kann bei den meisten Verfahren zum Aufräumen eine Erhöhung des Rollgeräuschpegels nicht ausgeschlossen werden ([132] S. 7,11,13).			nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; keine Erfahrung mit dieser Art von Belägen)
<b>Leichte Materialverluste</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> <li>bei LdB nicht empfohlen [57]</li> </ul>	Kornausbrüche/ Ablösungen sind aufgetreten, sind stabil, wurden bis jetzt nicht repariert; sind akustisch nicht wirksam [67]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])			nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])			empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig)
	<b>Rückformen (örtlich)</b>	günstig	für bituminöse Beläge geeignetes			empfehlenswert

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL				
		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			tes Verfahren [80]	<ul style="list-style-type: none"> <li>herstellers [115]</li> <li>geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]</li> </ul>		(akustisch nicht notwendig; akustisch günstig)
	<b>Aufbringen eines Konservierungsmittels (präventiv)</b>	unklar	präventiv zur Verbesserung der Lebensdauer des Bindemittels ([45], S.77)	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>präventiv zur Lebensdauererweiterung [98]</li> <li>bei sich abzeichnenden Kornausbrüchen [141]</li> </ul>	nicht angewendet	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; wenig Erfahrung) <sup>49</sup>
<b>Risse, Nähte (ohne Unebenheit)</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> <li>bei LÄB nicht empfohlen [57]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>	Diese Schadensart ist bis jetzt nicht aufgetreten [67].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Verfüllen und Vergießen von Fugen / Rissen</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Örtl. Belagserneuerung (lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)

<sup>49</sup> mögliches Verfahren, Bedarf weiterer Forschung



Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL				
		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
				bei lärmarmen Belägen [57]		
	<b>Rückformen</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
<b>Schwere Materialverluste</b>	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>akustisch ungünstig [65]</li> </ul>	Diese Schadensart ist bis jetzt nicht aufgetreten [67]..	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch günstig)
	<b>Rückformen</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit akustisch günstig)

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL				
		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
		zur Lärmreduktion				
<b>Strukturelle Schäden mit Rissen und/ oder Unebenheiten</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	neutral für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> <li>bei LÄB nicht empfohlen [57]</li> </ul>	Diese Schadensart ist bis jetzt nicht aufgetreten [67].	nicht empfehlenswert (akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>akustisch ungünstig [65]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Verfüllen und Vergießen von Fugen / Rissen</b>	neutral für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung</b>	günstig für Megatextur, neutral für	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	keine Empfehlung des Belagsherstellers [115] Belags- / Oberbauerneuerung		empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit)

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 2 anhand von Nanosoft 4 und Dünner Deckschichten NL				
		Hohlraumgehalt > 10 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>(lärmarm)</b>	massgebende Parameter zur Lärmreduktion		häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]		akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Abfräsen von Unebenheiten</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Empfehlung des Belagsherstellers [115]</li> <li>macht einen hohlraumreichen Belag schneller kaputt, da Steine als Ganzes herausgerissen werden [143]</li> </ul>	Diese Schadensart ist bis jetzt nicht aufgetreten [67].	nicht empfehlenswert (Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig)
Allgemein	-	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Keine konkreten Empfehlungen des Belagsherstellers zu Reparaturverfahren; Vermeidung von Schäden durch Vermeidung des Einbaus an Orten wie Kreiseln, stark befahrenen Kreuzungen, Parkplätze, privaten Plätzen und Trottoirs, Stellen mit starker Scherbeanspruchung [115]</li> <li>langfristig nur grossflächige Erneuerung [65]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Material wäre in kleinen Mengen erhältlich [67]</li> <li>An MOA-Leise-4 (LNA 4 C) bis jetzt keine Schäden und auch keine Überlegungen zur möglichen Reparaturverfahren [65]</li> </ul>	-

### V.3 Belagskategorie 3 „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
<b>Oberflächenglätte</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	bei LÄB nicht empfohlen [57]	kein solches Schadensbild bis jetzt bekannt [144]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]		nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral)
	<b>Aufräumen</b>	ungünstig	Bei bituminösen Belägen kann bei den meisten Verfahren zum Aufräumen eine Erhöhung des Rollgeräuschpegels nicht ausgeschlossen werden ([132], S. 7, 11, 13).	-		nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; keine Erfahrung mit dieser Art von Belägen)
<b>Leichte Materialverluste</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> <li>bei LÄB nicht empfohlen [57]</li> </ul>	kein solches Schadensbild bis jetzt bekannt [144]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig)

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
				[65] <ul style="list-style-type: none"> <li>gleiches Mischgut vom Asphaltmischwerk nur in grossen Mengen (2 t) erhältlich [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		
	<b>Rückformen (örtlich)</b>	günstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]	geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig)
	<b>Aufbringen eines Konservierungsmittels (präventiv)</b>	unklar	präventiv zur Verbesserung der Lebensdauer des Bindemittels ([45], S.77)	<ul style="list-style-type: none"> <li>präventiv zur Lebensdauerverlängerung [98]</li> <li>bei sich abzeichnenden Kornausbrüchen [141]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; wenig Erfahrung) <sup>50</sup>
<b>Risse, Nähte (ohne Unebenheit)</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>bei LÄB nicht empfohlen [57]</li> </ul>	kein solches Schadensbild bis jetzt bekannt [144]	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>akustisch nicht unbedingt notwendig [65]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)

<sup>50</sup> Mögliches Verfahren für diesen Belag, Bedarf weiterer Forschung

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>gleiches Mischgut vom Asphaltmischwerk nur in grossen Mengen (2 t) erhältlich [65]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Rückformen</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]	<ul style="list-style-type: none"> <li>geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
<b>Schwere Materialverluste</b>	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	akustisch ungünstig [65]	kein solches Schadensbild bis jetzt bekannt [144]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>gleiches Mischgut vom Asphalt-</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch günstig)

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
				mischwerk nur in grossen Mengen (2 t) erhältlich [65] <ul style="list-style-type: none"> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		
	<b>Rückformen</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]	geeignetes Verfahren für Deckschichtsanierung [97]		empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch günstig)
<b>Strukturelle Schäden mit Rissen und/ oder Unebenheiten</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	neutral für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anwendung ist Ermessenssache [65]</li> <li>bei L&amp;B nicht empfohlen [57]</li> </ul>	kein solches Schadensbild bis jetzt bekannt [144]	nicht empfehlenswert (akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	akustisch ungünstig [65]		bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Verfüllen und Vergiessen von Fugen / Rissen</b>	neutral für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>akustisch nicht unbedingt notwendig [65]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 3 anhand von AC MR 8 Wettingen und Zürich Hohlraumgehalt 6 bis 16 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe zwischen 200 und 450 µm				
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>kleinflächige Reparatur wie bei herkömmlichen Belägen möglich, fällt akustisch nicht so sehr auf wie bei Belägen der Kategorien 1 und 2 [65]</li> <li>gleiches Mischgut vom Asphaltmischwerk nur in grossen Mengen (2 t) erhältlich [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>		empfehlenswert (akustisch notwendig Wiederherstellung der Ebenheit akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Abfräsen von Unebenheiten</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	"AC MR ist nicht fräsbar" [145]		nicht empfehlenswert (Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig)
<b>Allgemein</b>						



## V.4 Belagskategorie 4 „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
<b>Oberflächenglätte</b>	<b>(Anspritzen und Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	bei L&B nicht empfohlen [57]	Bis jetzt nicht angewendet [120].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	Bis jetzt nicht angewendet [120].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtl. Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]	Bis jetzt nicht angewendet [120].	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral)
	<b>Aufräumen</b>	ungünstig	Bei bituminösen Belägen kann bei den meisten Verfahren zum Aufräumen eine Erhöhung des Rollgeräuschpegels nicht ausgeschlossen werden ([132], S. 7,11,13).	-	Bis jetzt nicht angewendet [120].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch ungünstig; keine Erfahrung mit dieser Art von Belägen)
<b>Leichte Materialverluste</b>	<b>(Anspritzen und Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der LOA 5 D wurde ganz gezielt nahe an konventionellen Belägen entwickelt, mit Parametern zwischen einem AC und einem SMA, so dass der gleiche Unterhalt wie für die konventionellen Beläge zur Anwendung kommt [109]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	Bis jetzt nicht angewendet [120].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		<ul style="list-style-type: none"> <li>Belag wurde über zwei Fertigerlängen ersetzt (Gewährleistungsfall; sichtbar durch Kornausbrüche) [120]</li> <li>Mischgut LOA 5 D in kleinen Mengen nicht erhältlich [120]</li> </ul>	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch günstig)
	<b>Rückformen (örtlich)</b>	günstig	für bituminöse Beläge		Bis jetzt nicht angewendet	empfehlenswert

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
			geeignetes Verfahren [80]		[120].	(akustisch nicht notwendig; akustisch günstig)
	<b>Aufbringen eines Konservierungsmittels (präventiv)</b>	unklar	präventiv zur Verbesserung der Lebensdauer des Bindemittels ([45], S.77)		Bis jetzt nicht angewendet [120].	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig)
<b>Risse, Nähte (ohne Unebenheit)</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der LOA 5 D wurde ganz gezielt nahe an konventionellen Belägen entwickelt, mit Parametern zwischen einem AC und einem SMA, so dass der gleiche Unterhalt wie für die konventionellen Beläge zur Anwendung kommt [109]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	Bis jetzt nicht angewendet [120].	nicht empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig)
	<b>Verfüllen und Vergießen von Fugen / Rissen</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120].	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	ungünstig	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120].	bedingt empfehlenswert (akustisch nicht notwendig, akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bis jetzt nicht angewendet [120]</li> <li>Mischgut LOA 5 D in kleinen Mengen nicht erhältlich [120]</li> </ul>	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Rückformen</b>	neutral	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]		Bis jetzt nicht angewendet [120].	empfehlenswert (akustisch nicht notwendig; akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
<b>Schwere Materialverluste</b>	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der LOA 5 D wurde ganz gezielt nahe an konventionellen Belägen entwickelt, mit Parametern zwischen einem AC und einem SMA, so dass der gleiche Unterhalt wie für die konventionellen</li> </ul>	Bis jetzt nicht angewendet [120].	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung</b>	günstig für	für bituminöse Beläge		Bis jetzt nicht angewendet	bedingt empfehlenswert

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>ung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>nellen Beläge zur Anwendung kommt [109]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	[120]	(akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch neutral)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bis jetzt nicht angewendet [120]</li> <li>Mischgut LOA 5 D in kleinen Mengen nicht erhältlich [120]</li> </ul>	empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch günstig)
	<b>Rückformen</b>	günstig für Megatextur, günstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren [80]		Bis jetzt nicht angewendet [120]	empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch günstig)
<b>Strukturelle Schäden mit Rissen und/ oder Unebenheiten</b>	<b>(Anspritzen und) Abstreuen mit feinen Gesteinskörnungen</b>	neutral für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der LOA 5 D wurde ganz gezielt nahe an konventionellen Belägen entwickelt, mit Parametern zwischen einem AC und einem SMA, so dass der gleiche Unterhalt wie für die konventionellen Beläge zur Anwendung kommt [109]</li> <li>Wasserundurchlässigkeit muss wiederhergestellt werden [65]</li> <li>Belags- / Oberbauerneuerung häufigstes Reparaturverfahren bei lärmarmen Belägen [57]</li> </ul>	Bis jetzt nicht angewendet [120]	nicht empfehlenswert (akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Ausbessern mit Asphaltmischgut (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Verfüllen und Vergießen von Fugen / Rissen</b>	neutral für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120]	empfehlenswert (akustisch notwendig; Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)

Kleiner baulicher Unterhalt		Kategorie 4 anhand von LOA 5 D		Hohlraumgehalt < 6 Vol.-%, wasserundurchlässig, Rauigkeitstiefe < 200 µm (ggf. < 300 µm)		
Zustandsänderung (1)	Verfahren (2)	Qualitative Beurteilung (3)	Literatur (4)	Spezialisten (5)	Praxis (6)	vorläufige Bewertung (7)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (nicht lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120]	bedingt empfehlenswert (akustisch notwendig Wiederherstellung der Ebenheit akustisch ungünstig; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Örtliche Belagserneuerung oder Oberbauerneuerung (lärmarm)</b>	günstig für Megatextur, neutral für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei diesem Schadensbild bis jetzt nicht angewendet [120].</li> <li>Mischgut LOA 5 D in kleinen Mengen nicht erhältlich [120]</li> </ul>	empfehlenswert (akustisch notwendig Wiederherstellung der Ebenheit akustisch neutral; Herstellung der Wasserundurchlässigkeit)
	<b>Abfräsen von Unebenheiten</b>	günstig für Megatextur, ungünstig für massgebende Parameter zur Lärmreduktion	für bituminöse Beläge geeignetes Verfahren ([78], [80])		Bis jetzt nicht angewendet [120]	nicht empfehlenswert (Wiederherstellung der Ebenheit; akustisch ungünstig)
Allgemein			<ul style="list-style-type: none"> <li>wie für herkömmliche Beläge</li> <li>spez. Anforderungen an Binderschicht (LOA, [17])</li> <li>spezielles Einbaugerät notwendig (DSH-V, [17], S.18)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Reparaturen würden in Abhängigkeit von der Lage des Schadens auf der Fahrbahn erfolgen:</li> <li>Schaden zwischen Fahrspuren: Belagserneuerung mit lärmoptimiertem Gussasphalt (MA LA)</li> <li>Schaden in Fahrspur: Belagserneuerung über ganze Fahrbahnbreite</li> <li>Der bauliche Unterhalt ist Teil des Düsseldorfer zweistufigen Aufgrabungsmanagements [120].</li> </ul>	

## Abkürzungen

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
AC	Asphalt concrete (Asphaltbeton)
AC MR	Asphalt concrete macrorugueux
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (bis 31.12.2005)
DATEC	Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
CHF	Schweizer Franken
dB	Dezibel
DSH-V	Dünne Schicht im Heisseinbau auf auf Versiegelung
DStrO	Korrektur für unterschiedliche Strassenoberflächen
EP	Einzelprojekt
FGSV	FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN
IGW	Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
KBU	Kleiner baulicher Unterhalt
LäB	Lärmarmer Belag, lärmarme Beläge
LNA	Low noise asphalt
LNA	Low Noise Asphalt
LOA	Lärmoptimierter Asphalt
LSV	Lärmschutzverordnung
MA	Mastic asphalt (Gussasphalt)
OFEV	Office fédérale de l'environnement
OFROU	Office fédérale des routes
OPA	Offenporiger Asphalt
OPB	Ordonnance sur la protection contre le bruit
PA	Porous asphalt
PET	Polyethylen
PKW	Personenkraftwagen
PMA	Porous Mastic Asphalt
PmB	Polymermodifiziertes Bitumen
RLS	Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen
SMA	Splittmastixasphalt
SMA LA	lärmarmen Splittmastixasphalt
SN	Schweizer Norm
SPA	Splittasphalt
StL	Strassen-Lärm
TP	Teilprojekt
TU	Technische Universität
UV	Unterhaltsverfahren
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
ZWOPA	Zweilagiger offenporiger Asphalt

## Literaturverzeichnis

- [1] Gesamtprojektleitung Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts, 2011, <http://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?page=Texte&ProjectID=28097>, 14.9.2011.
- [2] Verbundprojekt "Leiser Strassenverkehr 2", Schlussbericht, Bundesanstalt\_für\_Strassenwesen, Bergisch Gladbach, 294 S., 2012.
- [3] Poffet, G.: Begrüssung. In: Bundesamt für Umwelt (Hrsg.): "Leise Strassen innerorts - Was passiert, wenn Lärmschutz und Erhaltungsmanagement koordiniert werden?", Olten, 2009, 6-10.
- [4] Externe Kosten 2006 - 2007 - Berechnung der externen Kosten des Verkehrs in der Schweiz, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), 22 S., 2010.
- [5] Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz - Aktualisierung für das Jahr 2000, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), 204 S., 2004.
- [6] Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986, Stand am 1. August 2010.
- [7] Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983, Stand am 1. August 2010.
- [8] Verordnung über die Hauptstrassen, 1999.
- [9] Sanierung Strassenlärm - Umfrage nach Art. 20 LSV, Dezember 2010, Bundesamt für Umwelt, 21 S., 2011.
- [10] Bundesamt für Umwelt: Strategie zur Lärmbekämpfung, 2011, <http://www.bafu.admin.ch/laerm/10526/11012/index.html?lang=de>, 04.04.2011.
- [11] Bundesamt für Umwelt: Lärmarme Technologien, 2011, <http://www.bafu.admin.ch/laerm/10526/10947/index.html?lang=de>, 22.11.2011.
- [12] Sanierung Strassenlärm. Stand und Perspektiven: Dezember 2006, Bundesamt für Umwelt, 50 S., 2007.
- [13] Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP 3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge, <http://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?page=Texte&ProjectID=29785>, 23.11.2011.
- [14] SN 640 900a Erhaltungsmanagement (EM) Grundnorm. VSS, Zürich, 2004.
- [15] Lorenz, M. und Lorenz, J.: Handbuch Strassenbau - Grundlagen für Ausbildung und Praxis. Faunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2006.
- [16] Asphalt, 2011, <http://de.wikipedia.org/wiki/Asphalt#Statistik>, 16.11.2011.
- [17] Männel, M.: Überblick geräuschkindernder Fahrbahnbeläge - Möglichkeiten zur Qualitätssicherung, Vereinigung der Straßenbau- und Verkehrsingenieure in Berlin-Brandenburg e.V. (VSVI Berlin-Brandenburg e.V.), 2011, <http://www.crp.pt/docs/A28S55-549.pdf>, 11.5.2012.
- [18] Groenendijk, J., et al.: Guidelines for silent roads in NL. International Road Federation, 16th World Meeting, Lisboa 2010, <http://www.crp.pt/docs/A28S55-549.pdf>, 11.5.2012.
- [19] Doorschrot, J.J.J. und Graaff, D.F.d.: Wissensaustausch Lärmarme Strassendecken Niederlande - Schweiz, M.P.-r.i.M.-B. groep), Vught, 37 S., 2007.
- [20] Angst, C., et al.: Lärmarme Strassenbeläge innerorts - Schlussbericht 2007, Bundesamt für Strassen und Bundesamt für Umwelt, Bern, 119 S., 2008.
- [21] Arn, T.: Forschungspaket Lärmarme Beläge innerorts - Realisierung Teststrecken - Ausschreibungsunterlagen, Email, 8.4.2011.
- [22] Bundesamt für Umwelt: Best Practice Liste, 2011, [http://www.bafu.admin.ch/laerm/10526/10947/10956/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGenx7fGym162epYbg2c\\_JjKbNoKSn6A](http://www.bafu.admin.ch/laerm/10526/10947/10956/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGenx7fGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A), 12.04.11.

- [23] Reichart, U.: Lärmindernde Fahrbahnbeläge. Ein Überblick über den Stand der Technik, Umweltbundesamt, 54 S., 2009.
- [24] Beckenbauer, T., Alber, S., und Männel, M.: Lärmindernde Fahrbahnbeläge. Was war, was ist und was wird sein? Strasse & Verkehr, 7/8, 6-9 S., 2010.
- [25] EP1 Formulation des revêtements peu bruyants, 2011, <http://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?page=Texte&ProjectID=29777&show-all=true>, 11.5.2012.
- [26] SN 640 750b Winterdienst; Grundnorm. VSS, Zürich, 2007.
- [27] SN 640 730b Erhaltung von Fahrbahnen - Kopfnorm; Massnahmenkonzept. VSS, Zürich, 1998.
- [28] Girmscheid, G.: Kommunale Strassennetze in der Schweiz: Formen neuer Public Private Partnership (PPP) - Kooperationen für den Unterhalt. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Strassen, 2008.
- [29] BUWAL: Strassenlärmmodell StL-86+, 1987, [http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00694/index.html?lang=de&download=NHzLpZig7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGdn9\\_f2ym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2ldvoaCVZ,s-.pdf](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00694/index.html?lang=de&download=NHzLpZig7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGdn9_f2ym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2ldvoaCVZ,s-.pdf), 25.11.2011.
- [30] Pflichtenheft für den Einbau von lärmarmen Strassenbelägen Kanton Freiburg, Kanton Freiburg, 2009.
- [31] Richtlinien für den Lärmschutz an Strassen (RLS-90), 1990.
- [32] Fürst, P. und Kühne, R.: Strassenverkehrslärm – Eine Hilfestellung für Betroffene, 2010, <http://www.ald-laerm.de/downloads/publikationen/Strassenverkehrslaerm.pdf>,
- [33] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV). 1990.
- [34] Girmscheid, G.: Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften. Eigenverlag des IBB, 2004.
- [35] Bertalanffy, L.v.: General system theory. Foundations – development – applications. Braziller, New York, 1968.
- [36] Beckenbauer, T.: Physik der Reifen-Fahrbahn-Geräusche, 2008, [http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/physik\\_der\\_reifen\\_fahrbahn\\_geraeusche.pdf](http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/physik_der_reifen_fahrbahn_geraeusche.pdf), 22.7.2011.
- [37] SN 640 521c Ebenheit - Qualitätsanforderungen. VSS, Zürich, 2003.
- [38] Ripke, O.: Einsatzmöglichkeiten lärmindernder Asphaltdeckschichten innerorts, 2010, [http://www.bast.de/nn\\_42258/DE/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Laermarme-Strassen-2010/V3-laermarme-strassen-ripke,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/V3-laermarme-strassen-ripke.pdf](http://www.bast.de/nn_42258/DE/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Laermarme-Strassen-2010/V3-laermarme-strassen-ripke,templateld=raw,property=publicationFile.pdf/V3-laermarme-strassen-ripke.pdf), 1.4.2012.
- [39] Sandberg, U. und Ejsmont, J.A.: Tyre/road noise reference book. Informex Ejsmont & Sandberg, 2002.
- [40] Grolimund, H.-J., Attinger, R., und Meister, A.: Lärmarme bituminöse Strassenbeläge inner- und ausserorts, 2002,
- [41] Beckenbauer, T.: Textur & Reinigung von lärmarmen Belägen, Telefonat, 25.10.2011.
- [42] Ulrich Donner, B.D.: Leiser Verkehr durch lärmarme FB-Beläge für komm. Strassen, 2009, [http://www.asphalta.de/prueflabor/downloads/VSVI\\_Inhalt\\_55-59.pdf](http://www.asphalta.de/prueflabor/downloads/VSVI_Inhalt_55-59.pdf), 27.3.2012.
- [43] Krause, G.: Systematische Strassenerhaltung und Pavement-Management-System, 2001, [http://www.sep-maerschalk.de/cms/files/Vorlesung\\_PMS\\_Teil1.pdf](http://www.sep-maerschalk.de/cms/files/Vorlesung_PMS_Teil1.pdf), 4.11.2011.
- [44] Otto, A.: Eigenschaften und Unterhalt LÄB in D (PMA, SMA LA), Telefoninterview, 28.3.2012.



- [45] Morgan, P.: Guidance Manual For The Implementation of Low-Noise Road Surfaces, 2006, [http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/silvia\\_guidance\\_manual.pdf](http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/silvia_guidance_manual.pdf), 22.7.2011.
- [46] Kornmayer, N.: Bituminöser Strassenbau - Normen, Richtlinien, Empfehlungen. Mörschwil, 2011.
- [47] Colas: Nanosoft Produktbeschreibung, 2011, [http://www.colas.ch/files/products\\_pdf/NANOSOFT.pdf](http://www.colas.ch/files/products_pdf/NANOSOFT.pdf), 26.7.2011.
- [48] EUROVIA: Viaphone Flyer, EUROVIA Services GmbH, 2012, [http://www.eurovia.de/fileadmin/media/downloads/produktdatenblaetter/2011\\_Viaphone.pdf](http://www.eurovia.de/fileadmin/media/downloads/produktdatenblaetter/2011_Viaphone.pdf), 1.4.2012.
- [49] SAPA SA: Produktbeschreibung Sapaphone 4, 2011, <http://sapa-sa.ch/page-2676-Produits.html>, 22.7.2012.
- [50] Cuénoud, J.-L.: Technische Dokumentation Nanosoft, Email, 7.9.2011.
- [51] Radenberg, M.: Zusammenhang Wasserdurchlässigkeit - Hohlraumgehalt, Telefonat, 31.3.2012.
- [52] Attenberger, A.: Leitfaden für das Aufbringen zweischichtiger offenporiger Asphaltdeckschichten, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2009, [http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/leitfaden\\_2opa.pdf](http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/leitfaden_2opa.pdf), 21.10.2011.
- [53] Kneib, G.: Texturspektren, Email, 1.4.2012.
- [54] Gerkens, P.: Reinigung von lärmarmen Strassenbelägen, Interview, 19.10.2011.
- [55] Jorgen Kragh, L.G., Hans Bendtsen, Anneleen Bergiers, Krishna P. Biligiri, Robert Karlsson, Erik Nielsen, Erik Olsen, Stefan Vansteenkiste: Optimization of Thin Asphalt Layers - State of the Art Review, 2011, [http://www.highways.gov.uk/knowledge\\_compendium/assets/documents/Portfolio/Optimization\\_of\\_Thin\\_Asphalt\\_Layers\\_Report.pdf](http://www.highways.gov.uk/knowledge_compendium/assets/documents/Portfolio/Optimization_of_Thin_Asphalt_Layers_Report.pdf), 3.4.2012.
- [56] Otto, A.: Lärminderung – Asphalt für alle Fälle. XV. Deutsche Asphalttage vom 3. - 5. Februar 2010, Berchtesgaden, 2010, 3.4.2012.
- [57] Groenendijk, J.: Kleiner baulicher Unterhalt an lärmarmen Belägen, Email, 24.4.2012.
- [58] André Köpfli, T.Z.: CPX-Messungen Belag Nanosoft 4 in Salvenach (FR) und Planles-Ouates (GE), 32 S., 2011.
- [59] Tiefbau- und Entsorgungsdepartement: Lärmarme Beläge, 2012, [http://www.tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/laerm/laermsanierung/strassenlaerm/ziele\\_und\\_massnahmen/laermarme\\_belaege.html](http://www.tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/laerm/laermsanierung/strassenlaerm/ziele_und_massnahmen/laermarme_belaege.html), 4.4.2012.
- [60] Radenberg, M.: Lärmindernde Asphaltdeckenschichten für kommunale Strassen - Erfahrungsbericht zur Umsetzung und Wirkung. BauPortal, Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft Prävention [www.bgbau.de](http://www.bgbau.de), 5, 4 S., 2010.
- [61] Merkblatt für den Winterdienst auf Strassen. FGSV, 2010.
- [62] Kornmayer, N.: Interview, 14.6.2011.
- [63] SN 640 925b Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF) - Zustandserhebung und Indexbewertung. VSS, Zürich, 2003.
- [64] Kanton Basel-Land: Aufnahmeformular für Oberflächenschäden, 2012, [http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/tba/download/formulare/FO\\_Aufnahme-I1.xls](http://www.baselland.ch/fileadmin/baselland/files/docs/bud/tba/download/formulare/FO_Aufnahme-I1.xls), 22.2.2012.
- [65] Kornmayer, N.: Kleiner baulicher Unterhalt bei lärmarmen Strassenbelägen, Telefonat, 19.4.2012.
- [66] roadconsult: Schadenbilder, 2012, <http://www.roadconsult.ch/schadenbilder.html>, 29.2.2012.
- [67] Collaud, F.: Schäden und kleiner baulicher Unterhalt des Nanosoft, Telefonat,

18.4.2012.

[68] Weiner, C.: Schäden und kleiner baulicher Unterhalt des Famsiphonogrip, Telefonat, 17.4.2012.

[69] N.V., H.: Hydrovac Reinigungsmaschine, 2011, <http://www.hydrovac.nl/dienstverlening.aspx>, 10.8.2011.

[70] Müller, H.-J. und Hüttl, H.: Kommunale Strassenreinigung hrsg. von Hans-Joachim Müller und Helmut Hüttl. Dt. Gemeindeverlag, 1994.

[71] Verband kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung (VKS) im Verband kommunaler Unternehmen (VKU): KommunalHandbuch Stadt- und Strassenreinigung. Beckmann, 2009.

[72] Herrmann, R.: Reinigung von (lärmarmen) Asphalten mit biotec, Email", 17.8.2011.

[73] SN 640 720c Strassenunterhalt - Reinigung. VSS, Zürich, 1996.

[74] SN 640 761b Winterdienst; Schneeräumung. VSS, Zürich, 2010.

[75] SN 640 772b Winterdienst; Bekämpfung der Winterglätte mit Streumitteln. VSS, Zürich, 2001.

[76] Poldervaart, P.: Sole statt Salz macht Schule. Schweizer Gemeinde 11/10, 11, 2 S., 2010.

[77] Bukowiecki, A.: Winterdienst in Städten und Gemeinden - ein Leitfaden für die Praxis. Schweizerischer Städteverband, Kommunale Infrastruktur, 2006.

[78] SN 640 731b Erhaltung bitumenhaltiger Oberbauten; Reparatur. VSS, Zürich, 2001.

[79] Merkblatt für den Bau offenerporiger Asphaltdeckschichten (FGSV 750). FGSV, 1998.

[80] ZTV BEA-StB 09 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Bauliche Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen - Asphaltbauweisen. Ausgabe 2009 (FGSV 798). FGSV, A.A., 2011.

[81] Eijbersen, M.: Maintenance of low noise asphalts in the Netherlands, Mail, 9.9.2011.

[82] Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.: Bautechnik - Hinweise zur Asphaltbauweise, 2011, [http://www.asphalt.de/media/exe/115/27350b42ef0c9666293c36dec154a63e/bautechnik\\_ava\\_2011.pdf](http://www.asphalt.de/media/exe/115/27350b42ef0c9666293c36dec154a63e/bautechnik_ava_2011.pdf), 22.7.2011.

[83] Gerkens, P.: Telefoninterview zu Reinigungsverfahren, 16.5.2011.

[84] Arnold, M.: Das maschinelle Ölspurnassreinigungsverfahren im Detail., 2011, [www.biotec-service.de](http://www.biotec-service.de), 22.7.2011.

[85] Pfister, R.: Hochdruckreinigung, Telefonat, 14.3.2012.

[86] Mozer, M.: Ölspurbeseitigung Mozer / Nassreinigung, 2012, <http://www.oelspurbeseitigung-mozer.de/nassreinigung.php>, 28.2.2012.

[87] Weiss, G.: ICT Hersteller Hochdruckreiniger, auch für OPAs, 16.3.2012.

[88] Meyer, D.: Schrubbsaugverfahren im vgl. zu Hochdruckverfahren, Telefonat, 9.3.2012, 16.3.2012.

[89] Boschung, R.: Winterdienst auf lärmarmen Belägen innerorts Interview, 15.11.2011.

[90] Praktische Empfehlungen für ein effektives Räumen und Streuen im Strassenwinterdienst (FGSV 416 T). FGSV, Köln, 2011.

[91] Stahel, E.S.E.B.J.: Management der Strassenerhaltung (MSE): Entwicklung Massennahmen-, Strategie- und Kostenmodell. Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement - Bundesamt für Strassenbau,, 1996.

[92] Deutscher Asphaltverband (DAV) e.V.: Verfahren und Massnahmen, 2012, [http://www.asphaltberatung.de/site/asphaltberatung/asphaltthemen/verfahren\\_und\\_massnahmen/](http://www.asphaltberatung.de/site/asphaltberatung/asphaltthemen/verfahren_und_massnahmen/), 2.8.2011.

- [93] KUTTER GmbH & Co KG: Kleinfräsarbeiten, 2012, <http://www.kutter.de/fahrbahnsanierung/fraesen/kleinfraesarbeiten/>, 1.6.2012.
- [94] Wikipedia: Fräsen (Strassenbau), 2012, [http://de.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A4sen\\_%28Stra%C3%9Fenbau%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A4sen_%28Stra%C3%9Fenbau%29), 6.6.2012.
- [95] SN 640 732a Erhaltung bitumenhaltiger Oberbauten - Instandsetzung. VSS, Zürich, 2003.
- [96] ASI – Asphalt Strassen Instandsetzung GmbH: Rhinopatch® Rückformen, 2012, <http://www.asi-asphalt.de/problemloesung.htm>, 29.2.2012.
- [97] Kutter Spezialstrassenbau: Datenblatt Rückformen, 2012, [http://www.kutter-dsk.de/cms/upload/DE/pdf/Datenblaetter/Datenblatt\\_Rueckformen-Remix.pdf](http://www.kutter-dsk.de/cms/upload/DE/pdf/Datenblaetter/Datenblatt_Rueckformen-Remix.pdf), 13.4.2012.
- [98] ASI – Asphalt Strassen Instandsetzung GmbH: Rhinophalt (Verjüngung / Konservierung), 2012, <http://www.asi-asphalt.de/rhinophalt.htm>, 29.2.2012.
- [99] Mix, H.: Rückformen, Telefonate, 13.4.2012, 18.4.2012.
- [100] „Merkblatt Asphaltdeckschichten aus Offenporigem Asphalt“ (M OPA), Ausgabe 2012 (Entwurf) FGSV, 2012.
- [101] Müller-BBM: Westliche Ringstrasse - Pilotprojekt zweischichtiger offenporiger Asphalt, 2010, <http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/2opa.pdf>, 19.8.2011.
- [102] Lachmund, U.: Telefoninterviews und Mails zum ZWOPA, 9.6.2011, 19.1.2012, 15.2.2012, 24.2.2012.
- [103] Zehlicker, H.: Nassreinigung festsitzender Schmutz, Telefonat, 7.3.2012.
- [104] Güte- und Prüfbestimmungen für die Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung RAL-GZ 899, 2007, [http://www.ggvu.de/pdf/guetezeichen/RAL\\_GGVU\\_Guetebestimmungen-Allgem.\\_u.\\_LK\\_M.pdf](http://www.ggvu.de/pdf/guetezeichen/RAL_GGVU_Guetebestimmungen-Allgem._u._LK_M.pdf), 16.3.2012.
- [105] Hametner, G.: Hochdruckreinigung, Telefonate, 8.6.2011, 14.3.2012.
- [106] Geling, J.: Vorteile Hochdruckverfahren, Telefonat,
- [107] Verein der Verkehrsflächenreiner und Unfallstellensanierer Deutschland e.V.: Ölbeseitigung auf Verkehrsflächen – Ein Thema, das mehr Aufmerksamkeit braucht und verdient, 2012, <http://www.vvu-deutschland.de/pages/html/interessen.html>, 15.6.2012.
- [108] RAL GGVU - Gütegemeinschaft für Verkehrsflächenreinigung und Unfallstellensanierung e.V.: Ölbindemittel für Verkehrsflächen - Prüfmethode und Anwendung; THEMENBLATT 01 2010, [http://www.ggvu.de/pdf/artikel\\_oelschadensbekaempfung/ah\\_t01\\_oelbindemittel\\_fuer\\_vkfl\\_.pdf](http://www.ggvu.de/pdf/artikel_oelschadensbekaempfung/ah_t01_oelbindemittel_fuer_vkfl_.pdf), 16.3.2012.
- [109] Radenberg, M.: LOA 5 D, Telefonat, 31.1.2012.
- [110] Brinkman, G.: Maintenance of low noise asphalts in Rotterdam, Email, 14.6.2011, 12.1.2011.
- [111] Egger, C.: Unterhalt lärmarme Beläge im Kanton Freiburg, Email, Telefonat, 7.9.2011, 2.11.2012.
- [112] Haldimann, C.: Entfernung von festsitzendem Schmutz, Telefonat, 16.3.2012.
- [113] Merkblatt DWA-M 715 Ölbeseitigung auf Verkehrsflächen. DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V.), 2007.
- [114] Schöpfer, H.: Ölspurbeseitigung, Telefonat, 30.9.2011.
- [115] Cuénoud, J.-L.: Entretien du Nanosoft, Email, 28.2.2012.
- [116] Cioni, L. und Voser, M.: Unterhalt AC MR 8 Wettingen, Interview, Email, 20.9.2011, 8.3.2012.
- [117] Ultsch, M. und Deflorin, D.: Reinigung und Winterdienst an lärmarmen Belägen in

der Stadt Zürich, Interview, 19.8.2011.

[118] Engeli, P.: Ölspurbeseitigung in der Stadt Zürich, Telefonat, 23.8.2011.

[119] Schweizer, M.: Handbuch Strassenbau. Kanton Basel Stadt, 2010.

[120] Sander, R.: Erfahrungen mit LOA 5 D, Telefonate, Mails, 15.6.2011, 2.8.2011, 12.10.2011, 20.1.2012.

[121] Meyer, U.: Reinigung und Winterdienst in Düsseldorf (Awista), Telefonate, 2.11.2011, 7.3.2012.

[122] Kamphausen, H.: Ölspurbeseitigung Feuerwehr Düsseldorf, Telefonat, 31.1.2012.

[123] Schmerbeck, R.: Betrieb und Unterhalt von offenporigen Asphaltdeckschichten, Telefonat, 27.1.2012.

[124] Morgan, P.A.: IPG, Innovative mitigation measures for road traffic noise, 2008, <http://www.rijksoverheid.nl/bestanden/documenten-en-publicaties/rapporten/2008/05/01/ipg-research-report-innovative-mitigation-measures-for-traffic-noise/ipg-research-report-innovative-mitigation-measures-for-road-traffic-noise.pdf>, 11.5.2011.

[125] Stadt\_Ingolstadt: Kommunalen Winterdienst, 2012, [http://www2.ingolstadt.de/Winterdienst/Kommunalen\\_Winterdienst/index.phtml?mNavID=1271.136&sNavID=1271.136&La=1](http://www2.ingolstadt.de/Winterdienst/Kommunalen_Winterdienst/index.phtml?mNavID=1271.136&sNavID=1271.136&La=1), 24.1.2012.

[126] Ruess, B.: Salz- oder Splittstreuung im Winterdienst; Optimierung der Kosten/Nutzen-Verhältnisse unter Berücksichtigung von umwelt- und sicherheitsrelevanten Faktoren. VSS, 1998

[127] Boschung, R.: Winterdienst auf lärmarmen Belägen innerorts, Email, 12.3.2012.

[128] Gloor, H. und Ziegler, T.: Erfahrungen mit Drainbelägen auf Autobahnen (gekürzte Fassung), 2001, [http://www.gundp.ch/de/Umwelttechnik\\_\\_\\_Bauphysik\\_\\_\\_Informatik/Aktuelle\\_Projekte/Erfahrung\\_mit\\_Drainbel%C3%A4gen\\_auf\\_Autobahnen\\_\\_gek%C3%BCrzte\\_Fassung.html](http://www.gundp.ch/de/Umwelttechnik___Bauphysik___Informatik/Aktuelle_Projekte/Erfahrung_mit_Drainbel%C3%A4gen_auf_Autobahnen__gek%C3%BCrzte_Fassung.html), 24.1.2012.

[129] Haberl, J.: Einsatzmöglichkeiten von lärmindernden Fahrbahndeckschichttypen zur Reduzierung von Straßenverkehrslärm - Stand der Technik, 2008, [http://www.ooumweltanwaltschaft.at/xbcr/SID-3DCFCFBE-E1841E85/Vortrag\\_Haberl.pdf](http://www.ooumweltanwaltschaft.at/xbcr/SID-3DCFCFBE-E1841E85/Vortrag_Haberl.pdf), 27.9.2011.

[130] Röstli, M.: Dosierungen Winterdienst Schweiz, Telefonat, 23.3.2012.

[131] Yildiz, H.: Winterdienst OPA, Telefonat, 21.3.2012.

[132] WEKA MEDIA GmbH & Co. KG: Verbesserung der Griffbarkeit von Asphaltdeckschichten, 2012, [http://www.weka.de/handwerk/mediadb/58373/78687/5998\\_M-Seiten\\_5998\\_01.pdf](http://www.weka.de/handwerk/mediadb/58373/78687/5998_M-Seiten_5998_01.pdf), 1.6.2012.

[133] Groenendijk, J.: Reparatur von lärmarmen Belägen, Telefonat, 8.5.2012.

[134] Sigrist, P.: Oberflächenveredlung, Telefonat, 30.5.2012.

[135] Gassmann, P.: Oberflächenbearbeitung Beton und Asphalt, Telefonat, 30.5.2012.

[136] Häring, W.: Asphaltreparatur durch Erwärmen der Asphaltdecke, 2012, <http://www.pflasterbau-asphalttechnik-haering.de/17953.html>, 27.1.2012.

[137] asi solutions: Rhinopatch - Rückformen, 2012, <http://www.asiplc.com/rhinopatch.htm>, 27.1.2012.

[138] Mondeel, D.: Rückformen, Telefonat, 19.4.2012.

[139] Lachmund, U.: Westliche Ringstrasse in Ingolstadt - Sanierungstests am 2OPA und Bautechnische Untersuchungen, 10.8.2011.

[140] Schmalz, M.: Rhinopatch (R) - Prüfungen zum Nachweis der Wirksamkeit für Offenporige Asphaltdeckschichten - Prüfbericht Nr. 10618-B1-I, 30 S., 2011.

- [141] Früchting, H.: Konservierungsmittel für Asphalte, Telefonat, 12.4.2012.
- [142] asi Solutions, p.: Rhinophalt, 2012, <http://www.asiplc.com/rhinophalt.htm>, 27.1.2012.
- [143] Schmid, R.: Fräsen, Telefonat, 7.3.2012.
- [144] Wanzenried, W.: Schäden an lärmarmen Belägen im Kanton Aargau, Telefonat, 18.4.2012.
- [145] Roggwiler, D.: Oberflächenverbesserung von Asphalt, Telefonat, 30.5.2012.
- [146] Strassenunterhalt, Planung und Durchführung von örtlichen Reparaturmassnahmen. Gemeindeverband, S., 1994.
- [147] Vassiliou, K.: Reparaturen an LãB, speziell OPAs, Telefonat, 16.4.2012.
- [148] Prozess- und wirkungsorientiertes Management für den betrieblichen Strassenunterhalt (noch nicht veröffentlicht, Erlaubnis bei Projektbeteiligten angefragt). 2010,
- [149] Dreyer, J.: Leise Beläge - Mustergemeinde Uster, 64 S., 2010.
- [150] Fässler, R.: Praxis-Beispiele aus dem städtischen Umfeld. BAFU-Tagung Olten, 2009, [http://www.svi.ch/udb/cproxta9WFAusschreibung\\_9.9.09.pdf](http://www.svi.ch/udb/cproxta9WFAusschreibung_9.9.09.pdf), 4.4.2012.
- [151] Göbbels, D.: Strategie Deckbeläge Kanton Zürich, 2009, [http://www.tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/Fachunterstuetzung/Veroeffentlichungen/\\_jcr\\_content/contentPar/publication\\_1/publicationitems/strategie\\_deckbel\\_ge/download.spooler.download.1291014142229.pdf/d9028-Vortrag+G%C3%B6bbels-09.pdf](http://www.tba.zh.ch/internet/audirektion/tba/de/Fachunterstuetzung/Veroeffentlichungen/_jcr_content/contentPar/publication_1/publicationitems/strategie_deckbel_ge/download.spooler.download.1291014142229.pdf/d9028-Vortrag+G%C3%B6bbels-09.pdf), 13.4.2011.
- [152] Collaud, F.: Nanosoft 1 an après la pose, 2011.
- [153] Rutsche, M.: AC MR 8 Schwimmbadstrasse Baden, 2012.
- [154] Sander, R.: Düsseldorfer Lärmoptimierte Asphaltdeckschicht LOA 5Düsseldorf, S.D. (D), 51 S., 2011.
- [155] Kanton\_Freiburg: Plan - Cheminée d'évacuation, sans bande cyclable, 2011.
- [156] Kanton\_Freiburg, Tiefbauamt\_TBA, und Sektion\_Strassenprojekte: Plan - Sac d'évacuation, sans bande cyclable, 2011.
- [157] ADAC: Minderung des Verkehrslärms in Städten und Gemeinden, 2011, [http://www.adac.de/\\_mmm/pdf/umwelt\\_minderung\\_des\\_verkehrslaerms\\_0511\\_76577.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/umwelt_minderung_des_verkehrslaerms_0511_76577.pdf), 3.4.2012.
- [158] Sabato, G.: Bushaltestellen auf lärmarmen Strassenbelägen, Telefonat, 24.4.2012.
- [159] Strail: Wir über uns, 2010, 25.4.2012.
- [160] Molter, W.: Lärmarme Bahnübergänge, Telefonat, 25.4.2012.
- [161] Strail: veloStrail, 2012, <http://www.strail.de/index.php?id=197&L=0#>, 25.4.2012.
- [162] ASTRA, Lärmarme Deckbelag MR 8 ASTRA (internes Dokument). 2011 S.
- [163] Cuénoud, J.-L.: Spectre de texture du Nanosoft, Email, 07.11.2011.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kosten von Lärmschutzmassnahmen ([ 12], S.32).....	11
Abbildung 2: Organigramm des Forschungspaketes lärmarme Beläge innerorts.....	13
Abbildung 3: Definition dauerhaft lärmarmen Beläge innerorts gem. BAFU/ASTRA ([20], S.18f.) .....	20
Abbildung 4: Einflussfaktoren auf lärmindernde Wirkungsweise [17].....	22
Abbildung 5: Wirkmechanismen lärmarme Beläge [17].....	23
Abbildung 6: Lebenszyklus lärmarmen Belag .....	24
Abbildung 7: Schematische Darstellung Einflussgrössen betrieblicher Unterhalt .....	26
Abbildung 8: Horizontale und vertikale Luftdrainage bei einem lärmarmen Belag.....	27
Abbildung 9: Texturspektren lärmarmen Beläge (links: PA 8 ([20], S. 31); rechts: AC MR [53]) .....	29
Abbildung 10: Verteilung des Maximums der Rauigkeitstiefe .....	29
Abbildung 11: Kategorie 3 zwischen dichten und porösen Belägen .....	34
Abbildung 12: Organigramm im betrieblichen Strassenunterhalt .....	82
Abbildung 13: Beispielgemeinde 1 „klein“, „mittel“ und „gross“ (Angabe der Reinigungskosten für den Fall, dass alle Beläge herkömmlich sind) .....	86
Abbildung 14: Kanaldeckel zwischen Fahrspuren (Detailzeichnung, Aufsicht) [155].....	112
Abbildung 15: In den Strassenrand reichender Schachtdeckel (Detailzeichnung, Aufsicht) [156] .....	112
Abbildung 16: Lärmarme Schachtabdeckung [157].....	112
Abbildung 17: Lärmarmen Bahnübergang [161] .....	113

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Interviewpartner.....	14
Tabelle 2: Vorgehen in fünf Schritten.....	16
Tabelle 3: Strassenverkehrsanlage und deren Teilsysteme gem. VSS SN 640 900a ([14], S. 8) .....	18
Tabelle 4: Tätigkeitsbereiche ([28], S. 122) .....	19
Tabelle 5: Parameter zur Beschreibung der akustischen Eigenschaften von Fahrbahnbelägen (nach [36], S.12) .....	23
Tabelle 6: Grundlage für die Kategorienbildung .....	27
Tabelle 7: Wertebereiche der drei ausgewählten Parameter .....	30
Tabelle 8 :Theoretisch mögliche Parameterkombinationen.....	31
Tabelle 9: Parameterkombinationen mit Plausibilitätsprüfung.....	32
Tabelle 10 : Belagskategorien.....	33
Tabelle 11: Referenzbeläge .....	35
Tabelle 12: Zustandsänderungen .....	37
Tabelle 13: Oberflächenglätte ([63], [66]) .....	38
Tabelle 14: Leichte Materialverluste ([63], [66]).....	39
Tabelle 15: Risse, Nähte (ohne Unebenheit) ([63], [66]) .....	39
Tabelle 16: Schwere Materialverluste ([63], [66]) .....	40
Tabelle 17 : Strukturelle Schäden mit Rissen und/oder Unebenheiten ([63], [66]).....	40
Tabelle 18: Reinigungsverfahren und ihre Wirkungsweise.....	42
Tabelle 19 : Reinigungsverfahren je Zustand .....	42
Tabelle 20: Winterdienstverfahren und ihre Wirkungsweise.....	43
Tabelle 21: Winterdienstverfahren je Zustand (nach [90] und Angaben aus der Praxis) .....	43
Tabelle 22: Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts und ihre Wirkungsweise .....	44
Tabelle 23: Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts je Schadensgruppe; K = kurativ, P = präventiv ([78]; [80], S.28; [96]) .....	45
Tabelle 24 : Schema zur Beurteilung der Wirkung der Unterhaltsverfahren .....	46
Tabelle 25: Wirkung der Unterhaltsverfahren auf die Belagsparameter.....	46
Tabelle 26: Wirkung der Unterhaltsverfahren auf den Belag.....	47
Tabelle 27: Werte der Parameter im Sollzustand .....	48
Tabelle 28: Entwicklung der massgebenden Parameter bei Verschmutzung .....	48
Tabelle 29: Entwicklung der massgebenden Parameter bei Schnee und Eis .....	49
Tabelle 30: Entwicklung der massgebenden Parameter bei Belagsschäden.....	50
Tabelle 31: Reinigung bei losem Schmutz.....	51
Tabelle 32 : Reinigung bei feststehendem Schmutz.....	52
Tabelle 33: Reinigung bei Ölspur.....	53
Tabelle 34: Winterdienst .....	53
Tabelle 35: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 1 „Oberflächenglätte“ .....	55
Tabelle 36: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 2 „Leichte Materialverluste“ .....	57
Tabelle 37: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 3 „Risse, Nähte ohne Unebenheiten“.....	58
Tabelle 38: Kleiner baulicher Unterhalt von Schadensgruppe 4 „Schwere Materialverluste“ .....	60
Tabelle 39: Unterhalt von Schadensgruppe 5 „Strukturelle Schäden mit Rissen und Unebenheiten“.....	62
Tabelle 40: Reinigung von Belägen der Kategorie 1 .....	66
Tabelle 41: Reinigung von Belägen der Kategorie 2 .....	67
Tabelle 42: Reinigung von Belägen der Kategorie 3 .....	68
Tabelle 43: Reinigung von Belägen der Kategorie 4 .....	68
Tabelle 44: Winterdienst; Dosierungen gemäss FGSV [90] .....	70
Tabelle 45: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 1 .....	71
Tabelle 46: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 2 .....	72
Tabelle 47: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 3 .....	73
Tabelle 48: Winterdienst bei Belägen der Kategorie 4 .....	74
Tabelle 49: Kleiner baulicher Unterhalt von Belägen der Kategorie 1 .....	77

Tabelle 50: Kleiner baulicher Unterhalt von Belägen der Kategorien 2 bis 4 .....	79
Tabelle 51: Ergebnisse Kostenerhebungen ([148], [28]) .....	84
Tabelle 52: Anteil der Kostenarten je Tätigkeitsbereich [148] .....	85
Tabelle 53: Beispiel Inventar einer „kleinen“ Gemeinde .....	89
Tabelle 54: Abschätzung Reinigungskosten Kategorie 1 .....	90
Tabelle 55: Durchschnittliche Winterdienstkosten .....	91
Tabelle 56: Aufteilung Kosten Winterdienst .....	91
Tabelle 57 : Szenarien im Winterdienst lärmarmen Beläge je Kategorie .....	92
Tabelle 58: Abschätzung Kosten Winterdienst mit lärmarmen Belägen .....	92
Tabelle 59: Durchschnittliche Kosten kleiner baulicher Unterhalt .....	93
Tabelle 60: Aufteilung Kosten kleiner baulicher Unterhalt .....	93
Tabelle 61: Abschätzung Kosten kleiner baulicher Unterhalt mit lärmarmen Belägen .....	95
Tabelle 62: Kosten betrieblicher Unterhalt von lärmarmen Belägen für eine kleine Gemeinden je Kategorie .....	96
Tabelle 63: Kosten betrieblicher Unterhalt von lärmarmen Belägen für eine mittlere Gemeinden je Kategorie .....	96
Tabelle 64: Kosten betrieblicher Unterhalt von lärmarmen Belägen für eine grosse Gemeinden je Kategorie .....	97
Tabelle 65: Untersuchte Beläge aus dem In- und Ausland .....	118
Tabelle 66 : Ergänzte und geschätzte Daten .....	118
Tabelle 67: <i>Parameterkombinationen der untersuchten Beläge</i> .....	119
Tabelle 68: Verfahren des kleinen baulichen Unterhalts in Abhängigkeit vom Schadensbild für alle Schadensbilder .....	120



# 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

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 31.07.2012

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA 2010/012  
 Projekttitel: Forschungsprojekt EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge innerorts  
 Enddatum: 31.07.2012

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Ziel des Forschungsprojekts EP 3 „Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge innerorts“ ist die Untersuchung und Auswahl geeigneter Verfahren für den betrieblichen Unterhalt von lärmarmen Belägen innerorts. Da systematische, quantitative Messungen der Wirkung eines Unterhaltsverfahrens auf lärmarme Beläge nicht vorliegen und im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen sind, erfolgt die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren auf Basis systematischer, empirisch-qualitativer Erkenntnisgewinnung in fünf Schritten: Ziel von Schritt 1 ist es, lärmarme Beläge anhand für den Unterhalt ähnlicher Eigenschaften in Gruppen (Belagskategorien) einzuteilen, um geeignete Unterhaltsverfahren für die einzelnen Belagskategorien aufzeigen zu können. Die Kategorisierung erfolgt anhand ausgewählter Parameter. Das Ergebnis sind die vier Belagskategorien: „Poröse Beläge“ (Kat. 1), „Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge“ (Kat. 2), „Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur“ (Kat. 3) und „Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur“ (Kat. 4). In Schritt 2 wird eine Recherche der existierenden Unterhaltsverfahren je Tätigkeitsbereich (Reinigung, Winterdienst, kleiner baulicher Unterhalt) vorgenommen. Weiterhin werden die durch äussere Einwirkungen veränderten Belagszustände (Zustandsänderungen) im Vergleich zum Einbauzustand anhand des Systems „Lebenszyklus lärmarme Beläge“ definiert. Schritt 3 umfasst die Beurteilung, welche Unterhaltsverfahren bei welchen veränderten Belagszuständen der lärmarmen Beläge geeignet sind und dies je Kategorie anhand von Referenzbelägen. Die Beurteilung erfolgt auf vier Wegen (qualitative Herleitung, Literaturangaben, Expertenaussagen, Angaben zur Handhabung der Referenzbeläge in der Praxis). Die Beurteilung der Verfahren erfolgt auf drei Betrachtungsebenen („technisch-mechanisch“, „akustisch“ und „betrieblich“). Als weitere Betrachtungsebene werden in Schritt 4 die Kosten für den Unterhalt lärmarmen Beläge untersucht (Betrachtungsebene „finanziell“). Dies geschieht auf der Grundlage der Entwicklung der bestehenden Unterhaltskosten bei einem Einsatz von lärmarmen Belägen in Gemeinden und Städten. Die Mehrkosten im betrieblichen Unterhalt betragen für poröse Beläge der Kategorie 1 bis zu 20 %, für die übrigen drei Kategorien 2 bis 4 bis zu 3 %. Schritt 5 stellt die Ergebnisse, das heisst die aus technisch-mechanischer, akustischer, betrieblicher und finanzieller Sicht empfohlenen Unterhaltsverfahren, für die veränderten Belagszustände je Belagskategorie, tabellarisch dar.

Die Auswertungen dieses Projekts ermöglichen aus Sicht des betrieblichen Unterhalts vereinfachend zwei Aussagen zum Einsatz von lärmarmen Belägen innerorts:

- Lärmarme Beläge der Kategorie 1 „porös“:
  - akustische Wirkung kann durch Unterhalt nicht langfristig sichergestellt werden
  - besondere Anforderung bei der Anwendung bestimmter Verfahren
  - teilweise Spezialverfahren/Spezialgeräte erforderlich
  - Unterhalt organisatorisch aufwendiger in Gemeinde zu integrieren
  - relativ hohe Mehrkosten (bis zu 20%) im Vergleich zu herkömmlichen Belägen
  - Einsatz innerorts nicht prioritär
- Lärmarme Beläge der Kategorien 2 „wasserundurchlässig, hohlraumreich“, 3 „wasserundurchlässig, mit grober Textur“ und 4 „wasserundurchlässig, mit feiner Textur“
  - akustische Wirkung relativ unabhängig vom Unterhalt
  - keine besondere Anforderung bei der Anwendung bestimmter Unterhaltsverfahren
  - keine Spezialverfahren erforderlich; Spezialgeräte bedingt erforderlich
  - Unterhalt organisatorisch einfach einzubinden
  - geringe Mehrkosten (bis zu 3%)
  - Einsatz innerorts vielversprechend



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Zielerreichung:**

Die Projektziele wurden im Forschungsantrag wie folgt formuliert:

Es sollen die spezifischen Besonderheiten für den Betrieb und Unterhalt (Winterdienst, Reinigung, kleiner baulicher Unterhalt, VSS Norm 640 900a) lärmarmen Beläge innerorts identifiziert und mögliche Lösungsansätze in Form von geeigneten Unterhaltsverfahren, deren Ausführungsintensität und -frequenz sowie der optimalen Einbindung im Gesamtnetz erarbeitet werden. Die Lösungsansätze sollen in Form von Handlungsempfehlungen verfasst werden.

Nach der Entwicklung eines Systems zur Kategorisierung von existierenden lärmarmen Belägen und auch möglichen Neuentwicklungen werden in der Arbeit die Besonderheiten im Unterhalt lärmarmen Beläge sowie geeignete Unterhaltsverfahren je Kategorie aufgezeigt. Weiterhin werden die finanziellen Auswirkungen auf den kommunalen Strassenunterhalt einer Gemeinde sowie die organisatorische Einbindung in den Unterhalt des Gesamtstrassennetze dargestellt. Die Tabellen in Kapitel 5 der Arbeit dienen direkt als Handlungsempfehlungen in der Praxis.

**Folgerungen und Empfehlungen:**

Da systematische, quantitative Messungen der Wirkung eines Unterhaltsverfahrens auf lärmarme Beläge nicht vorliegen und im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen sind, erfolgt die Auswahl geeigneter Unterhaltsverfahren auf Basis systematischer, empirisch-qualitativer Erkenntnisgewinnung.

Zur Erhöhung der Aussagefähigkeit der Untersuchung der Eignung von Unterhaltsverfahren wären systematische (für alle Kategorien) empirisch-quantitative Messungen und Tests sinnvoll, welche die Entwicklung der Lärminderung vor und nach Anwendung des Verfahrens messtechnisch erfassen sollten. Die systematische Auswertung der Erkenntnisse aus Literatur, von Experten und aus Berichten der Praxis zeigt den Stand der Forschung und Praxis auf.

Die meisten lärmarmen Beläge in der Schweiz und in Deutschland wurden erst vor wenigen Jahren (<3-5) eingebaut. Besonders der kleine bauliche Unterhalt funktioniert in der Praxis auf Basis von „trial and error“; treten bestimmte Schäden auf, entscheiden die Verantwortlichen aufgrund ihres Erfahrungshintergrundes und auf Basis von Recherchen im Einzelfall, wie sie diese beheben wollen und führen Verfahrenstests durch.

Systematische Aufzeichnungen oder Erfahrungsberichte gibt es nicht. In den Niederlanden bspw. werden kurze Lebensdauern bewusst in Kauf genommen und ein Ersatz des lärmarmen Belags nach bereits 5 bis 10 Jahren eingeplant, so dass der kleine bauliche Unterhalt in der Regel eine untergeordnete Rolle spielt. Sollte sich die in diesem Projekt entwickelte Kategorisierung als pragmatisch in der Anwendung erweisen, könnten auch weitere qualitative Forschungen mit Zunahme des Alters der Beläge und einer systematischen Erfassung der Erfahrungen ein umfassendes Bild aufzeigen.

**Publikationen:**

- Article dans Route & Trafic prévu en 2013

**Der Projektleiter/die Projektleiterin:**

Name: Staubli

Vorname: Richard

Amt, Firma, Institut: WIFpartner AG, Bachmattstrasse 53, 8048 Zürich

**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:

La commission a constaté que les buts du mandat de recherche ont été atteints sur la base d'une démarche scientifique. Ils se sont principalement traduits par l'établissement de 4 catégories de revêtements pour lesquels des fiches ont été établies ainsi que par une évaluation des sur-coûts liés à l'entretien des enrobés peu bruyants.

La commission a émis quelques réserves sur le choix des critères utilisés pour la définition des catégories. Ces réserves concernaient les valeurs limites utilisées pour les teneurs en vide (chevauchement) ainsi que l'absence de quantification de la drainabilité des revêtements. Basée sur un échantillon limité, l'évaluation financière doit en conséquence être considérée avec une certaine prudence.

Umsetzung:

weitergehender Forschungsbedarf:

Procéder à une évaluation quantitative de l'effet des méthodes d'entretien sur les propriétés phoniques des LAB.

Einfluss auf Normenwerk:

aucun

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

Name: Seiler

Vorname: Luzia

Amt, Firma, Institut: ASTRA Bundesamt

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

## Verzeichnis der Forschungsprojekte

### Forschungsberichte seit 2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen <i>Coopération dans les gares et arrêts</i> <i>Coopération at railway stations and stops</i>	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs Activity oriented analysis of induced travel demand Analyse orientée aux activités du trafic induit	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung <i>Approches innovantes de la gestion du stationnement</i> <i>Innovative approaches to parking management</i>	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer? <i>Driver Inattention and Distraction as Cause of Accident: How do Drivers Behave in Cars?</i> <i>L'inattention et la distraction: comment se comportent les gens au volant?</i>	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel <i>Acoustical guidance in road tunnels</i> <i>Guidage acoustique dans les tunnels routiers</i>	2012
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining? <i>De nouvelles découvertes sur le comportement de mobilité par Data Mining?</i> <i>New findings on the mobility behavior through Data Mining?</i>	2011
1359	SVI 2004/003	Wissens- und technologie transfer im Verkehrsbereich <i>Know-how and technology transfer in the transport sector</i> <i>Transfert de savoir et de technologies dans le domaine des transports</i>	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten <i>Pronostics de trafic avec des données en temps réel</i> <i>Traffic forecast with real-time data</i>	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen <i>Principes de bases concernant la conception, la construction et la durabilité de voies de raccordement</i> <i>Basic Principles on the Design, Construction and Sustainability of Sidings</i>	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betongranulat aus Betongranulat	2011
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften <i>Potentiel du covoiturage</i> <i>Potential of Car Pooling</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schwiessnähte von KDB <i>Développement d'une méthode d'essais non-déstructif pour des soudures de membranes polymères d'étanchéité Development of a nondestructive test method for welded seams of polymeric sealing membranes</i>	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen <i>Signalisations dynamiques sur des routes principales Dynamic signalling at primary distributors</i>	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau <i>Expériences dans la construction de ponts en Suisse Experiences in Swiss Bridge Construction</i>	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen <i>Harmonisation of procedures and user interface in Tunnel- Process Control Systems Harmonisation des processus et des interfaces utilisateurs dans les systèmes de supervision de tunnels</i>	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität <i>Mode of action and potential of combined mobility Mode d'action et le potentiel de la mobilité combinée</i>	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr <i>Bénéfices liés à une réduction des temps de parcours du trafic voyageur Benefits of travel time savings in passenger traffic</i>	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel <i>Influence de l'écoulement souterrain sur le gonflement du Keuper gypseux dans le Tunnel du Chienberg Influence of groundwater flow on the swelling of the Gipskeuper formation in the Chienberg tunnel</i>	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich <i>Réflexions du trafic routier aux ouvrages d'art Noise reflections on structures in the street</i>	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen <i>Data storage in tunnel process control systems Enregistrement ds données de systèmes de supervision de tunnels</i>	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen <i>Exigences par rapport à la résistance à la carbonatation des bétons Requirements for the carbonation resistance of concrete mixes</i>	2012
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen <i>Résistance à la corrosion des aciers d'armature inoxydables Use of stainless steels in concrete structures</i>	2012