



Forschungspaket: Lärmarme Be- läge Innerorts: Synthesebericht

**Paquet de recherche: Revêtements de routes peu bruyants
à l'intérieur des localités:
Rapport de synthèse**

**Research Package:
Low-noise Pavements in Urban Areas:
Report synthesis**

Nibuxs Sàrl
Jacques Perret, Dr. sc., ing. dipl. EPF

Techdata SA
Jean-Pierre Bolli, ing. dipl. ETS

Lombardi Ingegneri Consulenti SA,
Thomas Arn, Dott. ing. dipl. SPF

**Forschungsprojekt ASTRA 2010/004 auf Antrag des Bundesamtes
für Strassen (ASTRA)**

November 2017

1620

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

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

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

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

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

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

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

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



Forschungspaket: Lärmarme Beläge Innerorts: Synthesebe- richt

**Paquet de recherche: Revêtements de routes peu bruyants
à l'intérieur des localités:
Rapport de synthèse**

**Research Package:
Low-noise Pavements in Urban Areas:
Report synthesis**

Nibuxs Sàrl
Jacques Perret, Dr. sc., ing. dipl. EPF

Techdata SA
Jean-Pierre Bolli, ing. dipl. ETS

Lombardi Ingegneri Consulenti SA,
Thomas Arn, Dott. ing. dipl. SPF

**Forschungsprojekt ASTRA 2010/004 auf Antrag des Bundesamtes
für Strassen (ASTRA)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Jean - Pierre Bolli, Gesamtprojektleitung (GPL-LAB)

Mitglieder

Jacques Perret, Teilprojektleitung1 (TPL1)

Thomas Arn, Teilprojektleitung 2 (TPL2)

Begleitkommission

Präsidentin

Luzia Seiler

Mitglieder

Sabine Würmli

Hans-Peter Beyeler

Sophie Hoehn

André Magnin

Olivier Jacobi

Benedikt Eberle

Cyril Durussel

Nicolas Gouneaud

Martin Bürgi (bis 2014)

Hanspeter Gloor

Dejan Lukic

Yves Pilonel

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Ausgangslage	13
1.2 Ziel des Forschungspaketes	13
1.3 Kurzbeschreibung der Teilprojekte	13
1.3.1 TP1 Forschung und Innovation	13
1.3.2 TP2 Teststrecken und Validierung	14
1.3.3 TP3 Langzeit Monitoring	15
1.4 Organisation und Beteiligte	15
1.5 Bezeichnung der lärmarmen Beläge im Rahmen des FOPAK LAB	16
2 Teilprojekt 1: Forschung und Innovation	17
2.1 EP1: Rezeptierung von lärmarme Beläge [15]	17
2.1.1 Ziel und Methodik	17
2.1.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	18
2.2 EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge [16]	19
2.2.1 Ziel und Methodik	19
2.2.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	20
2.3 EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge [17]	22
2.3.1 Ziel und Methodik	22
2.3.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	23
2.4 EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge [18]	25
2.4.1 Ziel und Methodik	25
2.4.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	26
2.5 EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden [19]	28
2.5.1 Ziel und Methodik	28
2.5.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	28
2.6 EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den Potenziellen Einsatz in der Schweiz [20]	30
2.6.1 Ziel und Methodik	30
2.6.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	31
2.6.3 Bewertung von SDA4 und SDA8	33
2.7 EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen [21]	34
2.7.1 Ziel und Methodik	34
2.7.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	36
2.8 EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung [22]	37
2.8.1 Ziel und Methodik	37
2.8.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen	38
2.9 Nicht umgesetzte Projektideen	39
2.9.1 EP6: Allgemeine Grundlagen für die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure des Strassenbaus beim Einsatz lärmarmen Beläge	39
2.9.2 EP9: Grundlagen zur Entwicklung eines neuen akustischen Emissionsmodelles	39
2.9.3 EP11: Indirekte Messmethode für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge	40
3 Teilprojekt 2: Teststrecken	41
3.1 Ziele des TP2	41

3.2	Vorgehen, Methodik	41
3.2.1	Einleitung	41
3.2.2	Auswahl der Teststrecken.....	41
3.2.3	Ablauf der Realisierung der Teststrecken.....	43
3.2.4	Ausschreibungsunterlagen	44
3.2.5	Mischgutsorten und -Typen	44
3.3	Ergebnisse	44
3.3.1	Hohlraumgehalt.....	44
3.3.2	Verdichtungsgrad.....	46
3.3.3	Bindemittelgehalt	46
3.3.4	Gesteinskörnungen.....	47
3.3.5	Siebkurven	48
3.4	Erkenntnisse	50
3.4.1	Zusammenarbeit mit den Normierungsinstanzen.....	50
3.4.2	Zusammenarbeit mit Behörden, Unternehmungen, Lieferwerke und Labors.....	50
3.4.3	Praktische Erfahrungen und Empfehlungen	50
3.4.4	Nachbegehungen.....	52
4	Teilprojekt 3: Monitoring [23].....	55
4.1	Ziel und Methodik	55
4.2	Wichtige Ergebnisse und Schlussfolgerungen	56
4.2.1	Ergebnisse	56
4.2.2	Schlussfolgerungen	59
4.3	Griffigkeitsmessungen	61
5	Synthese	63
5.1	Allgemeine Hinweise	63
5.2	Fachliche Synthese	65
5.2.1	Einleitung	65
5.2.2	Labor	65
5.2.3	Einbau	66
5.2.4	Wissen und Wissensaustausch	67
5.2.5	Empfehlungen für weitergehende Forschungen.....	68
5.3	Empfehlungen für die Normierung	69
	Anhänge.....	71
	Glossar.....	111
	Literaturverzeichnis.....	113
	Projektabschluss	115
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	119

Zusammenfassung

Die Ziele des Forschungspaketes "Lärmarme Beläge innerorts" waren:

- 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.

Das Forschungspaket basiert auf drei voneinander abhängigen Teilprojekten, nämlich:

- TP1: Forschung und Innovation
- TP2: Test und Validierung
- TP3: Langzeit Monitoring

Im **TP1** wurden 8 Einzelprojekte (EP) bearbeitet:

- EP1: Rezeptierung von Lärmarme Beläge
- EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge
- EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge
- EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge
- EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden
- EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den potenziellen Einsatz in der Schweiz
- EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen
- EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung

Im **TP2** wurden 15 Teststrecken mit lärmarmen Beläge gebaut. Mit der Realisierung dieser Teststrecken im Innerortsbereich konnten ergänzend zur Forschung konkrete praktische Erfahrungen gewonnen werden. Im **TP3** wurden diese 15 eingebauten Teststrecken über einen Zeitraum von 3 bis 5 Jahren messtechnisch und akustisch begleitet und dokumentiert.

Der vorliegende Bericht gibt eine Übersicht der erzielten Ergebnisse der verschiedenen Teilprojekte des TP1 (Kapitel 2), des TP2 (Kapitel 3) und des TP3 (Kapitel 4) wieder. Die Beschreibung der Einzelprojekte und der erreichten Ergebnisse aus dem TP1 und TP3 wurden im vorliegenden Bericht auf das notwendige Minimum zusammengefasst, da es zu jedem einzelnen Thema einen eigenen Forschungsbericht oder Abschlussbericht gibt, der öffentlich zugänglich ist, bzw. beschafft werden kann. Das TP2 hingegen wird ausführlicher behandelt, da es dazu keinen eigenständigen, frei verfügbaren Bericht gibt.

Am Ende des Syntheseberichtes wurde eine Übersicht der Ergebnisse über das Forschungspaket erstellt (Kapitel 5). Das entsprechende Kapitel wurde ohne Mithilfe der in den TP (TP1 – TP3) beteiligten Stellen erstellt. Ziel war es, eine möglichst externe Sicht der erarbeiteten Ergebnisse zu erarbeiten. Besonders hervorzuheben sind die im Laufe des Forschungspaketes erreichten Fortschritte für lärmarmen Beläge (insbesondere von semidichten Deckschichten des Typs SDA). Es bestehen aber auch heute immer noch Schwierigkeiten beim Einsatz solcher Beläge.

Mit dem Forschungspaket konnten folgende Aussagen bestätigt werden:

- Die Hauptverursacher für den Strassenlärm sind die Vibrationen und der « Pumping-Effekt » zwischen Fahrzeugreifen und Strassenbelag.
- Vibrationen: Die Lösung muss bei der Oberflächentextur des Belages gefunden werden. Diese muss möglichst viele Kontaktpunkte zwischen Strassenbelag und Fahr-

zeugreifen aufweisen. Leider ist es nicht möglich, diese Eigenschaft an einen Belag vor dem Einbau vorauszusagen. Hingegen ist es relativ einfach, aufgrund der Analyse der Oberflächentextur Indikatoren für die Lärmreduktion nach dem Einbau zu messen.

- « Pumping-Effekt »: Es wurde festgestellt, dass hier weniger der Hohlraumgehalt als vielmehr die Kommunikation zwischen den Hohlräumen eine Rolle spielen. Es existiert jedoch noch keine zuverlässige Methode zur Messung dieser Kommunikation. Der Strömungswiderstand kann als Indikator verwendet werden, die Auswertung der Messergebnisse muss jedoch immer unter Berücksichtigung der Oberflächentextur erfolgen.
- Heute verfügt man über keine Möglichkeit die Entwicklung der beiden oben erwähnten Parameter vorauszusagen.

Neben den aufgeführten Bestätigungen können weitere Folgerungen aus dem Forschungspaket geschlossen werden:

- Die Herstellung von SDA-Belägen wird immer besser beherrscht. Dank dieser Beläge ist es möglich kurzfristige, hohe Lärmreduktionen zu erhalten. Die Ergebnisse aus der Forschung für die Herstellung solcher Beläge wurden in einer Schweizer Regel des VSS (SNR 640 436) zusammengefasst und publiziert. Sie kann als Grundlage für die Spezifikation lärmarmen Beläge in Ausschreibungen verwendet werden.
- Die Überwachung von Teststrecken während einer relativ kurzen Zeit hat ergeben, dass die anfänglich gute akustische Performance nicht länger als 4 bis 5 Jahre anhält.
- Das Rechenmodell SPERoN liefert Ergebnisse in Form von Spektren, welche eine Analyse der Akustik aufgrund der Oberflächentextur und der Hohlräume ermöglicht: im Falle einer Reduktion der akustischen Eigenschaften kann herausgefunden werden, ob diese auf eine Verschlechterung der Oberflächentextur oder auf die Verstopfung der Hohlräume zurück zu führen ist.
- Es existiert weiterhin keine effiziente Messmethode zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften von Belägen im Labor, auch keine für eine kurzfristige Prognose.

Das Forschungspaket hat schliesslich aufgezeigt, dass der Dialog zwischen den Belagsspezialisten und den Akustikern sehr wichtig ist: einerseits müssen die Spezialisten für Strassenlärm in der Lage sein den Belagsspezialisten gegenüber klar zu erläutern welche mechanischen Eigenschaften eines Belages für die Lärmreduktion verantwortlich sind, andererseits müssen die Akustiker verstehen, welche Komponenten des Mischgutes die Dauerhaftigkeit eines Belages gewährleisten. Allein die Vertiefung des Dialoges zwischen den beiden Spezialisten führt zu einer Verbesserung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge.

Résumé

Les buts du paquet de recherche « Revêtements de routes peu bruyants à l'intérieur des localités » étaient :

- de favoriser l'utilisation des revêtements peu bruyants et de donner une nouvelle impulsion au développement de ces matériaux ;
- d'accroître l'attractivité des revêtements peu bruyants et aboutir à une situation de Win-Win avec les propriétaires de routes.

Le paquet de recherche était divisé en trois projets partiels:

- TP1: Recherche et innovation
- TP2: Test et validation (Mise à l'épreuve in situ sur des sections tests)
- TP3: Monitoring à long terme

Le **TP1** consacré à la recherche comprenait 8 projets individuels (EP):

- EP1: Formulation des revêtements peu bruyants
- EP2: Détermination de la durabilité des couches d'enrobé phono-absorbant en laboratoire
- EP3: Exploitation et entretien de revêtements peu bruyants
- EP4: Méthodes d'essai pour la vérification des caractéristiques acoustiques des couches d'enrobé phono-absorbant en laboratoire
- EP5: Amélioration de la précision des méthodes de mesure acoustique
- EP7: Applicabilité en Suisse des revêtements peu bruyants innovants
- EP8: L'efficacité acoustique des mesures de nettoyage des revêtements peu bruyants
- EP10: Sensibilité des propriétés acoustiques des revêtements peu bruyants à la variabilité de leur production en centrale

Dans le **TP2**, 15 tronçons tests avec des revêtements peu bruyants ont été construits à l'intérieur de localités. La réalisation de ces tronçons tests avait pour objectif de compléter la recherche avec des expériences concrètes issues de la pratique. Le **TP3** a effectué et analysé des mesures technique et acoustique sur ces 15 tronçons tests pendant une période allant de 3 à 5 ans.

Le présent rapport propose d'abord une vue d'ensemble des résultats obtenus dans le cadre du TP1 (Chapitre 2), du TP2 (Chapitre 3) et du TP3 (Chapitre 4). La présentation des divers projets de recherche du TP1 et des résultats obtenus dans le cadre du TP3 a volontairement été réduite à un strict minimum, ces travaux étant l'objet de rapports spécifiques. Il n'en est pas de même pour le TP2 dont les résultats sont présentés ici de façon exhaustive, aucun rapport spécifique n'ayant été publié.

Cette vue d'ensemble est complétée par un bilan (chapitre 5) des enseignements pouvant être tirés de l'ensemble du projet. Ce chapitre de synthèse a été rédigé sans le concours des centres de recherches ayant participé aux TP1, TP2 et TP3, ceci afin d'offrir une lecture aussi neutre que possible des résultats obtenus. Il souligne les importants progrès enregistrés dans le domaine des revêtements peu bruyants (tout particulièrement les mélanges semi-denses de type SDA) durant le paquet de recherche, tout en mettant en évidence les difficultés auxquelles la généralisation de leur usage se heurte encore.

Le projet a ainsi permis de confirmer les éléments suivants :

- Les deux causes principales du bruit engendré par les revêtements routiers sont les vibrations et le « pumping-effect ».

- Pour les vibrations, la réponse doit d'abord être cherchée au niveau de la texture du revêtement, qui doit augmenter autant que possible les points de contact chaussée-pneumatiques. Si la qualité de la texture avant la réalisation d'un chantier reste difficile à anticiper, on dispose en revanche d'indicateurs (issus de mesures de la texture) permettant de juger de son efficacité une fois le revêtement posé.
- Pour le « pumping-effect », on s'est rendu compte que, plus que la teneur en vide, c'est surtout la communicabilité des vides qui est déterminante et qu'on ne dispose toujours pas d'une méthode de mesure permettant une évaluation fiable. Si la mesure de la résistance à l'air peut servir d'indicateur, l'analyse de cette mesure ne doit pas être faite sans tenir compte de la texture.
- On ne dispose actuellement pas de réelle solution pour anticiper l'évolution de ces deux paramètres.

En plus de ces confirmations, il est possible de tirer les enseignements suivants :

- La maîtrise de la réalisation des revêtements de type SDA s'est considérablement améliorée et ces revêtements permettent généralement d'obtenir de bonnes performances acoustiques à court terme. Ces enseignements se sont notamment traduits par la publication par la VSS d'une règle (SNR 640 436) définissant ce type de revêtement qui peut servir de base pour la spécification de revêtements peu bruyants dans des soumissions.
- Le suivi des planches (sur une période relativement courte) tend en revanche à démontrer que les bonnes performances acoustiques initiales ne se maintiennent guère au-delà de 4 à 5 ans.
- Le modèle SPERoN fournit des résultats sous forme de spectres, dont l'analyse permet d'évaluer la part des performances acoustiques due à la texture et celle due aux vides : en cas de diminution des performances acoustiques, il est possible de savoir si cela est plutôt dû à une dégradation de la texture ou à un colmatage des vides.
- On ne dispose toujours pas de moyen efficace d'évaluer en laboratoire les performances acoustiques d'un revêtement, même à court terme.

Finalement, le projet aura aussi montré l'importance du dialogue entre spécialiste des revêtements et spécialistes des mesures du bruit routier : d'un côté, les acousticiens doivent être en mesure d'expliquer clairement aux spécialistes des matériaux routiers quelles sont les qualités mécaniques que doivent avoir les revêtements pour réduire les émissions sonores. De leur côté, les acousticiens doivent apprendre quels sont les composants des mélanges bitumineux qui garantissent la durabilité de leurs performances. C'est en approfondissant ce dialogue que l'on sera en mesure d'améliorer la durabilité des revêtements phoniques.

Summary

The goals of the research package for “Low-noise road pavements in urban areas” are:

- to favor using low-noise pavements and promote a new phase for the development of this kind of material;
- to increase attractiveness of low-noise pavements and to lead to a Win-Win situation for the owner of roads.

The research package was structured in 3 sub-projects:

- TP1: Research an innovation
- TP2: Test an validation
- TP3: Long term Monitoring

The **TP1** included finally 8 research projects (EP):

- EP1: Mix design of low-noise asphalt
- EP2: Laboratory assessment of the durability of low noise pavements
- EP3: Operations and Maintenance of Low-noise pavements
- EP4: Laboratory methods for acoustical characteristics of low noise pavements
- EP5: Optimisation of the accuracy of acoustic measurements
- EP7: Applicability of Low Noise Asphalt in Switzerland
- EP8: Acoustic effectiveness of cleaning measures on low-noise pavements
- EP10: Sensitivity of acoustic properties of low-noise pavements related to mixing plant production variability

15 test-sections were built within different localities for the **TP2**. The aim was to add effective experiments based on the practice to the research package. In the **TP3** project technical and acoustical measurements were performed and analyzed on the 15 test sections over a three-to-five-year period.

The present report offers a survey of the results obtained in the context of the TP1, TP2 and TP3. The presentation of the 8 research projects (EP) of the TP1 as well as the results obtained in the context of the TP3 have deliberately been cut down to their bare minimum, since this work is dealing with specific reports. However, for the TP2, since its objective has already been presented here exhaustively, no specific report has been published.

The global survey of the research package is completed with a synthesis (chapter 5) that summarizes the main learnings of the whole project. This short chapter was written without the cooperation of the research centers who have participated in the TP1, TP2 and TP3 projects, in order to offer as much as possible a neutral reading of the results obtained in each project. This chapter particularly highlights the significant progress obtained in the field of low noise asphalts (especially for the semi-dense mixture SDA) during the research package, However the difficulties with generalization of their use is not completely resolve.

The project confirmed the following elements :

- The two main causes of the noise induced by the wearing courses are vibrations and « pumping-effect ».
- About vibrations, the solution mainly depends on the texture of the wearing courses, which must increase as much as possible the points of contact between the pavement and the tires. Although it is difficult to anticipate the quality of the texture before the construction of the pavements, there are some indicators allowing to evaluate its efficiency once the asphalt is laid.

- About « pumping-effect, more than the void content, it is the communicability among the voids which is decisive and that a method of measurement allowing a reliable evaluation is not always available. The measurement of the air flow resistance can be used as an indicator, but the analysis of this measurement must nevertheless be done with taking the texture into account.
- Currently there is no reliable solution to anticipate the evolution of these two parameters.
- In addition to these confirmations, the following lessons can be learnt:
- The knowledge by building SDA pavements has considerably improved and these types of pavements generally allow good acoustical performances during the one or two first years. This knowledge contributed to the publication by the VSS of a standard (SN640 436) for the SDA layers, which can be used as a basis for the specification of low noise asphalt.
- The monitoring of the test-sections (over a relatively short period) tends to demonstrate that these good initial acoustic performances hardly last for more than four to five years.
- The SPERoN model provides results in spectrums, whose analysis enables the evaluation of the portion of the acoustical performances linked to the texture and the one linked to the voids: in case of reduction of the acoustical performances, it is possible to know whether it is mainly caused by the deterioration of the texture or by the obstruction of the voids.
- No efficient laboratory tests of evaluating the acoustical performances of bituminous mixtures is available yet, even concerning the short run.

Finally, the project will also have underlined the importance of improving the quality of the communication between pavement specialists and specialists of road noise measurements : The acousticians should be able to explain clearly to the road material specialists what mechanical qualities the asphalt requires to reduce the noise emissions; and furthermore, the acousticians should understand which components of the bituminous mixtures can guarantee the durability of its performances.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Mit den Forschungsprojekten ASTRA 2004/006-007 und ASTRA 2005/006 wurde im Jahr 2003 eine umfassende Untersuchung zum Thema "Lärmarme Beläge im Niedergeschwindigkeitsbereich" gestartet. Sie beinhaltete die Realisierung von Pilotstrecken mit den entsprechenden belagstechnischen und akustischen Prüfungen. Es wurden verschiedene Belagstypen evaluiert, welche ein Potential als lärmarmen Belag aufwiesen. Diese Beläge wurden in Teststrecken eingebaut.

Im Schlussbericht vom 14. Juli 2008 [11] wurden erste Empfehlungen für die praktische Anwendung von lärmarmen Belägen formuliert. Aufgrund der durchgeführten Messungen, verfügte man zwischenzeitlich über eine 3- bis 5-jährige Messreihe, welche erste Schlussfolgerung bezüglich Langzeitverhalten sowohl in akustischer als auch in belagstechnischer Hinsicht ermöglichte.

Diese positiven Erkenntnisse hatten die Bundesämter ASTRA und BAFU dazu bewogen, ein Forschungspaket zum Thema "Lärmarme Beläge innerorts" (FOPAK LAB) zu starten und dadurch die Kontinuität in der Behandlung dieser wichtigen Fragestellung zu gewährleisten. Anlässlich der Direktorenkonferenz vom 26. Juni 2008 wurden die entsprechenden Vorgaben definiert.

1.2 Ziel des Forschungspaketes

Das Ziel des Forschungspaketes "Lärmarme Beläge innerorts" war:

- 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.

Das Forschungspaket basiert auf drei voneinander abhängigen Teilprojekten, nämlich:

- TP1: Forschung und Innovation
- TP2: Test und Validierung (In situ Überprüfung mittels Teststrecken)
- TP3: Langzeit Monitoring

Das Teilprojekt 4 (TP4) als Förderprogramm von Kantonalen und Kommunalen Sanierungsstrecken war nicht Bestandteil des Forschungspaketes.

1.3 Kurzbeschreibung der Teilprojekte

1.3.1 TP1 Forschung und Innovation

Das TP1 wurde gemäss den von den beiden Bundesämtern definierten Vorgaben in zwei Phasen durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 11 Einzelprojekte (EP) definiert, 10 davon wurden ausgeschrieben und 8 EP an verschiedene Forschungsstellen vergeben. In der ersten Phase wurden die EP1 bis 5 und in der zweiten Phase die EP7, 8 und 10 bearbeitet. Drei EP (EP6, 9 und 11) wurden aus unterschiedlichen Gründen nicht beauftragt (Erläuterungen siehe Kap. 2.9).

Im Rahmen des FOPAK LAB wurden die nachstehenden Einzelprojekte (EP) bearbeitet:

- EP1: Formulation des revêtements peu bruyants
Projet de recherche ASTRA 2010/010, rapport 1552, Février 2016
EPFL/Lavoc [15]
- EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge
Forschungsprojekt ASTRA 2010/011, Bericht 1559, März 2016
IMP Bautest AG / Müller-BBM Schweiz AG [16]
- EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge
Forschungsprojekt ASTRA 2010/012, Bericht 1423, September 2013
WIFpartner AG [17]
- EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge
Forschungsprojekt ASTRA 2010/013, Bericht 1564, Mai 2016
Müller-BBM Schweiz AG / IMP Bautest AG [18]
- EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden
Forschungsprojekt ASTRA 2010/014, Bericht 1566, Juni 2016
Müller-BBM Schweiz AG [19]
- EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den potenziellen Einsatz in der Schweiz
Forschungsprojekt ASTRA 2013/002, Bericht 1561, April 2016
Grolimund + Partner AG [20]
- EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen
Forschungsprojekt ASTRA 2013/003, Bericht 1560, April 2016
Grolimund + Partner AG [21]
- EP10: Sensivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung
Forschungsprojekt ASTRA 2013/004, Bericht 1616, Oktober 2017
Müller-BBM Schweiz AG [22]

Für jedes dieser Einzelprojekte wurde ein Forschungsbericht erstellt, welcher unabhängig veröffentlicht wurde. Das Kapitel 2 des vorliegenden Syntheseberichts gibt lediglich eine Übersicht der ausgeführten Forschungsarbeiten und die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen EP wieder. Die vollständigen Forschungsberichte stehen über die Mobility-Plattform des VSS zur Verfügung (<http://www.mobilityplatform.ch/>)

1.3.2 TP2 Teststrecken und Validierung

Mit der Realisierung innovativer lärmarmen Beläge auf Teststrecken im Innerortsbereich konnten ergänzend zur Forschung konkrete praktische Erfahrungen gewonnen werden. Zu diesem Zweck wurden die Tiefbauämter der Kantone und andere interessierte Strasseneigentümer aufgefordert, potenzielle Teststrecken zu melden. Als Ausgleich für den Mehraufwand und das Risiko, das beim Einsatz von nicht normierten Belägen entsteht, wurde für die Teststrecken eine pauschale Entschädigung von 14 CHF/m² vergütet.

Aufgrund der finanziellen, zeitlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen war die Anzahl der Strecken auf 15 begrenzt. Von den 135 gemeldeten Teststrecken konnte daher auch nur ein kleiner Teil im Rahmen des TP2 realisiert werden.

Das TP2 wurde im Rahmen des nachstehenden Forschungsauftrages bearbeitet:

- TP2: Validierung Teststrecken
Forschungsauftrag ASTRA 2010/027
Lombardi Ingegneri Consulenti SA, Dr. Thomas Arn

Das Teilprojekt wurde Ende 2016 abgeschlossen. Es wurde kein eigenständiger Forschungsbericht publiziert. Stattdessen werden die Ergebnisse vollumfänglich im Kapitel 3 dieses Berichtes und dem zugehörigen Anhang wiedergegeben.

1.3.3 TP3 Langzeit Monitoring

Die Aufgabe des TP3 war es, die im Rahmen des TP2 eingebauten Deckschichten und vier Beläge aus den Vorgängerprojekten über einen Zeitraum von 3 bis 5 Jahren mess-technisch und akustisch zu begleiten und zu dokumentieren. Die akustische und belagstechnische Alterung der Beläge wurde im zeitlichen Verlauf erfasst und die Ursachen bzw. Gründe unter Bezug der Ergebnisse aus den belagstechnischen Untersuchungen identifiziert.

Das TP3 wurde im Rahmen des nachstehenden Forschungsauftrages bearbeitet:

- Forschungspaket Lärmarme Beläge innerorts
Teilprojekt (TP) 3: Langzeitmonitoring
IMP Bautest AG, Grolimund + Partner AG, Müller-BBM Schweiz AG [23].

Das TP 3 wurde Ende 2016 abgeschlossen. Die wesentlichen Ergebnisse aus dem TP3 sind im vorliegenden Bericht im Kapitel 4 zusammen gestellt. Der vollständige Schlussbericht kann von der Homepage des BAFU heruntergeladen werden <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/publikationen/laerm.html>

1.4 Organisation und Beteiligte

Die Projektorganisation des Forschungspaketes ist in der nachfolgenden Abbildung (Abb.1) dargestellt. Die Finanzierung des Forschungspaketes erfolgte gemeinsam durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) und Umwelt (BAFU). Das ASTRA leitete die Teilprojekte TP1 und TP2, das BAFU übernahm die Projektleitung des TP3.

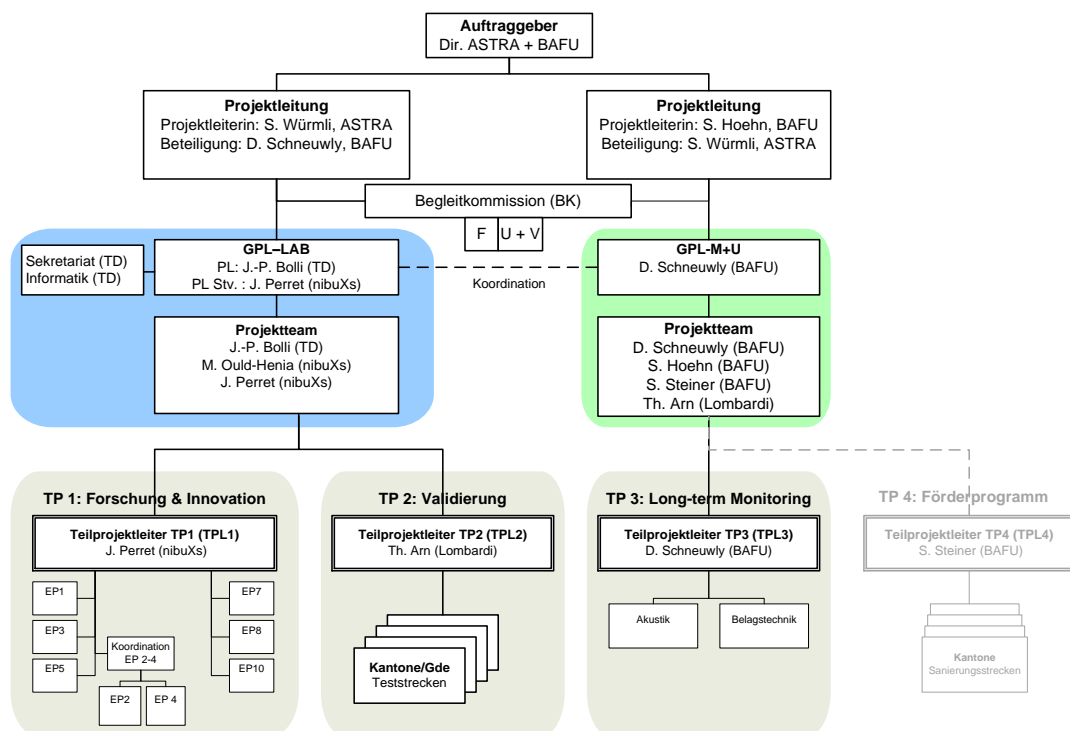


Abb.1 Gesamtprojektorganisation

1.5 Bezeichnung der lärmarmen Beläge im Rahmen des FOPAK LAB

Zu Beginn des vorliegenden Forschungspaketes (2009) wurde für das Mischgut die Bezeichnung "Semidichte Beläge" verwendet und die Mischgutgruppe LNA (Low Noise Asphalt) mit den Klassen A, B, C und D und die Sorten 4, 6 und 8 definiert.

Die Normierung hat mit der SNR 640 436¹ davon abgewichen und eine andere Bezeichnungen eingeführt. Grundsätzlich sind jedoch die Anforderungen gleich geblieben. Der Zusammenhang zwischen den normierten und den anfänglich im Forschungspaket definierten Mischgutsorten und –Klassen ist in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 1 und Tab. 2) dargestellt:

Tab. 1 Zusammenhang zwischen den im FOPAK LAB definierten LNA und den normierten Mischgutsorten und –klassen SDA (SNR 640 436 : 2013)

Sorte	A (HM 8%)	B (HM 12%)	C (HM 16%)	D (HM 20%)
LNA 4	SDA 4 A	SDA 4 B	SDA 4 C	SDA 4 D
LNA 6	-	-	-	-
LNA 8	SDA 8 A	SDA 8 B	SDA 8 C	-

Tab. 2 Zusammenhang zwischen den im FOPAK LAB definierten LNA und den normierten Mischgutsorten und –Klassen SDA (SNR 640 436 : 2015)

Sorte	A (HM 8%)	B (HM 12%)	C (HM 16%)	D (HM 20%)
LNA 4	-	SDA 4 - 12	SDA 4 - 16	SDA 4 - 20
LNA 6	-	-	-	-
LNA 8	-	SDA 8 - 12	SDA 8 - 16	-

¹ Während der Abwicklung des Forschungspaketes wurden zwei Versionen der SNR veröffentlicht. In der aktuellsten Version der SNR wurden die Buchstaben A, B, C und D für die Definition des Hohlraumgehaltes gestrichen.

2 Teilprojekt 1: Forschung und Innovation

2.1 EP1: Rezeptierung von lärmarme Beläge [15]

2.1.1 Ziel und Methodik

Das Hauptziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung eines Laborverfahrens für die Rezepturen lärmarmen Beläge, welche sowohl eine hohe akustische als auch eine hohe mechanische Dauerhaftigkeit aufweisen sollen.

Das LAVOC hat das Verfahren, welches im Rahmen des Forschungsprojektes "Unterhalt 2000" [24] entwickelt wurde, verfeinert. Das Verfahren basiert auf der volumetrischen Methode des Institutes CRR aus Belgien und der daraus entwickelten und im Rahmen des EP1 eingesetzten Software PradoWin [25]. Der Prozess wurde für die Betrachtung der akustischen Eigenschaften erweitert (Abb.2).

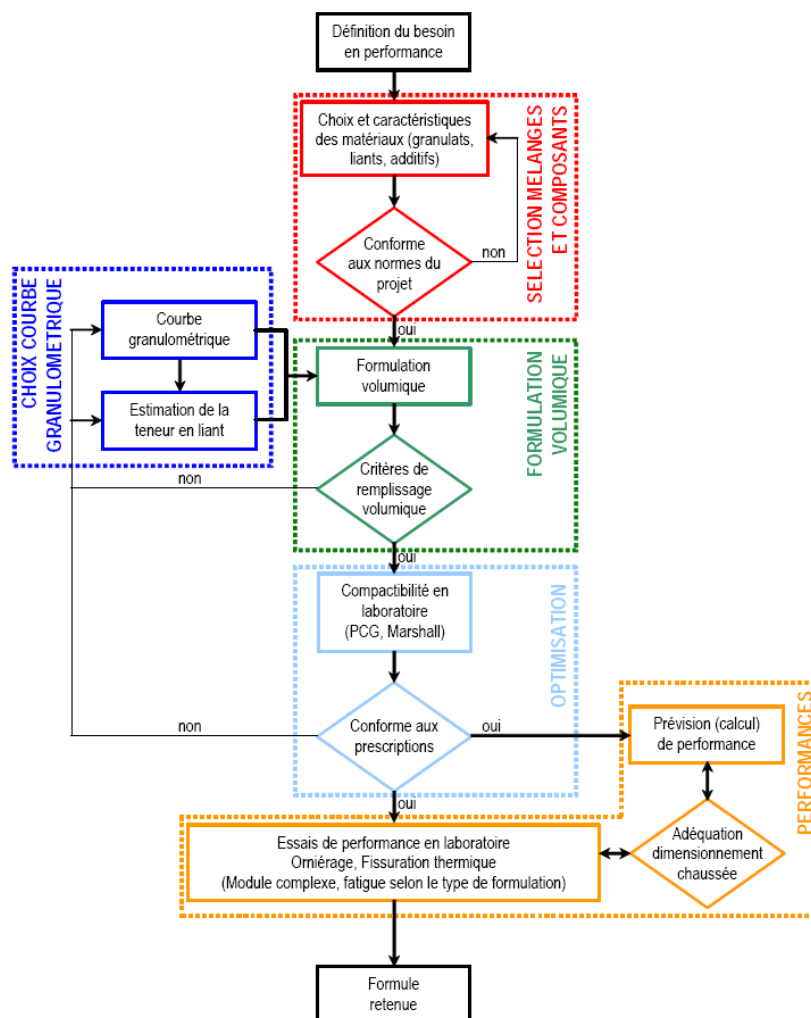


Abb.2 Prozess für die Bestimmung der Rezeptur

Das Verfahren ermöglicht es, die Rezeptur eines neuen Produkts zu optimieren. Durch diesen theoretischen Ansatz ist es möglich, die Anzahl der Laboranfertigungen zu verringern.

Mit diesem Verfahren hat das LAVOC die Rezepturen von vier lärmarmen Belägen mit einem Maximalkorn von 4 und 8 mm sowie verschiedenen Hohlraumgehalten zwischen 12 und 16 % untersucht: LNA 4-12, LNA 4-16, LNA 8-12 und LNA 8-16².

Die Optimierung der Rezepturen erfolgte hauptsächlich aufgrund der folgenden Eigenschaften und Untersuchungen:

- Hohlraumgehalt: hydrostatische und geometrische Methode
- Verdichtung: Walzenverdichtungsgerät, Gyrator-Verdichter (PCG), Marschallverdichter
- Wasserempfindlichkeit: indirekte Zugfestigkeit (ITSR) für trockene und nasse Probekörper
- Spurrinnen: leichter Verkehrssimulator (STL) auf Rezepturen mit hohem Bindemittelgehalt
- Kornausbruch: Cantabro-Versuch
- Schallabsorption: Impedanzrohr

2.1.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Gesteinskörnungen

- Die Verwendung von hochwertigen Baustoffen ist wesentlich. Es wird empfohlen für lärmarme Beläge, nur geeignete Gesteinskörnungen mit guten mechanischen Eigenschaften (harte Körnungen, hoher PSV-Wert) und polymermodifizierte Bindemittel zu verwenden.
- Es ist eine stark diskontinuierliche Korngrößenverteilung anzustreben. Für den LNA 4 soll die Bruchstelle bei 2 mm und für den LNA 8 bei 4 mm angesetzt werden.
- Die Homogenität der verwendeten Materialien für die Herstellung lärmarmen Belägen muss jederzeit sichergestellt sein. Insbesondere die Korngrößenverteilung der verschiedenen Fraktionen sollte möglichst homogen sein. Die Homogenität der Materialien wurde bei der Handhabung im Labor gewährleistet, aber die Homogenität im Mischwerk sollte vor der Herstellung Belages beurteilt werden. Es wird empfohlen, 0/2 und 2/4 Fraktionen für die Herstellung von LNA 4 Belägen zu verwenden.

Bindemittelgehalt

- Der minimale Bindemittelgehalt für AC MR kann grundsätzlich übernommen werden. Für lärmarme Beläge wird jedoch empfohlen, höhere Werte anzustreben: LNA 4 mit einem Bindemittelgehalt (auf Asphalt) von 6.5 bis 6.8%, LNA 8 mit einem Bindemittelgehalt (auf Asphalt) von 6.2 bis 6.5%.
- Die Verwendung des "Module de richesse" - welches eng mit dem Bindemittelgehalt und der Korngrößenverteilung verbunden ist - für die Wahl der Rezepturen, erwies sich als aussagekräftig. Es wird empfohlen, Werte zwischen MR = 3.8 und MR = 4.2 anzustreben. Eine allfällige Zugabe von Kalkhydrat muss durch eine Abnahme des Fülleranteils kompensiert werden.

Hohlraumgehalt

- Für das Messen des Hohlraumgehaltes der Beläge, sollte das geometrische Messverfahren (SN 670 406 / EN 12697-6 [8], Verfahren D) angewendet werden, da dieses besser geeignet ist für Beläge mit einem hohen Hohlraumgehalt.

² Im Forschungsbericht des EP1 wird noch die Bezeichnung LNA (Low Noise Asphalt) verwendet. Diese wurde in der Zwischenzeit durch die Bezeichnung SDA ersetzt (siehe auch Kap. 1.5)

Verdichtung

Die drei üblichen Verdichtungsmethoden für die Herstellung von Proben ergaben schlüssige Ergebnisse:

- Walzenverdichtung: schwere Verdichtung von Platten 180 x 500 x 35 mm mit Walze (gemischt Reifen/Stahlwalze)
- Gyrator-Verdichter: Verdichtung der Probekörper mit Gyrator-Verdichter; Höhe der Probekörper von 70 mm nach 90 Drehungen
- Marshall-Verdichter: Verdichtung von Probekörpern mit Marshall-Verdichter; Verdichtung mit 2x40 Schlägen

Spurbildungstest

Die Ergebnisse des Spurbildungstests mit dem leichten Verkehrs-Simulator sind abhängig von der Dicke der getesteten Platten. Für einen vereinfachten Vergleich des Verhaltens der lärmarmen Beläge gegenüber traditionellen Belägen oder einem AC MR, wird eine Plattendicke von 50 mm empfohlen.

Kornverlust

Der Cantabro-Versuch, welcher für verschiedene Rezepturen durchgeführt wurde, zeigt einen geringen Materialverlust (<20%). Mit dieser Prüfung ist es folglich nicht möglich, das mechanische Verhalten der unterschiedlichen Rezepturen zu unterscheiden.

Schallabsorption

Die gewählte akustische Prüfung mit dem Impedanzrohr ermöglicht nur einen relativen Vergleich des akustischen Verhaltens der Beläge. Allerdings ist diese Methode zu wenig empfindlich, um Rezepturen mit ähnlichen Eigenschaften unterscheiden zu können (identischer Hohlraumgehalt und Korngrößenverteilung). Die Korrelation mit dem akustischen Verhalten insitu konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

2.2 EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge [16]

2.2.1 Ziel und Methodik

Hauptziel war es die Prüfparameter für die labortechnische Beanspruchung von Platten festzulegen, um das Langzeitverhalten der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge messen zu können. Die Prüfparameter wurden zuerst für den Prototyp IMPACT II bestimmt und mussten schliesslich für den neuen Prototypen IMPACT III verifiziert werden.

Das EP2 ist eng mit dem Einzelprojekt EP4 verknüpft. Im EP4 ging es darum, die Entwicklung der akustischen Eigenschaften der mit dem Prototyp IMPACT III getesteten Beläge anhand des Modells SPERoN zu quantifizieren.

Im Rahmen des Forschungsprojektes EP2 sollten folgende Prüfparameter bestimmt werden:

- Auflast und Reifendruck
- Reifentyp (insbesondere Profil und Gummimischung)
- Temperatur
- Schlupf

Schon bald wurde festgestellt, dass die im Prüfgerät IMPACT II verwendeten Reifen (Landwirtschaftsreifen) abgenutzt waren bevor eine Abnutzung der Oberfläche auf den getesteten Belagsproben gemessen werden konnte. Als Ersatz wurden Standardreifen eingesetzt, welche jedoch zur Folge hatten, dass ein neuer Prototyp entwickelt (IMPACT III) (Abb.3) werden musste.



Abb.3 Prüfmaschine IMPACT III.

Das neue Prüfgerät IMPACT III unterscheidet sich vom IMPACT II in folgenden Punkten:

- Der Prüfreifen hat die Dimension eines PW-Reifen.
- Die Prüfbahnlänge beträgt 2 m statt 1 m. Somit ist es möglich dass der Prüfreifen mehr als eine Radumdrehung vollbringen kann.
- Der Schlupf ist stufenlos einstellbar. Die Richtung des Schlupfes wird bei jeder Richtungsänderung des Rades ebenfalls gewechselt.
- Die Temperierung der Probe erfolgt auf der Basis einer Oberflächenmessung.

Die Belagsprobe liegt auf einem Tisch, der zur Bestimmung der Oberflächenparameter ausgefahren werden kann. Während der Tests wurden folgende Messungen periodisch durchgeführt:

- Luftströmungswiderstand
- Texturmessung
- Akustische Absorption

2.2.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Entwicklung des Luftströmungswiderstandes

An den im Labor verdichteten Probekörpern konnten zwei Feststellungen gemacht werden (siehe Abb.4):

- Der Luftströmungswiderstand liegt beim feineren Mischgut höher als beim gröberen.
- Der Luftströmungswiderstand nahm bei beiden Mischgutsorten in Funktion der Anzahl Überrollungen zu.

Beide Trends stehen in Einklang mit Beobachtungen in der Praxis.

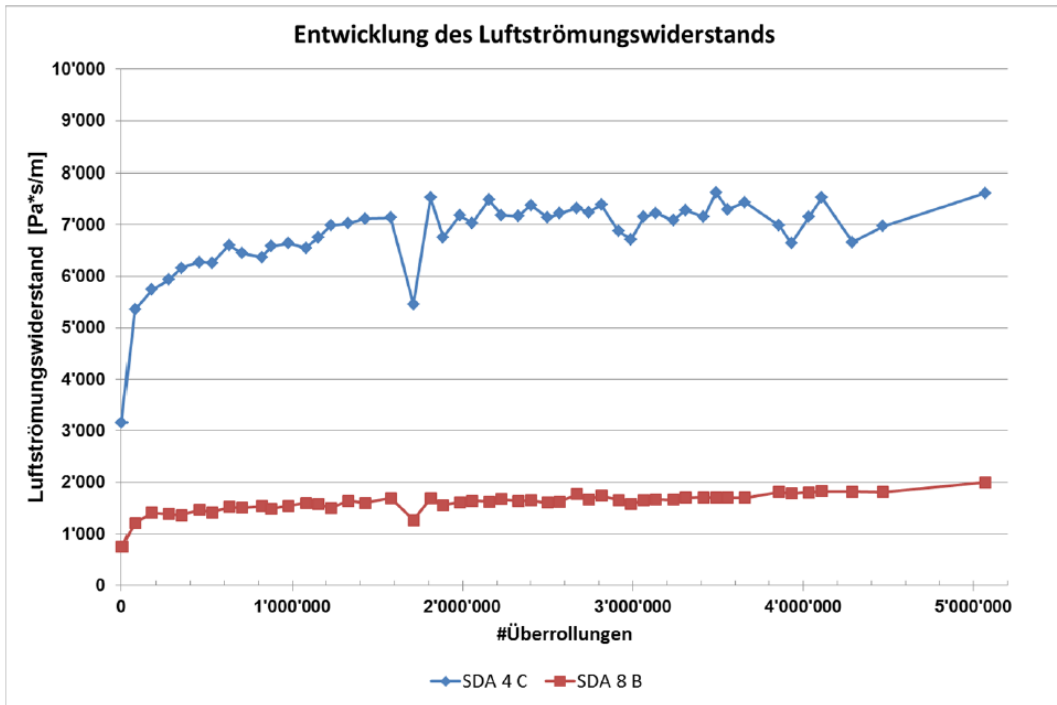


Abb.4 Luftströmungswiderstand der Prüfplatten in Abhängigkeit der Anzahl Überrollungen.

Entwicklung der Texturwerte

Die mittlere Profiltiefe (MPD) fällt im Labor bei beiden Mischgutsorten rasch ab, um anschließend wieder anzusteigen (siehe Abb.5). Dieser allgemeine Trend wird auch in der Praxis beobachtet.

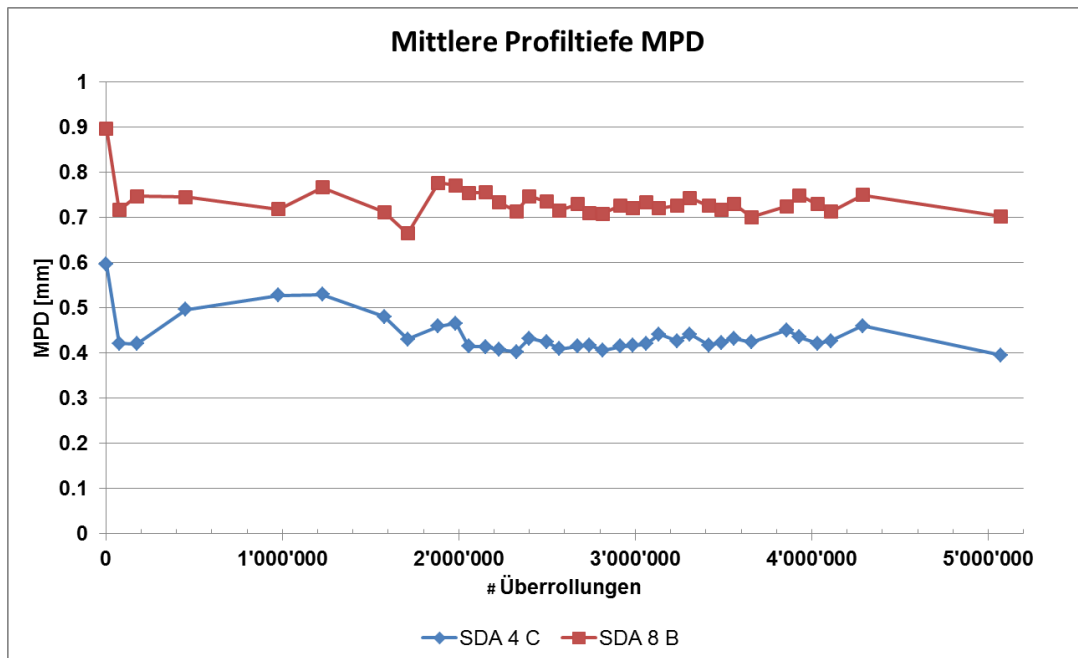


Abb.5 MPD-Wert als Funktion der Anzahl der Überrollungszyklen.

Rauigkeitsspektrum

Die effektive Rauigkeitstiefe beider Mischgutsorten verhält sich analog dem oben beschriebenen Trend (siehe Abb.5). Bei der Entwicklung der Wellenlänge, bei welcher das Maximum der Rauigkeitstiefe auftritt (λ_{max}) wird eine Zunahme festgestellt. Somit zeigen

beide SDA-Mischgutsorten unter der Labor-Beanspruchung im IMPACT eine Entwicklung, welche in der Praxis ebenfalls beobachtet wird.

Entwicklung des Schallpegels

Die Berechnung des Schallpegels in Abhängigkeit der Anzahl Überrollungen zeigt beim SDA 4 eine Veränderung, welche innerhalb der Präzision der SPERoN-Modellierung liegt. Beim SDA 8 B konnte zum Ende des Langzeitversuches eine Schallpegel-Änderung von etwa 2.0 dB(A) festgestellt werden. Diese Veränderung ist statistisch relevant.

Zeitraffereffekt

Die im Prüfstand erzeugten Veränderungen der Textur der Oberfläche nach ca. 4 Mio Überrollungen entsprechen etwa den in der Praxis feststellbaren Veränderungen nach zwei Jahren. Berücksichtigt man die Tatsache, dass sich die Eigenschaften bereits vor dem Ende des Langzeitversuches kaum veränderten, so kann der Zeitraffereffektor auf ca. 4 geschätzt werden. Dieser Wert ist völlig unbefriedigend.

Schlussfolgerungen

Obwohl im Prüfgerät IMPACT III analoge, akustische Veränderungen, wie diese in der Realität beobachtet werden können, ist das Ergebnis noch nicht befriedigend. Mit den gewählten Prüfparametern liegt die Anzahl der erforderlichen Überrollungen noch deutlich zu hoch. Auch dürften die Veränderungen der gemessenen Eigenschaften deutlicher ausfallen.

Längerfristig wären weitere Optimierungen der Prüfbedingungen mit dem Ziel durchzuführen, die Veränderungen der Oberflächentextur zu beschleunigen. Dabei sind folgende Punkte besonders zu berücksichtigen:

- Reifen
- Temperatur
- UV-Bestrahlung
- Externer Schmutzeintrag.

2.3 EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge [17]

2.3.1 Ziel und Methodik

Hauptziel war die Untersuchung und Auswahl geeigneter Verfahren für den betrieblichen Unterhalt von lärmarmen Belägen innerorts.

Das Vorgehen im Rahmen des Forschungsprojektes bestand aus fünf Schritten (Abb.6).

Schritt 1: Bildung Belagskategorien

Um geeignete Unterhaltsverfahren für lärmarme Beläge auswählen zu können, müssen Kategorien von lärmarmen Belägen mit ähnlichen Eigenschaften gebildet werden. Die Kategorienbildung erfolgt aufgrund ausgewählter Parameter, die sowohl die lärmreduzierenden als auch die für den Unterhalt relevanten Eigenschaften eines Belages beschreiben.

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.

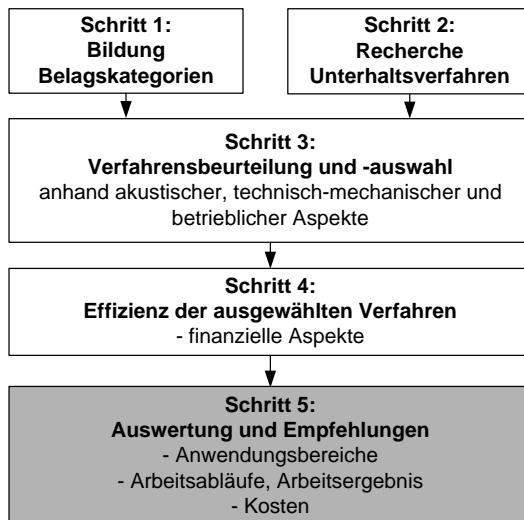


Abb.6 Vorgehen in fünf Schritten für EP3

Schritt 3: Verfahrensbeurteilung und -auswahl

Dieser Schritt 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.

Schritt 4: Effizienz der ausgewählten Verfahren

Abschliessend wurden 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 für den Strassenunterhalt in der Gemeinde aufzeigen.

Schritt 5: Auswertung und Empfehlungen

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

2.3.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Die Kategorisierung erfolgte anhand der Parameter Hohlraumgehalt, Wasserdurchlässigkeit und Rauigkeitstiefe, die massgeblich die Lärminderung beeinflussen.

Die Kategorisierung ermöglicht es, alle existierenden lärmarmen Belagstypen zu erfassen und in Kategorien mit gleichen Eigenschaften für den betrieblichen Unterhalt einzuteilen. Sie erlaubt, Neuentwicklungen von Belägen in Gruppen einzuordnen und darüber Empfehlungen für den Unterhalt der Neuentwicklung zu erhalten.

Kategorie 1: "Poröse Beläge"

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

Kategorie 2: "Wasserundurchlässige, hohlraumreiche Beläge"

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

Kategorie 3: "Wasserundurchlässige Beläge mit grober Textur"

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

Kategorie 4: "Wasserundurchlässige Beläge mit feiner Textur"

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

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.

Bei der **Kostenanalyse** liegt der Fokus nicht auf den reinen Mehrkosten je m² 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%. Organisatorisch lassen sich diese Beläge in die Reinigung und den Winterdienst unter bestimmten Bedingungen einbinden:

- Sie erfordern eine zusätzliche Reinigung. Die herkömmliche Reinigung mit Kehrsaugmaschinen 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%. 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):

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

Schlussfolgerung: 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%)

Schlussfolgerung: Einsatz innerorts vielversprechend

2.4 EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge [18]

2.4.1 Ziel und Methodik

Das Einzelprojekt EP4 ist ein Verbundprojekt mit dem Einzelprojekt EP2 "Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge". Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch kann im IMPACT-Prüfstand des EP2 aufgrund der begrenzten Abmessungen der Prüfkörper nicht direkt gemessen werden, sondern sollte im EP4 indirekt über die Messung der Oberflächeneigenschaften und Simulation der Reifen-Fahrbahn-Geräusche berechnet werden.

Ziel von EP4 war, die akustisch relevanten Oberflächeneigenschaften der Prüfkörper im zeitlichen Verlauf der Dauerbeanspruchung wiederholt zu messen und die Messergebnisse in das bestehende und validierte Rechenmodell SPERoN® für Reifen-Fahrbahn-Geräusche einzuspeisen. Damit sollte eine Aussage zu den Veränderungen des Rollgeräuschpegels in Abhängigkeit von den sich während des Prüfstandversuchs im IMPACT verändernden Oberflächeneigenschaften getroffen werden können.

Das Verfahren zur Berechnung von Reifen-Fahrbahn-Geräuschen mit SPERoN ist integraler Bestandteil der Arbeiten in EP4. Auf der Basis von Messdaten können mit diesem Verfahren Rollgeräusche berechnet werden, die den Vorbeifahrtmessungen an Strassen entsprechen. Für die Berechnung sind folgende Eingangsdaten erforderlich:

- Fahrbahnoberflächentextur
- Strömungswiderstand
- Schallabsorptionsgrad

Von der Forschungsstelle wurden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- **Entwicklung des akustischen Prüfverfahrens**
Entwicklung von Messvorrichtungen und Messprozeduren für die Messung der Eingangsdaten für SPERoN-Berechnungen auf Probeflächen im Laborprüfstand.
- **Validierung des akustischen Prüfverfahrens**
Überprüfung der SPERoN-Berechnungen für die Probeflächen im Laborprüfstand anhand von Messungen für vergleichbare in situ Beläge.
- **Beurteilung IMPACT-Prüfstand**

- **Untersuchung und Beurteilung von Belägen im IMPACT-Prüfstand des EP2**
Anwendung des entwickelten Prüfverfahrens

2.4.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Texturmessung auf Probeflächen im Laborprüfstand

Das Simulationstool SPERoN benötigt als Textureingabedaten sechs in Fahrtrichtung orientierte parallele Texturprofile von zwei Metern Länge. Im IMPACT Prüfstand stehen Probeplatten von etwa einem halben Meter Länge zur Verfügung. Bei Texturmessungen im Prüfstand kann man folglich nur Teilabschnitte der benötigten Texturprofile messen und muss diese Teilabschnitte am Rechner zu zwei Meter langen Stücken zusammensetzen. In EP4 wurde eine Vorgehensweise entwickelt, bei der jedes ausgewählte Einzelprofil in Längsrichtung wiederholt gespiegelt wird, so dass jeweils gleiche Endstücke aneinanderstossen.

Messung Strömungswiderstand auf Probeflächen im Laborprüfstand

Das standardmässige Messsystem für den Strömungswiderstand (in-situ) verwendet einen kreiszylinderförmigen Messfuss. Sein äusserer Durchmesser ist grösser als die Breite der IMPACT Asphalt-Prüfkörper. Im Rahmen des EP4 wurde eine neue, rechteckige Messapparatur angefertigt, die genau auf die Dimensionen der Probekörper zugeschnitten ist. Dabei wurde darauf geachtet, dass die zu durchströmende und die abdichtende Fläche gleich gross wie bei der runden Messapparatur sind.

In einer vergleichenden Messreihe auf unterschiedlichen Belägen wurde ermittelt, ob und auf welche Weise sich die Messwerte unterscheiden. Für die Korrektur wurde eine spezifische Umrechnungsformel entwickelt.

Messung Schallabsorptionsgrad auf Probeflächen im Laborprüfstand

Die Absorptionsgradmessung im Prüfstand ist von störenden Schallreflexionen aus dem Prüfstands-aufbau selbst und seiner nächsten Umgebung beeinflusst. Der Einfluss der Reflexionen lässt sich mit Hilfe von vergleichenden Freifeldmessungen an den Probekörpern quantifizieren und aus den IMPACT-Messergebnissen so herausrechnen, dass sie in SPERoN eingespeist werden können.

Validierung des akustischen Prüfverfahrens

Die Validierung erfolgte anhand von Messungen der Oberflächeneigenschaften in situ und von kontrollierten Vorbeifahrtmessungen auf Deckschichten öffentlicher Strassen. Den Deckschichten wurden anschliessend Probestücke entnommen, um sie in den Prüfstand einzubauen und darin deren Oberflächeneigenschaften mit den oben beschriebenen Labormessmethoden zu bestimmen. So konnte die Übereinstimmung der in situ und im Labor erhobenen Messwerte überprüft werden. Die im Labor gemessenen Oberflächenkennwerte wurden anschliessend in SPERoN eingespeist und Vorbeifahrtpegel für exakt die Geschwindigkeiten und Reifen berechnet, die auch bei den kontrollierten Vorbeifahrtmessungen verwendet wurden. Die Übereinstimmung der realen Vorbeifahrtmesswerte mit den berechneten Vorbeifahrtpegeln wurde nachgewiesen.

Beurteilung IMPACT-Prüfstand

Die Abmessungen der Probekörper im Prüfstand mit einer Länge von 50 cm (2 Probekörper mit jeweils 50 cm Länge) und einer Breite von 18 cm müssen als untere Limite für die beabsichtigten akustischen Prüfungen angesehen werden. Die Messung des Strömungswiderstands der Belagsoberfläche erfordert ein planebenes Aufliegen des elastischen Rings, mit dem der Messfuss des Messsystems an die Oberfläche angekoppelt wird. Entstehen im Prüfstand über den Querschnitt der Probekörper beanspruchte und unbeanspruchte Bereiche führt dies zu Querunebenheiten. Der Messfuss liegt dann nicht mehr planeben auf, der Luftstrom während der Messung entweicht unabsichtlich und das Messergebnis wird verfälscht. Aus diesen Anforderungen ergibt sich die in Abb.7 dargestellte Empfehlung für den Aufbau des Prüfstands.

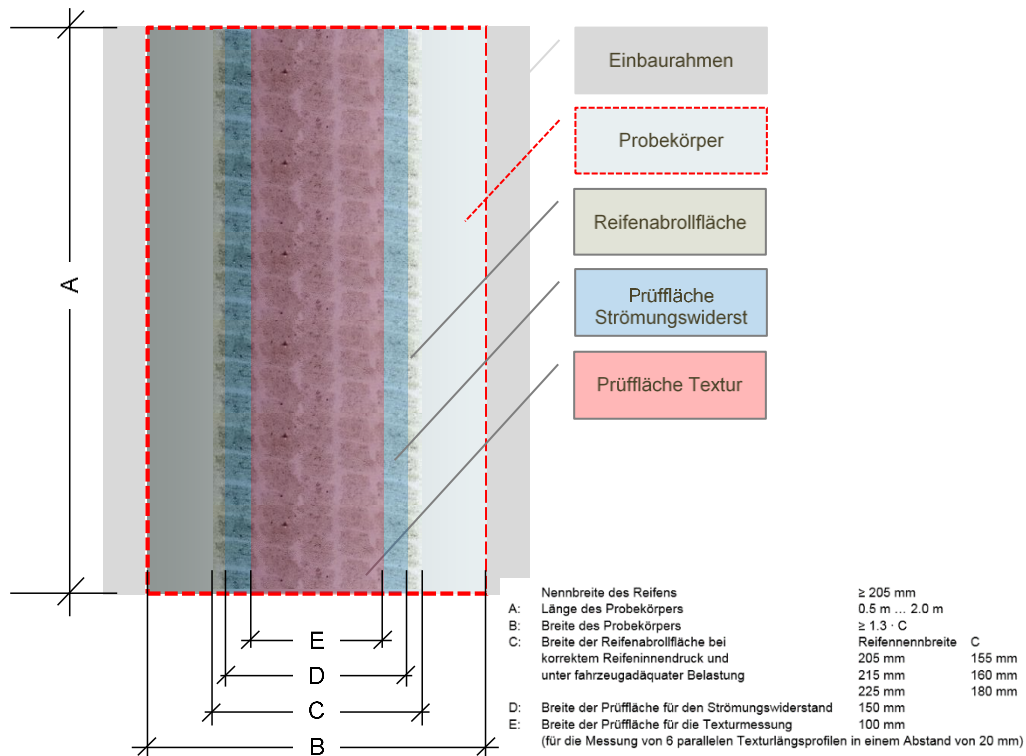


Abb.7 Empfohlene Eigenschaften des Prüfstandaufbaus.

Untersuchung und Beurteilung von Belägen im IMPACT-Prüfstand des EP2

Für die Validierung wurden real auf Strassen eingebaute Beläge des Typs SDA 6B und SDA 8C herangezogen. Insgesamt ergaben sich sehr konsistente Werte. SPERoN simuliert die Vorbeifahrtmessungen auf Basis der auf der Strasse und im IMPACT auf Ausbauplatten gemessenen Oberflächenparameter mit einer Abweichung von maximal 1 dB(A).

Die berechneten Vorbeifahrtpegel für die SDA 8B Probeplatte aus der IMPACT-Evaluation ergaben nach rund 4 Mio. Überrollungen vergleichbare Werte. Die Ähnlichkeit der Werte weist darauf hin, dass die Beanspruchung im IMPACT-Prüfstand den realen Verhältnissen auf der Strasse nahe kommt. Die Pegelerhöhung um 1 dB(A) zwischen dem Zustand der Probeplatte nach 76'000 und nach 3.5 Mio. Überrollungen entspricht dem Erwartungswert hinsichtlich der Verschlechterung derartiger Beläge innerhalb von 1 bis 2 Jahren nach Verkehrsfreigabe. Dies entsprach auch dem Alter des SDA 8C Belags zum Zeitpunkt der Messungen.

Erkenntnisse aus der Untersuchung von Belägen im IMPACT-Prüfstand des EP2

- Validierungsmessungen an vergleichbaren Belägen in situ und im IMPACT haben gezeigt, dass sowohl die Herstellung der Laborprobekörper als auch die mechanische Beanspruchung der Fahrbahnoberfläche den Gegebenheiten der realen Strasse nahe kommt, bislang aber noch nicht vollständig wiedergibt.
- Die Oberflächenstrukturveränderungen im IMPACT entsprechen offenbar noch nicht in jeder Hinsicht dem Verschleiss durch den Strassenbetrieb.
- Im Prüfstand lassen sich akustisch relevante Oberflächenveränderungen erzeugen. Im gegenwärtigen Ausbauzustand des IMPACT gehen diese Veränderungen jedoch so langsam vor sich, dass gegenüber der Veränderung auf einer realen Strasse im Prüfstand keine signifikante Beschleunigung zu erkennen ist.

2.5 EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden [19]

2.5.1 Ziel und Methodik

Hauptziel des EP5 war es, wichtige Verfahren zur schalltechnischen Charakterisierung von Fahrbahnbelägen kritisch auf potenzielle Schwachstellen und Risiken bei der Anwendung hin zu untersuchen. Daraus wurden praktische Massnahmen abgeleitet um diese Einflüsse zu minimieren.

Folgende Themen wurden im Rahmen der Forschungsarbeit behandelt:

- CPX-Messsystem [10]:
 - Temperaturkorrektur
 - Geschwindigkeitskorrektur
 - Strömungsgeräusche zwischen Messanhänger und Fahrbahnoberfläche
 - Qualitätssicherung der Reifen
 - Georeferenzierung der Messdaten -Anhänger
- SPB-Messungen [9]:
 - Sichtbarkeit des Messaufbaus
 - Messungsdurchführung und Fahrzeugauswahl
 - Temperaturkorrektur
 - Geschwindigkeitsmessung
- System zur Messung des Schallabsorptionsgrades:
 - Messsystemvarianten
 - Einzugsbereich von in-situ Messungen
 - Qualitätssicherung von in situ Messungen
- Randbedingungen für akustische Messungen, Trocknungszeiten

2.5.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

CPX-Messungen: Temperatureinfluss

Der Schalldruckpegel des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs hängt von der Lufttemperatur ab. Der in den Entwürfen zur ISO 11819-2 [10] diskutierte Koeffizient von 0.03 dB/°C stellt auf dichten und semidichten Belägen eine praktikable Wahl dar. Auf offenporigen Belägen ist der Wert aus dem Technischen Merkblatt [1] von 0.05 dB/°C besser geeignet.

Für den Vergleich akustischer Spektren gleicht eine frequenzabhängige Korrektur den Temperatureffekt deutlich besser aus als eine nicht frequenzabhängige. Eine für alle Fahrbahnbeläge allgemeingültige Temperaturkorrektur gibt es nicht.

Temperaturkorrekturen sollten regelmässig, besonders bei Einführung neuer Bauweisen, messtechnisch überprüft werden.

CPX-Messungen: Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

Die Umrechnung von CPX-Pegeln, die von sehr unterschiedlichen Geschwindigkeitsregimen stammen (z.B. von 50 km/h auf 80 km/h), kann nicht empfohlen werden. Zur Umrechnung moderater Abweichungen der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit v von der Referenzgeschwindigkeit v_{ref} bis zu etwa $\pm 10\%$ wurde eine einfache Korrekturformel entwickelt.

CPX-Messungen: Strömungsgeräusche zwischen Messanhänger und Fahrbahnoberfläche

In einem akustischen Windkanal wurden die in einem geschlossenen CPX-Anhänger entstehenden Strömungsgeräusche mit und ohne Zugfahrzeug untersucht. Mit Zugfahr-

zeug liegen die Schalldruckpegel der Geräusche bei Strömungsgeschwindigkeiten von 30 km/h, 50 km/h und 80 km/h im Frequenzbereich zwischen 315 Hz und 4 kHz um 15 dB bis 30 dB unter den Schalldruckpegeln der Rollgeräusche für einen lärmarmen Fahrbahnbelag des Typs SDA 8B oder SDA 8C. Ein breites Zugfahrzeug ist allerdings Voraussetzung hierfür. Aufgrund des entstehenden Windschattens werden die Strömungsgeräusche im Anhänger um gut 10 dB bei Fahrgeschwindigkeiten über 50 km/h reduziert.

CPX-Messungen: Qualität der Messreifen

In jedem Fall sollte die Shore A-Härte aller Reifen regelmässig überprüft werden. Die Abnutzung des Reifenprofils fällt mit einer Pegelzunahme von rund 0.1 dB pro abgetragenen Profilmillimeter vernachlässigbar gering aus.

P-Reifen sollten spätestens 3 Jahre nach ihrer Herstellung ausgemustert werden. Nach dieser Zeit kann die Härte bereits um 4 Shore A und der CPX-Pegel um 0.4 dB(A) zugenommen haben. Bei den H-Reifen sind die produktionsbedingten Schwankungen so gross, dass bereits beim Neukauf die Shore A Härte der Reifen geprüft und ihr Einsatz bei Werten über 65 Shore A vermieden werden sollte.

CPX-Messungen: Georeferenzierung der Messdatenerfassung

Die Verortung von CPX-Messungen allein aufgrund von GPS-Positionssignalen ist aufgrund deren eingeschränkter Genauigkeit nicht ratsam. Die Aufzeichnung von deutlich erkennbaren Wegmarken wie Kilometerschildern, Brücken, Tunnelleinfahrten und Tunnelausfahrten, usw., manuell ausgelösten Triggersignalen und die Auswertung von plötzlichen Änderungen der Fahrbahneigenschaften, die sich akustisch im Schalldruckpegelverlauf oder in der gemessenen Fahrbahntemperatur als Sprungstellen bemerkbar machen, helfen nachträglich, die Georeferenzierung zu präzisieren.

SPB-Messungen: Temperatureinfluss

Anhand der im EP5-Projekt erhobenen Daten und unter Berücksichtigung internationaler Untersuchungen werden für eine Überarbeitung des Technischen Merkblatts [1] neue Faktoren für die Korrektur der Vorbeifahrtpegel bezogen auf eine Lufttemperatur von 20°C zu empfohlen. Dabei wird unterschieden zwischen offenporigen Belägen, dichten Asphaltbelägen und Betonbelägen.

SPB-Messungen: Sichtbarkeit des Messaufbaus

Durch sichtbare Absicherungen von SPB-Messstellen verändern Verkehrsteilnehmer oft ihr Fahrverhalten, was die Vorbeifahrtmessungen beeinträchtigen kann. Insbesondere durch aussermittiges Fahren liess sich im EP5-Projekt eine Abweichung des Kb-Werts von bis zu 0.4 dB(A) gegenüber dem nicht abgesicherten Zustand nachweisen. Die tieferen Werte der Vorbeifahrtpegel hängen mit dem grösseren Abstand zwischen Fahrzeug und Mikrofon zusammen, was sich rechnerisch leicht korrigieren lässt.

Nicht ohne weiteres korrigieren lassen sich jedoch Einflüsse durch Unterschiede der akustischen Güte des Fahrbahnbelags in den normalen Radrollspuren und des Belags zwischen den Radrollspuren, der bei Ausweichmanövern befahren wird. Eine Vorwarnung wirkt sich hier also nachteilig aus.

Eine deutlich sichtbare Vorwarnung kann ausserdem eine erhebliche Zunahme nicht verwertbarer Vorbeifahrten bewirken. Zu Gunsten der Qualität der Messergebnisse sowie einer überschaubaren Messdauer sollte nach Möglichkeit auf eine zu deutliche Vorwarnung einer SPB-Messstelle verzichtet werden. Die je nach Sichtbarkeit der Vorwarnung um bis zu 5 % langsamere Vorbeifahrtgeschwindigkeit wird durch das Referenzmodell StL-86+ ausgeglichen. Der Belagsgütewerte Kb wird dadurch nicht beeinflusst.

SPB-Messungen: Messdurchführung, Fahrzeugauswahl, Geschwindigkeitsmessung

Im Rahmen eines Ringversuchs wurden die Messdurchführung und die Auswahl der Fahrzeuge per Videoaufzeichnung beobachtet. Die von den fünf Teilnehmern ermittelten Kb-Werte wichen für die Personenwagen um bis zu 1.6 dB(A), für die Lastwagen um bis zu 0.8 dB(A) voneinander ab. Gründe hierfür sind die Unsicherheiten bei der Bestimmung

der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Unterschiedlichkeit der Fahrzeugauswahl. Insgesamt ergeben sich folgende Empfehlungen für SPB-Messungen:

- Ausgeprägte personelle und technische Sorgfalt beim Ausmessen der Messpunkte und bei der Geschwindigkeitsmessung der vorbeifahrenden Fahrzeuge.
- Schulung des Messpersonals und Qualitätssicherung im Hinblick auf die Kategorisierung der Fahrzeuge, Beobachtung des Einhaltens der Rollspur und Ausschluss von Störgeräuschen.
- Ausschluss extrem schneller, langsamer, leiser und lauter Fahrzeuge von der Auswertung. Eine symmetrische Aussortierung von jeweils 5 % der Einzelregistrierungen verbessert die statistische Aussagekraft einer SPB-Messserie deutlich.
- Fehler oder bewusste Abweichungen bei der fahrtrichtungsparallelen Ausrichtung der Geräte zur Geschwindigkeitsmessung führen zu einer Unterschätzung der wahren Fahrgeschwindigkeit und zu einer Überschätzung der Kb-Werte. Ist der Ausrichtungsfehler bekannt, lässt er sich auch nach Abschluss der Messung rechnerisch noch korrigieren.
- Bei Lastwagen ist der geschwindigkeitsfehlerbedingte Anstieg der Kb-Werte nur etwa halb so gross wie bei Personenwagen.
- Bereits bei Winkelfehlern von nur 5° beeinflusst eine ungenaue Ausrichtung die aus SPB-Messungen abgeleiteten Kb-Werte spürbar; spätestens jenseits von 10° bis 15° wird die resultierende Abweichung inakzeptabel. Freihändige Anwendung von Radarpistolen dürfte in der Praxis zu Winkelfehlern durchaus in dieser Grössenordnung führen und sollte deshalb vermieden werden.

Schallabsorptionsgrad-Messungen

- Unter den diskutierten in-situ Verfahren (Subtraktionsverfahren mit einem, zwei, oder drei Druckmikrofonen und das p-u-Verfahren) erscheint die zerstörungsfreie Prüfung auf der Strasse mit einem p-u-Messsystem am geeignetsten.
- Objekte in der Nähe der Messfläche führen zur konstruktiven oder destruktiven Überlagerung von direkt an der Messfläche reflektierten und an Objekten gestreuten Schallwellen und damit zu einer frequenzabhängigen Über- oder Unterschätzung des Absorptionsgrads. Wenn kleinere Hindernisse wie Leitkegel oder Bordsteinkanten gut einen Meter von der p-u-Sonde entfernt sind, werden in situ Absorptionsgradmessungen nicht wesentlich beeinflusst. Auf einer stark absorbierenden Messfläche wie einem PA-Belag können die Hindernisse noch auf einen Abstand von etwa 0.5 m näher rücken, ohne zu stören. Eine vertikale Wand wirkt sich als Störkörper auf absorbierendem Untergrund stärker aus als kleine Hindernisse, die einzuhaltende Entfernung ist aber nur wenig grösser.
- Im Hauptteil des Berichts wird ein bislang fehlendes Verfahren zur Kalibrierung von p-u Messsonden beschrieben.

Randbedingungen für akustische Messungen auf hohlraumreichen Strassendeckschichten, Trocknungszeiten

Die Deckschicht muss sich für Schallabsorptionsgradmessungen in einem adäquaten Zustand befinden. Dieser schliesst insbesondere Restfeuchte in den Hohlräumen aus. Anhand von Experimenten zur Zeitabhängigkeit des Schallabsorptionsgrads nach Regenereignissen wurde eine Empfehlung für temperaturabhängige Trocknungszeiten für offene und semidichte Beläge erarbeitet.

2.6 EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den Potenziellen Einsatz in der Schweiz [20]

2.6.1 Ziel und Methodik

Hauptziel war das Erstellen einer Bestandsaufnahme der als meist zielführend eingestufteten weltweiter Erfahrungen mit innovativen lärmarmen Strassenoberflächen. Die Erfahrungen aus der Praxis sollen hinsichtlich verschiedener Aspekte charakterisiert und bewertet werden. Hauptergebnis ist eine quervergleichende Beurteilung der Technologien

als Grundlage für die Bewertung der Attraktivität und des Potentials eines möglichen Einsatzes in der Schweiz.

Um die Technologien untereinander vergleichen zu können, wurden sie unter verschiedenen Aspekten beurteilt (Herstellungskosten, akustische Wirkung, Kosten/Nutzen-Verhältnis, akustische Dauerhaftigkeit, Verkehrssicherheit, Machbarkeit, Unterhaltskosten). Für 18 ausgewählte Technologien wurde je ein zusammenfassendes Faktenblatt erstellt.

2.6.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Um Vergleiche zwischen den Daten der verschiedenen Länder zu ermöglichen, müssen die auf nationale Referenzen basierenden Wirkungen auf eine einheitliche Referenz bezogen werden. Die Umrechnung wurde jeweils über den nationalen akustischen Kennwert für SMA 11 Beläge vorgenommen. Dieser Belag wird in Europa und auch in anderen Weltregionen, oft als Standard-Strassenbelag eingesetzt. In Abb.8 sind die unterschiedlichen nationalen Referenzen einander gegenübergestellt. Ebenfalls eingezeichnet ist der akustische Wert für den SMA 11 Belag im jeweiligen nationalen Modell.

Wert SMA 11 (2-5 Jahre nach Einbau)

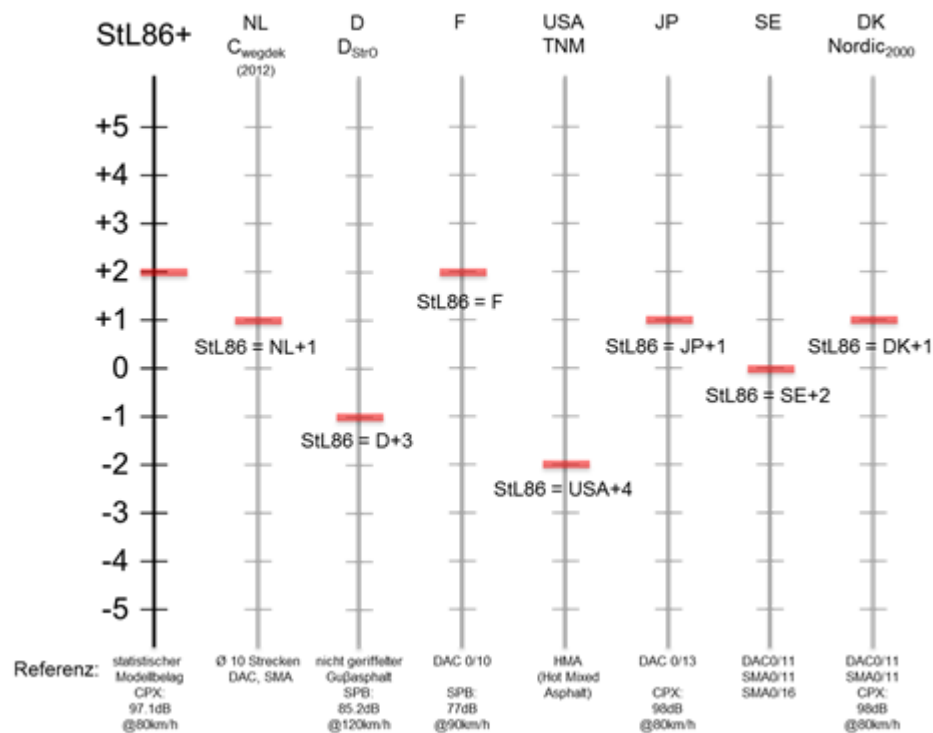


Abb.8 SMA 11 und Umrechnung zu StL86+

Die nachfolgenden Lösungsansätze wurden einer vergleichenden Bewertung unterzogen.

Asphaltbeläge

Die nachstehenden konventionellen, bituminösen Asphaltbeläge wurden untersucht:

- Double Layer Porous Asphalt (DLPA) : 2 soushiki PA (Japan)
- LOA 5 D / PMA 5 (Deutschland)
- SMA 8 G+ / Thinlayer NL / Ultrastil (Niederlande)
- SMA 6 + 8 und SMA 6 + 11 (Dänemark)
- VTAC 0/6 (Frankreich)

Asphaltbeläge des Typs PERS (Pore Elastic Road Surfaces) wurden im Rahmen des europäischen Projektes PERSUADE (<http://persuade.fehrl.org/>) entwickelt. Charakteristisch ist die Verwendung von altem Pneumaterial bei der Asphaltherstellung:

- PERS 5 (Dänemark)
- PERS 2 (Japan)
- PERS 2-5 (Schweden)

Epoxy (Schweden)

Epoxy als Bindemittel oder als Bindemittelzusatz ermöglicht die Reduktion von Kornausbrüchen und vermindert mechanische Schäden in lärmoptimierten Deckschichten. Durch die erhöhte Bindekraft sind bautechnisch höhere Hohlraumgehalte möglich. In vielen Ländern kommen Epoxybindemittel bei höheren mechanischen Belastungen (wie z.B. Kreuzungen, Bushaltestellen) sowie auf Brücken und Parkplätzen zum Einsatz.

Measures to prolong lifetime (Niederlande)

Die Produkte zur Verlängerung der Lebensdauer eines Belags kommen seit 2010 vor allem präventiv zur Anwendung. Sie werden etwa nach 5 bis 7 Jahren nach dem Einbau, zum Zeitpunkt des Auftretens von ersten Kornausbrüchen angewendet, wobei die Belagsoberfläche noch nicht ernsthaft beschädigt sein darf. Die Lebensdauer der Deckschichten kann in der Folge um 2 bis 4 Jahr erhöht werden. Es wird pro Deckschicht nur eine einzige Behandlung empfohlen.

Diamond grinding (USA)

Mit Diamond grinding soll eine Verbesserung der Fahrbahnqualität bzw. Ebenheit und Oberflächentextur erreicht werden. Im Vordergrund stehen dabei die Erhöhung der Sicherheit (bessere Griffbarkeit durch eine erhöhte Makrotextur) sowie die Reduktion des Reifen-Fahrbahn-Geräusches. Die Methode wird auf Strassen aller Belagstypen (Beton und Asphalt) angewendet.

Longitudinal tining (USA)

Mit longitudinal tining (Längstexturen mit Rechen) wird eine akustisch optimierte Gestaltung der Oberflächentextur erreicht. In den USA wird bei neuen Betonfahrbahnoberflächen auf Strassen mit Geschwindigkeiten >50km/h standardmässig longitudinal tining angewendet.

Modieslab (Niederlande)

Der poröse Beton Modieslab wurde 2006 auf einer 100 m langen Strecke auf der Nationalstrasse A12 bei Utrecht eingebaut. Trotz seiner ausgezeichneten akustischen Dauerhaftigkeit wurde er infolge der hohen Herstellungs- und Einbaukosten nicht auf weiteren Abschnitten realisiert. Die Entwicklung wird jedoch weiterhin mit grossem Interesse verfolgt. Falls die gute Wirkung über die gesamte Lebensdauer von 30 Jahren erhalten bleibt, ist ein Einsatz von Modieslab auf weiteren Strecken denkbar.

Diffraktoren (Niederlande)

Eine bisher unbekannte Methode zur Lärmreduktion stellen die Diffraktoren dar. Diffraktoren sind Betonemelemente mit Hohlräumen, welche neben der Fahrbahn angebracht werden und den Schall nach oben ablenken sollen. Diffraktoren werden am besten in Kombination mit einem lärmarmen Belag eingesetzt. Eine Kombination mit Lärmschutzwänden ist nicht möglich.



Abb.9 Diffraktoren, verlegt, Verlegewerkzeug

Quervergleich Hauptaspekte

Für die Wahl einer bestimmten Technologien können mehrere unterschiedliche Auswahlkriterien betrachtet werden. So kann der Fokus auf Technologien gelegt werden, welche besonders grosse akustische Wirkungen erzielen, deren akustische Dauerhaftigkeit vielversprechend ist oder ein besonders günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis aufweisen (Abb.10).

Fokus akustische Wirkung: Potential durch besonders hohe Lärmreduktionen, um Kosten für teurere Massnahmen wie Lärmschutzwände, Überdeckungen, etc. vermeiden zu können. Wird die Wirkung durch mechanische Impedanz realisiert und kann die Technologie technisch dauerhaft realisiert werden, ist es denkbar dass die Wirkung über lange Zeit erhalten bleibt. Die Verstopfung von Hohlräumen wird hinfällig.

Fokus Dauerhaftigkeit: mechanische Dauerhaftigkeit mit geringerer akustischer Wirkung kann für den Lärmvollzug trotzdem interessant sein. Wird mit Massnahmen die Lebensdauer der heute in der Schweiz eingesetzten Technologien verlängert, wirkt sich dies ebenfalls positiv auf die Lärmsituation aus.

Fokus Kostengünstige Massnahmen: mit wenig Aufwand kann die Lärmsituation verbessert werden. Auch bei geringer Wirkung ist ein Nutzen da.

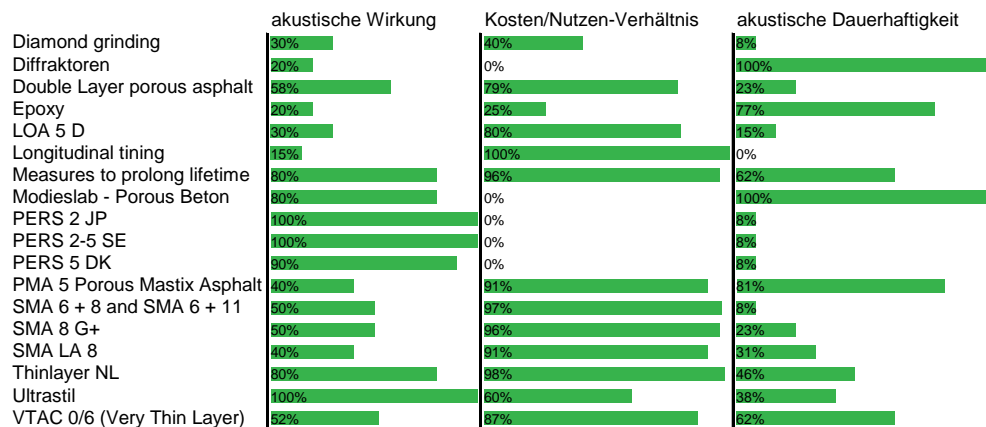


Abb.10 Quervergleich Hauptaspekte der untersuchten Technologien

2.6.3 Bewertung von SDA4 und SDA8

Die Begleitkommission des Forschungspaketes hat nachträglich die Bewertung für die Belagstypen SDA4 und SDA8 gewünscht. Die ausführliche Dokumentation der nachträglichen Untersuchungen ist diesem Bericht als Anhang I beigefügt.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen die zusammenfassende Bewertung der beiden Belagstypen. Ein wichtiger charakteristischer Unterschied ist die grössere akustische Wirkung und Dauerhaftigkeit des SDA 4 und die im Vergleich zum SDA 8 höheren Unterhaltskosten aufgrund der geringeren Lebensdauer des SDA 4.

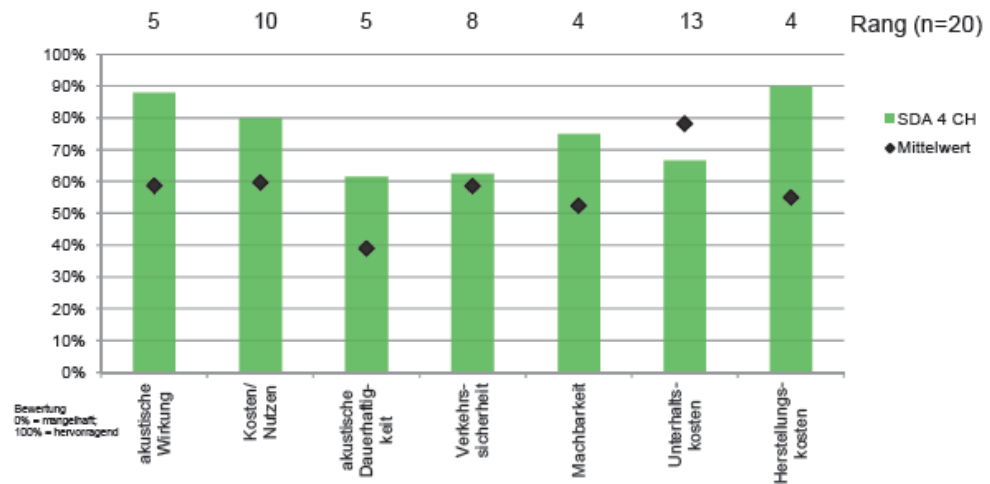


Abb.11 Bewertung SDA 4 CH

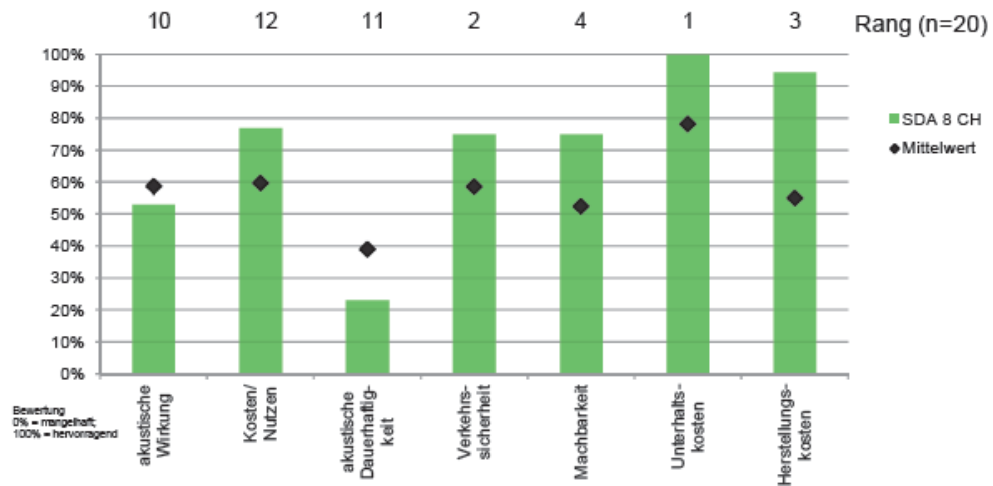


Abb.12 Bewertung SDA 8 CH

2.7 EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmaßnahmen bei lärmarmen Belägen [21]

2.7.1 Ziel und Methodik

Hauptziel war eine quantitative Bestimmung der Verbesserung der akustischen Wirkung lärmarmen Strassenbeläge im Innerortsbereich, welche durch verschiedene im Forschungsprojekt EP3 erfasste Reinigungsmaßnahmen erreicht werden können. Im Fokus standen dabei einerseits die erreichbare Pegelreduktion unmittelbar nach der Reinigung, sowie andererseits die akustische Dauerhaftigkeit der Massnahmen.

Im Forschungsprojekt EP3 wurden verschiedene Reinigungsverfahren unterschieden:

- Kehren mit Absaugvorrichtung
- Sprengen/schwemmen (Niederdruckreinigung ohne Aufnahme)
- Hochdruckreinigung mit Wiederaufnahme
- Schrubbsaugverfahren

Nach einer Evaluation verschiedener Reinigungsfirmen wurden zusammen mit der gewählten Firma die oben genannten und weiteren Reinigungsverfahren evaluiert. Die drei folgenden Verfahren wurden schlussendlich für das Forschungsprojekt ausgewählt:

Kehren mit anschliessendem Absaugen (Standardverfahren als Referenz)



Abb. 13 *Reinigungsverfahren kehren mit anschliessendem Absaugen.*

Sprühbalken (Hochdruckreinigung) anschliessendem Absaugen



Abb. 14 *Reinigungsverfahren Sprühbalken mit anschliessendem Absaugen.*

Rotoplast (Hochdruckreinigung mit drehbarem Arm) anschliessendem Absaugen



Abb. 15 *Reinigungsverfahren Rotoplast mit anschliessendem Absaugen.*

Da die Belagsklassen 4 mm und 8 mm spezifische Porenstrukturen aufweisen, war denkbar, dass für beide Klassen unterschiedliche Einstellungen der Reinigungsverfahren benötigt würden. Auf zwei Strecken (Villars-Sur-Glâne FR (4 mm), Muhen AG (8 mm)) wurden verschiedenen Einstellungen getestet.

Für das Forschungsprojekt wurden je drei Teststrecken mit einem Grösstkorn von 4 mm und 8 mm ausgewählt. Bei der Auswahl der Strecken wurde darauf geachtet, dass die Beläge intakt waren und wenig bis keine Kornausbrüche aufweisen. Dazu dürfen auf dem Belag nur geringfügige Zunahmen im Bereich der tiefen Frequenzen nachgewiesen werden, da diese auf eine lärmtechnische Verschlechterung der Oberflächentextur hinweisen würden.

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

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

Um die Effektivität der Reinigungsverfahren miteinander vergleichen zu können, wurden die Messtrecken auf jeweils einer Fahrbahn in vier etwa gleich grosse Teilabschnitte unterteilt, auf welchen die einzelnen Verfahren zur Anwendung kamen (siehe Abb.16). Der Abschnitt 0 diente als Referenz und blieb ungereinigt. Der Abschnitt 1 wurde mit dem Reinigungsverfahren *Kehren mit Absaugvorrichtung*, der Abschnitt 2 mit *Sprühbalken mit Hecksauganlage* und der Abschnitt 3 mit *Rotoplast mit Hecksauganlage* gereinigt.

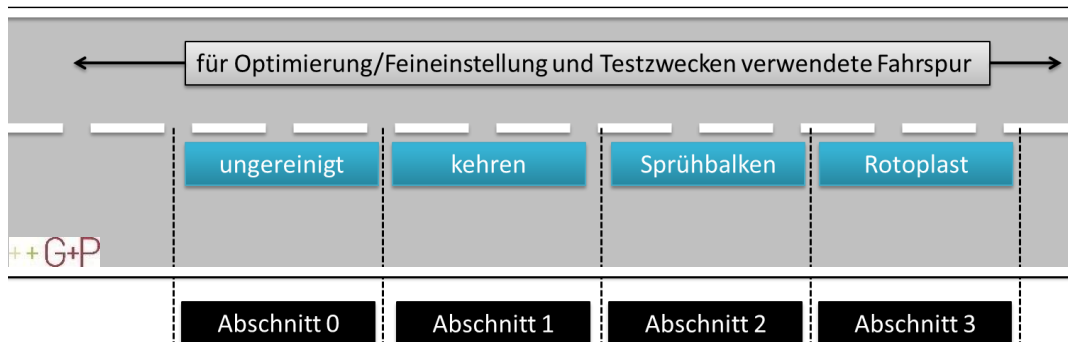


Abb.16: Schematische Darstellung der unterteilten Messstrecke.

2.7.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Wirkung auf Lärmpegel: Es konnten nur geringfügige bis keine Wirkung der Reinigungsverfahren auf die lärmreduzierenden Eigenschaften gemessen werden (maximale Wirkung 0.8 dB).

Reinigungsverfahren: Auf 4 mm Belägen konnten sowohl mit den Reinigungsverfahren *Rotoplast* und *Sprühbalken* eine Wirkung erzielt werden. Auf 8 mm Belägen ist das *Sprühbalken* Verfahren am effektivsten. Für beide Belagsklassen führt das Reinigungsverfahren *Kehren* zu keiner Verbesserung der akustischen Eigenschaften.

Wirkungsweise bei 4 mm Belägen: Die Wirkung der Reinigung auf 4 mm Belägen zeigt sich in erster Linie durch eine Verbesserung der Luftströmungseigenschaften und in geringerem Masse der Schallabsorptionseigenschaften.

Wirkungsweise 8 mm Belägen: Auf 8 mm Belägen ist die Wirkung tendenziell geringer. Aufgrund von Inkonsistenzen in den verschiedenen Messresultaten konnten keine gesicherten Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung der Reinigung auf die Schallentstehungsmechanismen und Schallabsorption gemacht werden.

Aufgrund der geringfügigen Wirkung auf die lärmreduzierenden Eigenschaften sollte die Planung des Reinigungsunterhalts lärmarmer Beläge auf einer sorgfältig durchgeführten Kosten/Nutzen-Analysen basieren. Folgende Richtpreise können für eine Kosten/Nutzen-Analyse benutzt werden:

- Reinigung im Umkreis von 50 km der Reinigungsfirma: Installation: 250 Fr. pauschal; Hecksauganlage/Rotoplast: 0.15 Fr./m²
- Reinigung im Umkreis von 150 km der Reinigungsfirma: Installation: 450 Fr. pauschal; Hecksauganlage/Rotoplast: 0.15 Fr./m²

Auf **4 mm Belägen** wird empfohlen die Reinigungsverfahren *Sprühbalken* oder *Rotoplast* jeweils mit Absaugvorrichtung einzusetzen.

Auf **8 mm Belägen** wird empfohlen das Reinigungsverfahren *Sprühbalken* mit Absaugvorrichtung anzuwenden.

Generell, aber insbesondere bei älteren Belägen, sollte sichergestellt werden, dass es durch die Anwendung von Hochdruckreinigungsverfahren zu keiner Beschädigung der Belagsoberfläche kommt.

Obwohl ein geringfügiger Reinigungseffekt bezüglich den lärmreduzierenden Eigenschaften erzielt werden konnte, war es nicht möglich die genaue Lage des Schmutzeintrages im Porengefüge des Strassenbelages zu eruieren (Eindringtiefe des Schmutzes). Für die zukünftige Forschung sollten die genaue Lage und Eigenschaften des eingetragenen Schmutzes analysiert werden. Dann könnten möglicherweise angepasste Reinigungsverfahren entwickelt werden, welche den Schmutz an der spezifischen Stelle effektiver entfernen können. Weiter wäre zu untersuchen, ob der Reinigungseffekt konventioneller Verfahren durch frühzeitige und regelmässige Anwendung gesteigert werden könnte.

2.8 EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung [22]

2.8.1 Ziel und Methodik

Ziel des Forschungsprojektes war die Variabilität der bautechnischen Eigenschaften zweier Typen semidichter lärmarmen Beläge (SDA4 und SDA8), welche von verschiedenen Belagsaufbereitungsanlagen produziert werden, zu untersuchen und sowohl die bautechnischen als auch die Schalltechnischen Eigenschaften der fertig eingebauten Beläge anzugeben und hinsichtlich des Einflusses der bautechnischen Variabilität auf die akustische Performanz zu bewerten.

Gesucht waren bautechnische Faktoren, die Einfluss auf die akustischen Eigenschaften des Endprodukts haben. Hierzu bedurfte es systematischer quantitativer Untersuchungen und einer Dokumentation des hergestellten Produkts, von der Baustoffanlieferung bis zur fertigen Deckschicht. Dazu zählen u. a.:

- Beobachtung und Dokumentation der Mischgutlieferung und des Einbaus
- Dokumentation des Walzregimes und der eingesetzten Baumaschinen
- Dokumentation des Temperaturverhaltens von angeliefertem Mischgut und der Deckschicht während der Verdichtung mit Hilfe von Wärmebildaufnahmen
- Erweiterte bautechnische Kontrollprüfung am Mischgut und an der fertigen Schicht
- Bestimmung schalltechnisch relevanter Oberflächeneigenschaften der fertigen Schicht
- Schalltechnische Kontrollprüfung der fertigen Schicht

Mit dem vorhandenen Budget konnten zwölf Einbauten näher untersucht werden. Die Auswahl richtete sich nach folgenden Kriterien:

- je sechsmal SDA 8 und sechsmal SDA 4 (wenigstens zwei verschiedene Beläge),
- nicht zu viele verschiedene Mischwerke (damit ein Vergleich möglich wird),
- möglichst früher Einbautermin im Kalenderjahr (damit der Belag noch vor dem Herbst eingefahren werden konnte und Reserven für eine allfällige Änderung der Auswahl in der Bausaison vorhanden war),
- nicht zu viele verschiedene Baufirmen (damit ein Vergleich möglich wird),
- nicht zu kurze Strecken (mindestens 200 m), damit Mischgutentnahme- und Messpunkte und CPX-Messungen statistisch hinreichend unabhängig sein können.

Für jeden Einbau wurden insgesamt 56 akustische und bautechnische Beobachtungsvariablen (Attribute) zusammengestellt. Über eine Korrelationsanalyse ergaben sich statistische Zusammenhänge zwischen den Baustellen und den Beobachtungsvariablen.

2.8.2 Wichtige Ergebnisse und Empfehlungen

Beim Einbau gingen die Baufirmen jeweils recht ähnlich und mit einem vergleichbaren Maschinenpark zu Werke. Beobachtete Materialtemperaturen und die Walzregimes waren ähnlich, letztere wurden teilweise aber etwas willkürlich umgesetzt.

Bei der Datenanalyse zeigte sich, dass die Hohlraumgehalte teilweise über die Vorgaben der SNR 640436 für die Belagsklasse B bis in Klasse C hinausgingen.

Die typische Schwankungsbreite bei den SDA4-Einbauten deutlich höher ist als bei den SDA8-Einbauten. Die höchste Varianz ergibt sich bei den Kennwerten für die Sieblinien. Die Spannen der CPX-Pegel liegen bei beiden Deckschichtvarianten um 2.5 dB.

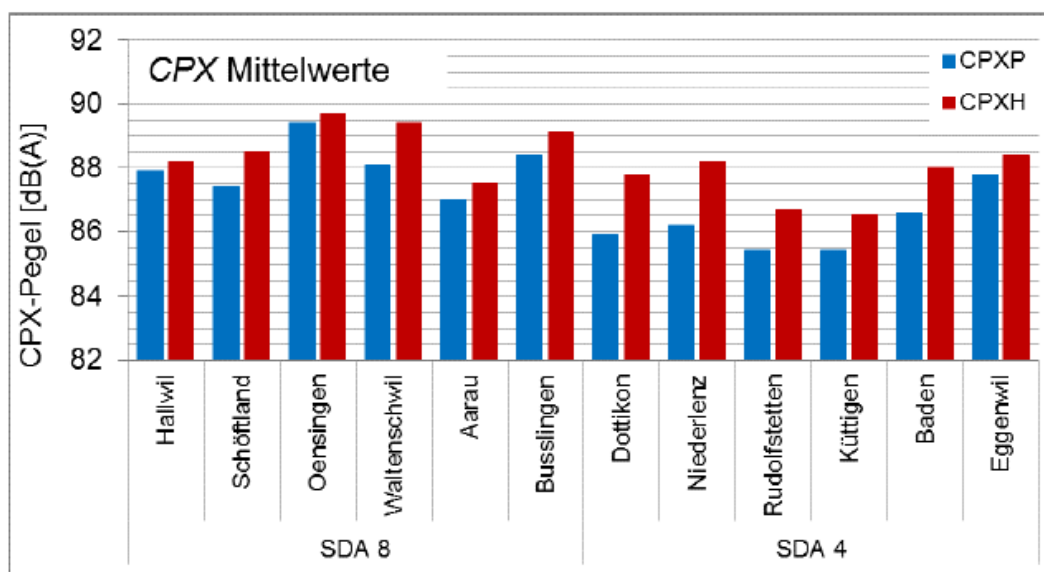


Abb.17: Arithmetischer Mittelwert der CPX-Pegel beider Fahrstreifen für Reifentypen P (blau) und H (rot) für den SDA 8B (links) und SDA 4B (rechts).

Die Texturparameter der Deckschicht weisen überwiegend Standardabweichungen unter 15 Prozent auf, Absorptionsgrad und Strömungswiderstand liegen mit ihren Standardabweichungen wesentlich höher.

Signifikante Korrelationen gibt es zwischen bautechnischen und akustischen Grössen. So korreliert z.B. der prozentuale Sieblinienanteil bis zum halben Grösstkorn gut mit dem Hohlraumgehalt des Bohrkerns und dieser mit dem Schallabsorptionsvermögen und dieses mit dem CPX-Pegel, ein Zusammenhang, der nicht nur statistisch belegt sondern auch physikalisch sinnvoll ist.

In der vorliegenden Untersuchung war das akustische Verhalten der fertigen Strasse weniger vom Verhalten auf der Baustelle geprägt als vom verbauten Mischgut. Von entscheidender Bedeutung für die akustischen Eigenschaften ist seine Korngrössenverteilung. Der feinkörnige SDA 4 führt zu wesentlich weniger rauen Oberflächen als der SDA 8, in der vorliegenden stichprobenartig durchgeführten Untersuchung verfügt der SDA 4 über mehr Hohlraum und ist auch deshalb im Mittel um rund 2 dB leiser als der SDA 8.

Der Gestaltungsspielraum der Belagsmischwerke sollte eingeengt werden, indem für die verschiedenen Hohlraumklassen spezifische Sieblinien vorgegeben werden anstatt der für drei Hohlraumklassen gültigen Kurven der derzeitigen SNR 640 436. Es sollte der ak-

kumulierte Kornanteil entlang der Sieblinie bis zum halben Grösstkorn mindestens 25 M.-% betragen. Vorgaben für den Hohlraumgehalt von semidichten Belägen und für ihre praktische Umsetzung sollten eindeutig und ausschliesslich auf das Ausmessverfahren (Verfahren D) bezogen sein.

Das akustisch motivierte Streben nach einer Deckschicht mit wenig rauer Oberfläche und einem Netzwerk verbundener Hohlräume für die Schallabsorption sollte in einem SDA 4 oder SDA 8 zu niedrigen Reifen-Fahrbahngeräuschen (CPXP-Pegeln) führen, wenn folgenden Zielvorgaben eingehalten werden:

- Akkumulierter Anteil der Sieblinie von mindestens 25 M.-% beim halben Grösstkorn,
- Texturgestaltungsfaktoren von über 80 %,
- niedrige vom Grösstkorn abhängige Effektivwerte der Oberflächenrauigkeit (beim SDA 4 RMS=0.4 mm, beim SDA 8 RMS=0.6 mm),
- ein breitbandiges Absorptionsspektrum mit Absorptionsmaxima von mindestens 0.2,
- moderate Strömungswiderstände von unter 15'000 Pa s/m,
- Bohrkernhohlraumgehalte nach Verfahren D von mindestens 12 Vol.-%.

Die präzise Erfassung der Einbauvorgänge (Maschinendaten, Einbautemperaturen, georeferenzierte Walzübergänge, etc.) könnte die Ursache von einbaubedingten bautechnischen und akustischen Inhomogenitäten erklären und helfen, diese künftig zu reduzieren.

2.9 Nicht umgesetzte Projektideen

2.9.1 EP6: Allgemeine Grundlagen für die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure des Strassenbaus beim Einsatz lärmarmen Beläge

Ziel des Forschungsprojektes war es, Grundlagen für eine Zusammenarbeit zwischen Bauherr und Unternehmer für den Einbau lärmarmen Beläge zu erarbeiten. Zum einen sollten die gesetzlichen und technischen Rahmenbedingungen festgelegt werden, um die akustischen Eigenschaften in allen Phasen der Planung und Ausführung berücksichtigen zu können. Zum anderen war eine geeignete Garantieregelung für die akustische Dauerhaftigkeit des Belages zu definieren.

Zu diesem Einzelprojekt wurde nur ein Antrag eingereicht, welcher die Erwartungen und Anforderungen der Projektleitung und der Begleitkommission nicht erfüllte. Aus diesen Gründen wurde darauf verzichtet, das Projekt zu vergeben.

2.9.2 EP9: Grundlagen zur Entwicklung eines neuen akustischen Emissionsmodelles

Das Einzelprojekt EP9 "Grundlagen zur Entwicklung eines neuen akustischen Emissionsmodells", welches gemeinsam vom BAFU und Experten im Rahmen eines Workshops definiert wurde und für die zweite Phase des TP1 vorgesehen war, wurde nicht weiter verfolgt. Grund dafür waren die Arbeiten des BAFU hinsichtlich des zukünftigen Rechnungsmodells für den Strassenlärm. Dabei handelte es sich um Überlegungen, ob Elemente aus SonBase sowie die neusten Erkenntnisse aus der internationalen Entwicklung berücksichtigt werden sollten. Die entsprechenden strategischen und technischen Analysen waren noch nicht abgeschlossen. Das BAFU war deshalb der Ansicht, dass ein Forschungsprojekt zu diesem Thema noch verfrüht ist.

2.9.3 EP11: Indirekte Messmethode für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge

Im Rahmen der Ausschreibung des EP2 wurde das Ziel eine "Methode basierend auf bestehenden/üblichen oder neuen Labormessgeräten" zur Bestimmung der Dauerhaftigkeit von lärmarmen Belägen zu entwickeln, formuliert.

Die Forschungsstelle für das EP2 schlug vor, ein von ihnen neu entwickeltes Laborgerät (Prototyp IMPACT) einzusetzen. Aufgrund der festgestellten Problematiken bei der Anwendung des IMPACT im EP2 wurde entschieden, im Rahmen der zweiten Phase nach alternativen Lösungen für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit zu suchen. Ein Ansatz wäre die indirekte Bestimmung mit Hilfe bestehender Labormethoden, -geräte.

Keiner der eingereichten Anträge erfüllte jedoch die Erwartungen und Anforderungen der Projektleitung und der Begleitkommission. Aus diesen Gründen wurde darauf verzichtet, das Projekt zu vergeben.

3 Teilprojekt 2: Teststrecken

3.1 Ziele des TP2

Das Teilprojekt 2 (TP2) des Forschungspaketes hatte als Hauptaufgabe die Realisierung von Teststrecken, welche wiederum als Grundlage für die Forschungsprojekte des TP1 sowie für die Langfristigen Messungen der akustischen und mechanischen Eigenschaften des TP3 dienen.

Mit dem TP2 sollte eines der Hauptziele des Forschungspaketes erreicht werden, nämlich die Akzeptanz gegenüber lärmarmen Belägen zu fördern und mit den betroffenen Strasseneigentümern eine Win-Win-Situation zu erreichen. Durch den Bau von Teststrecken sollten die Praxistauglichkeit lärmarmen Beläge und die Vorteile als lärmindernde Massnahme den Strasseneigentümern aufgezeigt werden.

Als Anreiz und als Risikobeitrag sowie als Beteiligung an allfällige Mehrkosten war eine Pauschalvergütung von CHF 14.00 pro eingebautem m² mit einem Gesamtbudget von CHF 2.3 Mio im Forschungspaket bereitgestellt worden.

3.2 Vorgehen, Methodik

3.2.1 Einleitung

Noch vor dem eigentlichen Start des Forschungspaketes wurden die kantonalen Behörden angeschrieben, Strecken für einen Einsatz lärmarmen Beläge anzumelden. Die Strecken mussten dabei folgende Kriterien erfüllen:

- Innerortsbereich ($v \leq 50$ km/h)
- einzubauende Fläche $> 3'000$ m²
- DTV > 5000
- keine wesentlichen zu erwartenden Veränderungen des Verkehrsaufkommens in den nächsten 5 Jahren
- keine wesentlichen zu erwartenden Veränderungen des bebauten Umfeldes in den nächsten 5 Jahren

Auf diese Anfrage hin wurden von den Kantonen 135 Strecken gemeldet. Aufgrund des beschränkten Budget- und Zeitrahmens musste die Anzahl der Teststrecken stark reduziert werden.

3.2.2 Auswahl der Teststrecken

Bei den Verhandlungen mit den Strasseneigentümern und anderen Projektbeteiligten haben sich zwei grundlegende Aspekte herauskristallisiert, die für die Berücksichtigung der Teststrecke im Forschungspaket massgebend waren:

- Art der Ausschreibung
- Offenlegung aller Informationen über das eingebaute Mischgut

Art der Ausschreibung

- **Performance orientierter Ansatz:**
Der Bauherr definiert die zu erreichenden Eigenschaften als Anforderungen und überlässt es dem Unternehmer wie er diese erreicht. Für lärmindernden Beläge kann der Bauherr das Ziel beispielsweise in "-dB" gegenüber dem Referenzbelag vorgeben. Der Unternehmer ist frei im Entwurf des Mischgutes zur Erreichung dieses Ziels.
- **Rezept orientierter Ansatz:**
Der Bauherr definiert die Zusammensetzung des Mischgutes und übernimmt damit die

Verantwortung über die akustischen Eigenschaften des fertig eingebauten Mischgutes, unter Voraussetzung, dass der Unternehmer sämtliche Anforderungen bezüglich Zusammensetzung erfüllt (Hohlraumgehalt, Bindemittelgehalt, Verdichtungsgrad, etc.).

Im vorliegenden Forschungspaket wurde der Rezept orientierte Ansatz gewählt, damit bewusst verschiedene Kombinationen von Hohlräumen und Gesteinskörnungen eingebaut und hinsichtlich der Lärminderung untersucht werden konnten. Teststrecken, bei denen der Bauherr eine Performance orientierten Ansatz vorsah, wurden deshalb nicht berücksichtigt.

Offenlegung der Informationen

Firmenprodukte, die speziell für den Performance orientierten Ansatz entwickelt wurden, konnten aufgrund der gemachten Erfahrungen in ähnliche Kategorien wie beim Rezept orientierten Ansatz eingeordnet werden. Es waren jedoch nur zwei Unternehmungen bereit, die entsprechenden Informationen über ihre Produkte offenzulegen.

Die Bedingungen für die Aufnahme der Teststrecke wurden mit den nachfolgenden Kriterien (zusätzlich zu den Kriterien aus Kap. 3.2.1) ergänzt:

- Ausschreibung gemäss Rezept orientiertem Ansatz.
- Anwendung der Ausschreibungsunterlagen, die spezifisch für das Forschungspaket entworfen wurden.
- Durchführung der Kontrollen des Mischguts und der eingebauten Schichten gemäss Prüfplan nach SN 640 434 [4].
- Offenlegung aller Informationen über die eingesetzten Produkte.
- Bereitschaft das Risiko des Resultates bezüglich Lärminderung und mechanischer Standfestigkeit zu übernehmen und nicht auf die Unternehmung abzuwälzen.
- Entschädigung der Eigentümer mit einem Pauschalbeitrag von CHF/m² 14.00 für die mit dem lärmindernden Mischgut eingebaute Fläche.

Es wurden 15 Teststrecken ausgewählt und realisiert. Sie sind auf 11 Kantone und alle Sprachregionen verteilt. Alle Teststrecken sind im Anhang dokumentiert.

Tab. 3 Zusammenfassung der Teststrecken mit Mischgutsorte, Fläche, Einbauperiode

Teststrecke	Mischgut	Fläche	Einbau
Goldach / SG	LNA 4 C	5'170 m ²	07.2010
Visp / VS	LNA 4 B	6'794 m ²	06.2011
Näfels / GL	LNA 8 B	5'178 m ²	06.2012
Lugano / TI	LNA 4 B	13'875 m ²	05.2012
Muri / BE	LNA 4 C (Famsiphonogrip®)	11'285 m ²	08.2011
Birmenstorf / AG	LNA 8 B	1'661 m ²	08.2011
Muttenz / BL, Teil 1	LNA 8 A	2'403 m ²	08.2013
Muttenz / BL, Teil 2	LNA 4 A	6'189 m ²	07.2013
Yverdon-Les-Bains / VD	LNA 8 C	1'912 m ²	08.2012
Riehenstrasse / BS	LNA 6 C	3'615 m ²	09.2013
Morgartenring / BS	LNA 4 D	7'406 m ²	08.2012
Fulenbach / SO	LNA 8 C	5'733 m ²	06.2011
Kestenholz / SO	LNA 6 B	3'755 m ²	06.2011
Prilly / VD	LNA 4 B (Camaphone) 4	4'314 m ²	08.2011
Zürich-Oerlikon / ZH	LNA 8 B	3'840 m ²	08.2012
Total 15 ausgeführte Teststrecken		83'130 m²	

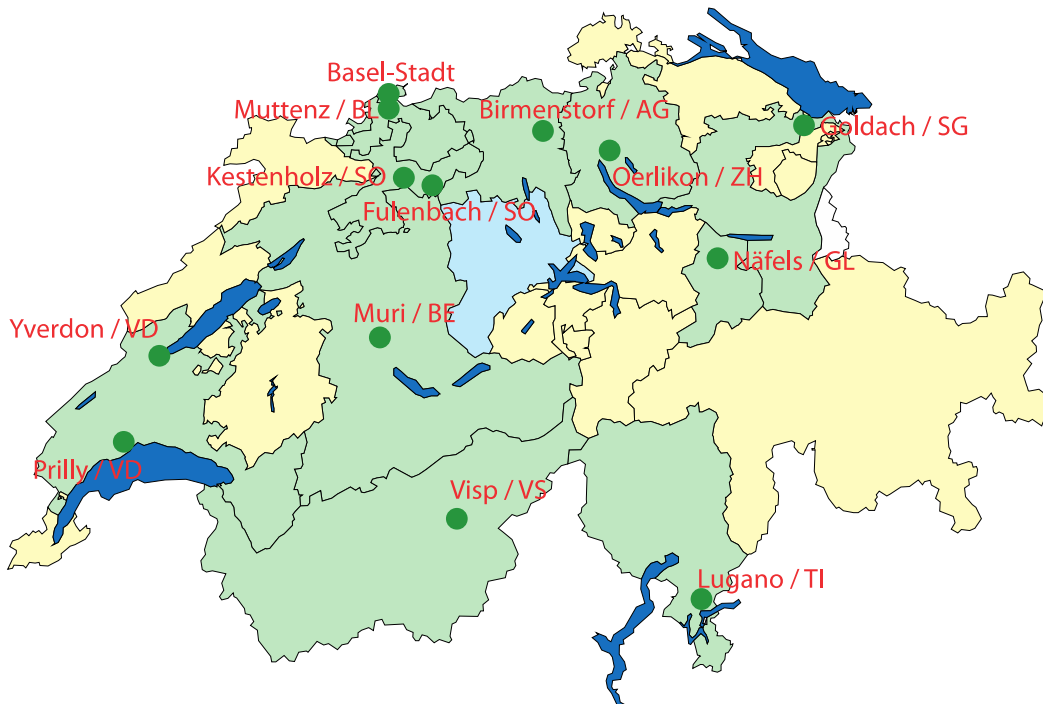


Abb.18: Kartographische Übersicht der Teststrecken.

Legende: grün = teilnehmende Kantone, grüne Punkte = ausgeführte Teststrecken

Die Teststrecken konnten im Zeitraum zwischen Juli 2010 und September 2013 realisiert werden. Insgesamt wurden 83'130 m² lärmindernde Deckschichten eingebaut und Beiträge von CHF 1'169'320.75 ausgeschüttet.

Die Realisierung der Teststrecken wurde durch die Teilprojektleitung 2 (TPL2) in vorbereitenden Sitzungen, bei der Prüfung der Rezepturen und während des Probe- und Haupteinbaus vor Ort begleitet. Zuletzt erfolgte eine Nachbegehung, anlässlich derer der Zustand der Strecke aufgenommen und dokumentiert wurde.

3.2.3 Ablauf der Realisierung der Teststrecken

Der Ablauf erfolgte gemäss den nachfolgend beschriebenen Schritten:

- Kontaktnahme mit der verantwortlichen Behörde für eine potentielle Teststrecke.
- Falls die Teststrecke die technischen Anforderungen erfüllte, wurde anlässlich einer ersten Sitzung mit der Behörde das Forschungspaket präsentiert und die Bedingungen für die Teilnahme an das Projekt erörtert. Sobald der Bauherr sein Einverständnis über die Bedingungen gegeben hatte, konnte mit der praktischen Realisierung begonnen werden.
- Die Ausschreibungsunterlagen bildeten die Grundlage für das Vertragsverhältnis zwischen Bauherr und Unternehmung unabhängig davon ob es sich um eine neue Ausschreibung oder eine Beststellungsänderung handelte.
- Sobald die Unternehmung feststand, wurde eine Bausitzung zwischen Bauherr, Projektingenieur, TPL2 und Unternehmung durchgeführt bei der das Forschungspaket und dessen Ziele präsentiert und insbesondere die Ausführungsbesonderheiten diskutiert und festgelegt wurden.
- Da es sich in der Regel um neue Mischgutrezepte handelte, wurde in einer ersten Phase der Entwurf des Mischgutrezeptes durchgeführt.
- In einer weiteren Phase wurde ein Probeeinbau durchgeführt, um das neu entworfene Mischgut einbauen und prüfen zu können. Der Probeeinbau sollte mit den gleichen Maschinen und der gleichen Belegschaft, die später auch am Haupteinbau eingesetzt

werden, durchgeführt werden. Die Resultate des Probeeinbaus wurden durch die TPL2 geprüft und mit dem Bauherr, der Unternehmung und dem Lieferwerk diskutiert. Oft wurden die Ergebnisse der Mischgutrezepte und/oder die Einbau-Prozedur optimiert.

- Schliesslich erfolgte der Haupteinbau, der in den meisten Fällen an einem einzigen Tag stattfand. Allerdings wurden grössere Projekte (insbesondere Visp und Lugano) in mehreren Etappen eingebaut.
- Nach dem Einbau wurden die Mischgutkontrollen und die Prüfung der eingebauten Schichten durchgeführt. Die Resultate dieser Kontrollen bilden die Grundlage für die Langzeituntersuchungen des TP3.
- Schliesslich erfolgte die Abrechnung der versprochenen Entschädigung.

3.2.4 Ausschreibungsunterlagen

Damit die Realisierung der Teststrecken technisch einheitlich durchgeführt werden konnten, wurden einheitliche Ausschreibungsunterlagen hergestellt, die als Grundlage sowohl für neue Ausschreibungen als auch für Nachtragsofferten dienten. In den Ausschreibungsunterlagen wurden für dieses Forschungspaket spezifische Mischgutsorten beschrieben, die im damaligen Normenwerk noch nicht enthalten waren. Es handelt sich um semi-dichte Mischgutsorten, welche innerhalb des Forschungsprojektes als LNA 4, LNA 6 und LNA 8 bezeichnet wurden.

Die Ausschreibungsunterlagen wurden in französischer und deutscher Sprache verfasst.

3.2.5 Mischgutsorten und -Typen

Die Mischgutsorten und -Typen wurden in den Ausschreibungsunterlagen definiert. In den Teststrecken wurden die Mischgutsorten und -Typen gemäss Tab. 4 eingebaut.

Tab. 4 Mischgutsorten und –Klassen und Zuordnung an die Teststrecken

Sorte	A (HM 8%)	B (HM 12%)	C (HM 16%)	D (HM 20%)
LNA 4	MuttENZ / BL	Visp / VS Lugano / TI Prilly / VD (Camaphone)	Goldach / SG Muri / BE (Famsiphonogrip)	Morgartenring / BS
LNA 6		Kestenholz / SO	Riehenstrasse / BS	
LNA 8	MuttENZ / BL	Birmenstorf / AG Näfels / GL Zürich-Oerlikon / ZH	Yverdon-Les-Bains / VD Fulenbach / SO	

3.3 Ergebnisse

Das Mischgut für die eingebauten Deckschichten wurde grundsätzlich gemäss dem Prüfplan nach SN 640 434 [4] geprüft. Die Anzahl effektiv durchgeführter Prüfungen ist allerdings inhomogen über die Teststrecken verteilt, da die Prüfungen durch verschiedene äussere Faktoren beeinflusst wurden (Umfang der Teststrecke, etappenweiser Einbau, etc.).

3.3.1 Hohlraumgehalt

Die volumetrischen Kennwerte des eingebauten Mischgutes sind in Tab. 5 zusammengefasst. Die Zielwerte der Hohlräume am Marshallprüfkörper sowie die Anforderungen an die Hohlräume in den Bohrkernen und an den Verdichtungsgrad gehen aus den Vorgaben der Ausschreibungsunterlagen hervor.

Grundsätzlich wurden die Hohlräume mit dem Ausmessverfahren gemäss SN 670 406a / EN 12697-6 [8], Verfahren D bestimmt. Das angewendete Verfahren ist jedoch nicht in al-

len Prüfberichten explizit angegeben. Man kann jedoch davon ausgehen, dass das Ausmessverfahren angewendet wurde.

Die Abweichung vom Zielwert ist die Differenz zwischen dem Mittelwert des Hohlraumgehaltes nach Marshall zum vorgegebenen Zielwert der Mischgutsorte. Das Mischgut von drei Teststrecken erfüllt die Vorgabe der Bandbreite von $\pm 2\%$ gegenüber dem Zielwert nicht (siehe Tab. 5).

Die Hohlräume an den Bohrkernen sind entsprechend dem Verdichtungsgrad anders als die Hohlräume nach Marshall. Alle Mittelwerte der Hohlräume an den Bohrkernen erfüllen die Anforderungen, mit Ausnahme von zwei Teststrecken.

Tab. 5 Hohlräume am Marshallprüfkörper und Abweichung vom Zielwert

Ort	Mischgut	Zielwert HR Marshall	Mittelwert HR Marshall	Vorgegebene Grenzwerte	Abweichung vom Zielwert
Muttenz, Teil 2	BL LNA 4 A	8%	8.3%	6%...10%	+0.3%
Prilly	VD LNA 4 B	12%	9.9%	10%...14%	-2.1%
Visp	VS LNA 4 B	12%	12.6%	10%...14%	+0.6%
Lugano	TI LNA 4 B	12%	13.0%	10%...14%	+1.0%
Goldach	SG LNA 4 C	16%	17.6%	14%...18%	+1.6%
Muri	BE LNA 4 C	16%	18.9%	14%...18%	+2.9%
Morgartenring	BS LNA 4 D	20%	18.5%	18%...20%	-1.5%
Kestenholz	SO LNA 6 B	12%	11.3%	10%...14%	-0.7%
Riehenstrasse	BS LNA 6 C	16%	15.4%	14%...18%	-0.6%
Muttenz, Teil 1	BL LNA 8 A	8%	7.9%	6%...10%	-0.1%
Oerlikon	ZH LNA 8 B	12%	8.9%	10%...14%	-3.1%
Näfels	GL LNA 8 B	12%	12.5%	10%...14%	+0.5%
Birmenstorf	AG LNA 8 B	12%	13.7%	10%...14%	+1.7%
Yverdon	VD LNA 8 C	16%	14.4%	14%...18%	-1.6%
Fulenbach	SO LNA 8 C	16%	15.5%	14%...18%	-0.5%

Die Wahl der Hohlräume wurde grundsätzlich durch die Produktionstoleranzen beeinflusst. Eine zu feine Unterteilung hätte möglicherweise zu keinem signifikanten Unterschied zwischen den Gemischen geführt, während mit einer zu groben Unterteilung eine womöglich interessante Mischung nicht untersucht worden wäre.

Aufgrund der in der Norm SN SN 640 431-1-NA / EN 13108-1 [7] festgehaltene Erfahrung wonach die Hohlräume eines Mischgutes am Marshallprüfkörper einen Schwankungsbereich von ca. 3.0 % aufweisen, wurden die Zielwerte der Hohlräume am Marshallprüfkörper im FOPAK LAB in 4% Stufen festgelegt. Dies entspricht einer Fabrikationstoleranz von $\pm 2\%$.

Man erwartete somit in Bezug auf die Hohlräume am Marshallprüfkörper keine Überschneidungen in den effektiven Ergebnissen. Aufgrund der Ergebnisse ist ersichtlich, dass diese Annahme in 12 von 15 Teststrecken erfüllt wurde. Die Erfahrung aus der Begleitung der Realisierung der Teststrecken hat gezeigt, dass bereits im Entwurf des Mischgutrezeptes das Erreichen der Zielvorgabe beeinflusst wird. Somit wurde jede einzelne Erstprüfung analysiert und es wurden Anweisungen gegeben, dass bereits in dieser Phase die Hohlräume des resultierenden Mischguts möglichst nahe dem Zielwert zu liegen kommen.

Allerdings stellt man fest, dass auch innerhalb des vorgegebenen Bereichs von $\pm 2\%$ in der Produktion unvermeidbare Schwankungen aufgetreten sind. Eine direkte Folge dieser Schwankungen ist, dass zwei Mischgüter von benachbarten Klassen (z. B. B und C) sehr ähnliche Hohlräume aufweisen können.

3.3.2 Verdichtungsgrad

Bei sämtlichen Teststrecken, mit einer Ausnahme, erfüllt der Mittelwert des Verdichtungsgrades die Anforderungen (siehe Tab. 6).

Tab. 6 Hohlräume und Verdichtungsgrad des eingebauten Mischgutes und Vergleich mit den Anforderungen

Ort	Mischgut	Hohlraum Bohrkerne		Verdichtungsgrad	
		Mittelwert	Anforderungen	Mittelwert	Anforderungen
Muttenz, Teil 2	BL LNA 4 A	10.2%	6%...14%	99.7%	≥ 97%
Prilly	VD LNA 4 B	11.7%	10%...18%	98.6%	≥ 97%
Visp	VS LNA 4 B	11.7%	10%...18%	100.3%	≥ 97%
Lugano	TI LNA 4 B	13.5%	10%...18%	99.4%	≥ 97%
Goldach	SG LNA 4 C	18.5%	14%...22%	98.9%	≥ 97%
Muri	BE LNA 4 C	21.8%	14%...22%	97.2%	≥ 97%
Morgartenring	BS LNA 4 D	18.2%	18%...26%	100.3%	≥ 97%
Kestenholz	SO LNA 6 B	13.1%	10%...16%	98.0%	≥ 98%
Riehenstrasse	BS LNA 6 C	16.1%	14%...20%	99.2%	≥ 98%
Muttenz, Teil 1	BL LNA 8 A	10.8%	6%...12%	96.9%	≥ 98%
Oerlikon	ZH LNA 8 B	8.8%	10%...16%	100.2%	≥ 98%
Näfels	GL LNA 8 B	13.7%	10%...16%	98.9%	≥ 98%
Birmenstorf	AG LNA 8 B	8.1%	10%...16%	102.6%	≥ 98%
Yverdon	VD LNA 8 C	12.8%	14%...20%	101.8%	≥ 98%
Fulenbach	SO LNA 8 C	15.9%	14%...20%	99.5%	≥ 98%

Aufgrund der Anforderungen an den Verdichtungsgrad ($\geq 97\%$ bei 4-er Mischungen, $\geq 98\%$ bei 8-er Mischungen) ergibt sich, dass die Anforderungen an die Hohlräume im eingebauten Mischgut Überlappungen aufweisen (z.B. LNA 4B 10%...18% und LNA 4C 14%...22%). Diese Überlappungen sind in den effektiven Resultate feststellbar: z.B. LNA 4C Goldach 18.5% und LNA 4D Morgartenring 18.2%. Man erkennt leicht, dass in diesem Fall der Mittelwert der Hohlräume in den Bohrkerne im LNA 4D tiefer sind als derjenige im LNA 4C.

3.3.3 Bindemittelgehalt

Tab. 7 Bindemittelgehalt und Vergleich mit den Empfehlungen des FOPAK LAB (ergänzt mit denen der SNR 640 436)

Ort	Mischgut	Mittelwert	Anzahl Prüfung	Empfehlung FOPAK LAB	Empfehlung SNR 640 436
Muttenz, Teil 2	BL LNA 4 A	6.38%	4	≥ 6.2%	≥ 6.0%
Prilly	VD LNA 4 B	6.67%	1		≥ 6.0%
Visp	VS LNA 4 B	6.35%	3		≥ 6.0%
Lugano	TI LNA 4 B	6.32%	2		≥ 6.0%
Goldach	SG LNA 4 C	6.02%	2		≥ 6.0%
Muri	BE LNA 4 C	5.46%	6		≥ 6.0%
Morgartenring	BS LNA 4 D	5.62%	14		≥ 6.0%
Kestenholz	SO LNA 6 B	6.28%	2		
Riehenstrasse	BS LNA 6 C	5.68%	4		
Muttenz, Teil 1	BL LNA 8 A	5.88%	4	≥ 5.8%	≥ 5.8
Oerlikon	ZH LNA 8 B	5.76%	6		≥ 5.8
Näfels	GL LNA 8 B	6.19%	4		≥ 5.8
Birmenstorf	AG LNA 8 B	5.98%	1		≥ 5.8
Yverdon	VD LNA 8 C	5.98%	1		≥ 5.8
Fulenbach	SO LNA 8 C	5.64%	2		≥ 5.8

Die Bindemittelmenge wurde, aufgrund der mangelnden Erfahrung zu Beginn dieses Forschungsprojektes, grundsätzlich offengelassen und nur durch bekannte Empfehlungen gesteuert. Die Resultate aus diesen 15 Teststrecken (siehe Tab. 7) können als Grundlage für die weitere Entwicklung dieser Mischungen dienen, wobei eine allfällige Korrelation mit der Lärminderung berücksichtigt werden könnte.

3.3.4 Gesteinskörnungen

Die Wahl der maximalen Korngrösse wurde grundsätzlich durch die normierten und leicht erhältlichen Körnungen von 4 und 8 mm vorbestimmt. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden zudem 2 Teststrecken mit 6-er Korn ausgeführt um zu erkennen ob diese Körnung sich wesentlich anders als die benachbarten Körnungen von 4 und 8 mm verhält.

In Tab. 8 sind die Angaben des Lieferanten, des Gesteins und des PSV der in den Deckschichten verwendeten Gesteinskörnungen dargestellt.

Tab. 8 Lieferant, Gestein und PSV der für die Deckschichten LNA verwendeten Gesteinskörnungen

Ort	Mischgut	Lieferant	Gestein	PSV	
MuttENZ, Teil 2	BL	LNA 4 A	Gasperini AG, Attinghausen	Altdorfer Quarzsandstein	56-59
Prilly	VD	LNA 4 B	Famsa, Choëx	Sandstein (Grès des Carrières)	60-62
Visp	VS	LNA 4 B	Famsa, Choëx (ca. 60%)	Sandstein (Grès des Carrières)	60-62
Lugano	TI	LNA 4 B	Gasperini AG, Attinghausen	Altdorfer Quarzsandstein	56-59
Goldach	SG	LNA 4 C	KW Schwackenreute	Alpine Moräne	53
Muri	BE	LNA 4 C	Famsa, Choëx	Sandstein (Grès des Carrières)	60-62
Morgartenring	BS	LNA 4 D	KW Breisach-Niederrimsigen	Alpine Moräne	54
Kestenholz	SO	LNA 6 B	Iff AG Kies- und Betonwerk	Bipperschotter	52
Riehenstrasse	BS	LNA 6 C	KW Breisach-Niederrimsigen	Alpine Moräne	54
MuttENZ, Teil 1	BL	LNA 8 A	Topmineral		
Oerlikon	ZH	LNA 8 B	Hard AG, Volketswil		
Näfels	GL	LNA 8 B	Haltengut AG Mollis	Sandstein	55
Birmenstorf	AG	LNA 8 B	Kies Merz AG, Gebenstorf	Grube Niderhard Birmensdorf	56
Yverdon	VD	LNA 8 C	Famsa, Choëx	Sandstein (Grès des Carrières)	60-62
Fulenbach	SO	LNA 8 C	Iff AG Kies- und Betonwerk	Bipperschotter	52

3.3.5 Siebkurven

In Abb.19, Abb.21 und Abb.22 sind die Siebkurven aller Mischgutsorten, separat nach Grösstkorn, dargestellt.

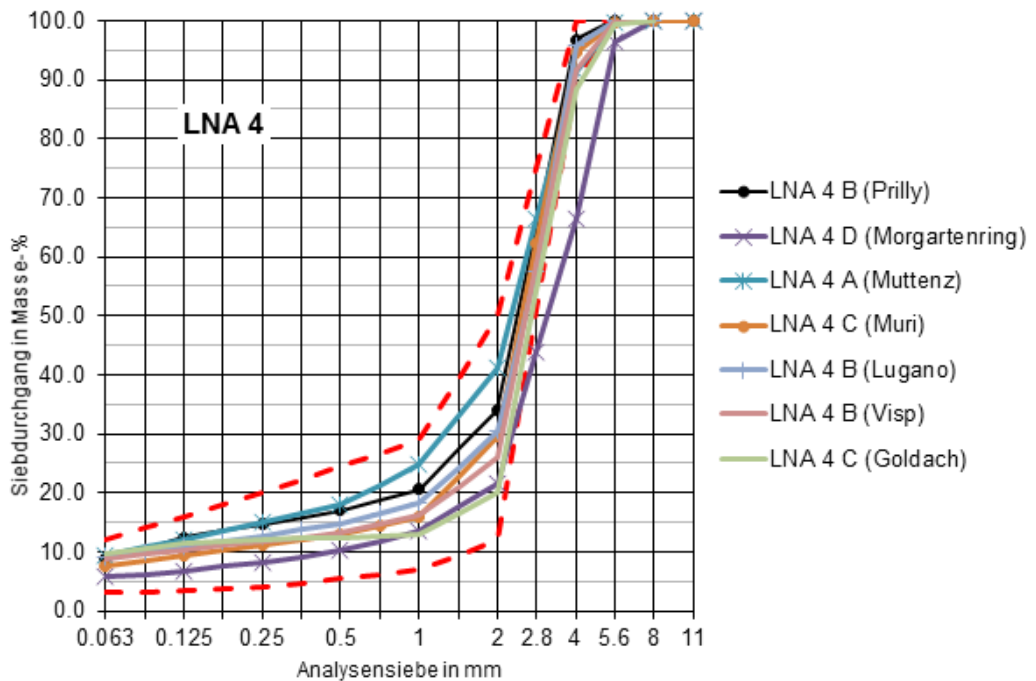


Abb.19 Darstellung der Siebkurven des Mischgutes LNA 4.

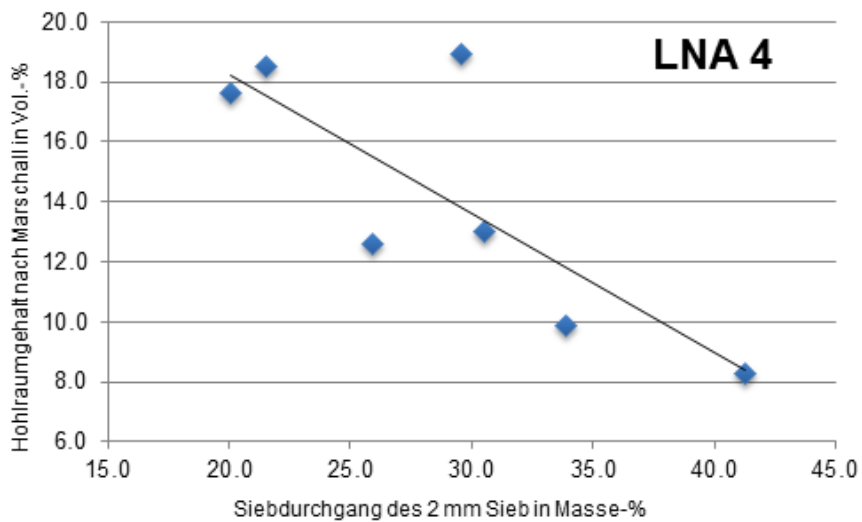


Abb.20 Korrelation zwischen Siebdurchgang des 2 mm Siebes und den Hohlräume für LNA 4.

Bei den Siebkurven der Mischgutsorte LNA 4 fällt auf, dass die grössten Unterschiede zwischen den einzelnen Kurven beim Siebdurchgang 2 mm auftreten. Nach genaueren Betrachtung, ist eine tendenzielle Korrelation zwischen dem Siebdurchgang des 2er Korn und Hohlraumgehalt ersichtlich. Das 2er Korn könnte als Indikator des voraussichtlich zu erreichenden Hohlraumgehaltes dienen.

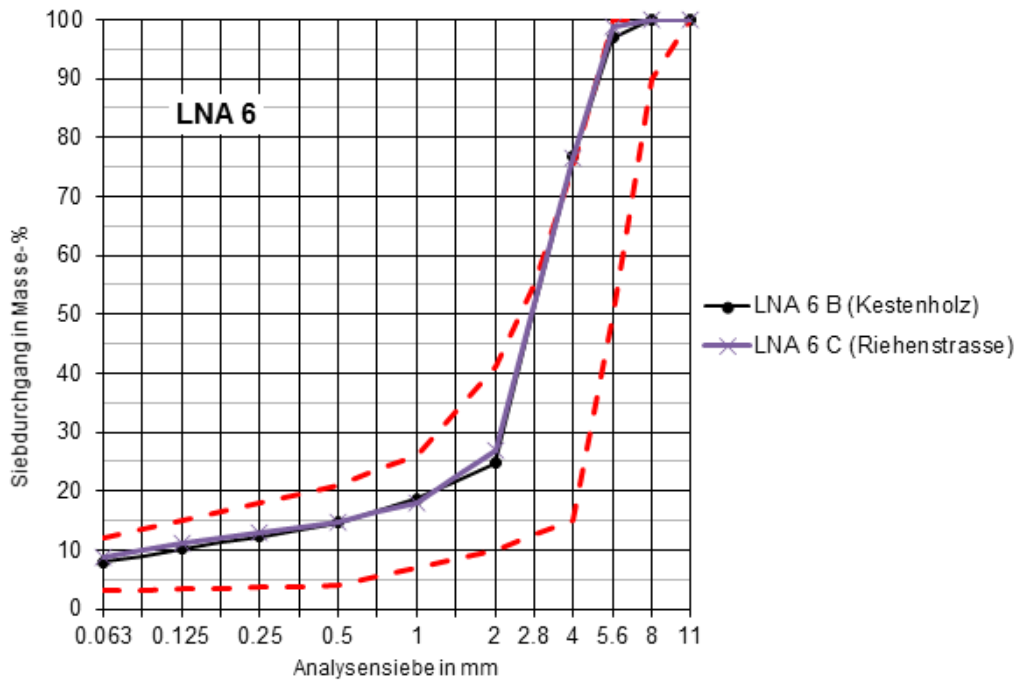


Abb.21 Darstellung der Siebkurven des Mischgutes LNA 6.

Die Anzahl Kurven für den LNA 6 ist zu gering um eine Gesetzmässigkeit erkennen zu können.

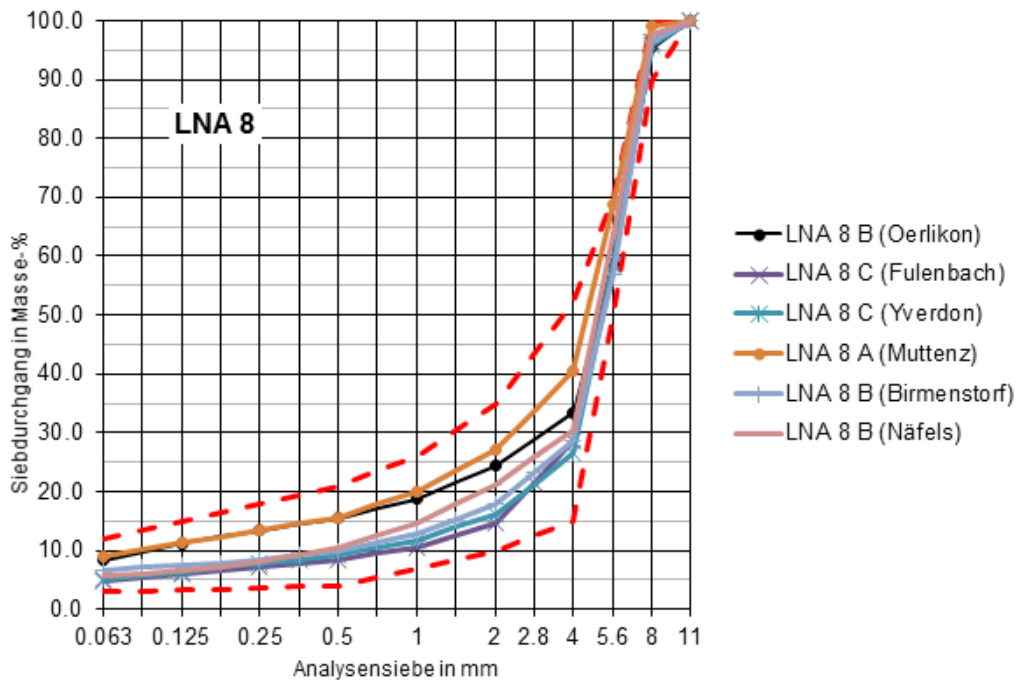


Abb.22 Darstellung der Siebkurven des Mischgutes LNA 8.

Für die Siebkurven des LNA 8 kann qualitativ eine Tendenz erkannt werden: für die Hohlraumreichere Sorten (LNA 8 C) ist die Ausfallkörnung der Siebkurve weniger ausgeprägt als für die Hohlraum ärmeren Sorten (LNA 8 A). Allerdings ist hier nicht wie für das Mischgut LNA 4 nur ein bestimmter Siebdurchgang als Indikator massgebend, sondern mehrere, die die Form der Siebkurve prägen.

3.4 Erkenntnisse

3.4.1 Zusammenarbeit mit den Normierungsinstanzen

Die Ergebnisse aus dem TP2 sind direkt in der normengebenden Kommissionen des VSS eingeflossen. Aufgrund der gemachten Erfahrungen wurden die Regeln SNR 640 425 "Lärmindernde Decken" [3] und SNR 640 436 "Semidichtes Mischgut und Deckschichten" [5] publiziert:

- SNR 640 425 Lärmindernde Decke (Grundlagen). Dieses Dokument teilt die lärmindernden Eigenschaften in drei Kategorien ein und kann als Grundlage für den Performance-orientierte Satz verwendet werden.
- SNR 640 436 Semidichtes Mischgut und Deckschichten (Festlegungen, Anforderungen, Konzeption und Ausführung). Diese SNR enthält alle materiellen Angaben und Anforderungen um ein semi-dichten Asphalt (SDA) ausschreiben zu können. Die SDA entsprechen weitgehend den im Forschungspaket verwendeten Mischgutdefinitionen. Somit bildet dieses Dokument die Grundlage für die Realisierung weiterer Strecken mit lärmindernde Beläge und wird ermöglichen weitere Erfahrungen auf noch breiterer Skala zu sammeln.
- Am 30.9.2015 wurde eine neue Version der SNR 640 436 herausgegeben, bei der im Wesentlichen eine Änderung der Bezeichnung vorgenommen wurde. Neu sind die SDA – 12, SDA – 16 und SDA – 20 definiert anstelle der Typenbezeichnungen A, B, C oder D.

Die SNR hat eine zeitliche Begrenzung als Norm. Es ist deshalb zwingend, dass das semidichte Mischgut als neue Mischgutgruppe in das offizielle Normenwerk SN eingefügt wird, damit eine lückenlose auf einer Norm basierte Verwendung dieses Mischgutes auch in Zukunft möglich sein wird.

3.4.2 Zusammenarbeit mit Behörden, Unternehmungen, Lieferwerke und Labors

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden zahlreiche Kontakte mit Behörden, Unternehmungen, Lieferwerke und Labors geknüpft. Die Zusammenarbeit mit all diesen Instanzen war gut.

Die Erfahrung aus diesem Forschungsprojekt hat gezeigt, dass die persönlichen Kontakte und Begleitung vor Ort die Erfolgsfaktoren für das gute Gelingen der der Teststrecken waren.

Bezüglich der Zusammenarbeit gab es jedoch häufig Schwierigkeiten bei der Terminplanung. Verschiebung der Projekte aus finanziellen, planerischen oder organisatorischen Gründen, oder zusätzlich durch den Mehraufwand, welcher für die Ausarbeitung der Ausschreibungsunterlagen benötigt wurden, waren die Hauptgründe dafür.

3.4.3 Praktische Erfahrungen und Empfehlungen

Zusätzlich zu den eigentlichen lärmindernde Eigenschaften des Mischgutes, sind andere Lärmquellen zu vermeiden, wie zum Beispiel Querfugen und Schachteinbauten. Während der Lebensdauer eines Belages können weitere Aspekte das Lärmverhalten beeinflussen, wie beispielsweise das Öffnen von Langs- und Querfugen, sowie die Bildung neuer Belagsrisse, die im schlimmsten Fall langfristig Löcher verursachen können.

Es muss deshalb grosser Wert auf eine sorgfältige Ausführung des Deckbelages geachtet werden, sowohl in organisatorisch-planerischer Hinsicht, als auch in der Pflege der Details während der eigentlichen Ausführung. Die nachfolgend beschriebenen Aspekte werden als wichtig eingeschätzt und wurden, soweit als möglich, in der Ausführung der Teststrecken beachtet und umgesetzt.

Vollsperrung

Vollsperrung der einzubauende Strasse und Einbau auf der gesamten Breite in einer Etappe. Damit soll vermieden werden, dass unterbruchbedingte Längs- und Querfugen (Arbeitsfugen) entstehen. Diese Anforderung ist insbesondere im planerischen und organisatorischen Bereich anzusiedeln und muss bereits durch den Bauherrn und den Planer in der Projektierungs- und Ausschreibungsphase berücksichtigt werden (Umleitungen, Sonntagsarbeit, etc.).

Alle durchgeführten Teststrecken konnten mit einem Einbau auf voller Breite realisiert werden. Einzige Ausnahme bildet der Abschnitt "Bristol-Kreisel" – "Carosserie Torsa" in Visp, wo der Einbau auf beiden Fahrbahnhälften separat erfolgte.

Konstante Dicke der Deckschicht

Damit eine konstante Dicke der Deckschicht erreicht werden kann, muss auf einen sorgfältigen Einbau des Untergrundes, insbesondere der Binderschicht, geachtet werden. Der Ersatz der Deckschicht mit einer konstanten Dicke ist durch abfräsen der alten Deckschicht aufgrund der Genauigkeit des Fräsvorganges nicht ohne weiteres möglich. Eine mögliche Massnahme wäre die Erneuerungen der Deck- und Binderschicht. Der Einbau der neuen Binderschicht muss zudem auf einem grösseren Abschnitt erfolgen, damit die erforderliche Höhengenaugigkeit und Ebenheit erreicht werden kann.

Schachtdeckel

Die Lage der Schachtdeckel innerhalb der Fahrbahn ist ebenfalls ein wesentlicher Lärmfaktor einer Strasse. Es muss deshalb planerisch vermieden werden, dass sich Schachtdeckel systematisch in der Fahrspur der Fahrzeugräder befinden. Dabei müssen auch die Besonderheiten des Schwerverkehrs beachtet werden.

Rein ausführungstechnisch ist das Versetzen der Schachtdeckel in ihre definitive Lage durch Hochziehen nach dem Einbau zu bevorzugen. Dies bedingt jedoch den Einsatz von höhenverstellbaren Schachtdeckeln, die sich in der definitiven Lage ausinjizieren lassen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass man während dem Einbau nicht durch die Höhenlage der Schachtdeckel eingeschränkt wird und sich somit auf die Ebenheit des Einbaus konzentrieren kann.

Anlässlich der Nachbegehungen hat sich gezeigt, dass schlecht platzierte (unter den Rädern) oder schlecht eingebaute Schachtdeckel zu hörbarem Lärm führen, der noch durch die lärmindernden Eigenschaften des Belages verstärkt wird.

Schichtverbund

Um die langfristige mechanische Stabilität einer dünnen Deckschicht gewährleisten zu können, muss eine sehr gute Haftung mit dem Untergrund sicher gestellt sein. Dies bedingt eine hohe Dosierung des Haftvermittlers (400 g/m^2 50% PmB Emulsion, entspricht 200 g/m^2 effektivem Bindemittel).

Der Haftvermittler muss zwingend bereits am Vortag aufgespritzt werden, damit er vollständig brechen und trocknen kann. Diese Forderung bedingt eine längere Schliessung des betroffenen Strassenabschnittes. Dies ist somit eine planerisch-organisatorische Aufgabe des Bauherrn und Ingenieurbüros.

In einigen wenigen Teststrecken wurde auf diese Vorgabe verzichtet und es kam zu den die entsprechenden Problemen (längere Wartezeit bis zum eigentlichen Einbau und somit verspätete Eröffnung des eingebauten Abschnittes).

Verdichtung

Dünne Schichten erkalten sehr schnell und können dann nicht mehr so verdichtet werden, dass sie die Anforderungen erfüllen. Es ist somit auf eine warm-heisse Witterung zu achten und allfälligen Störfaktoren (z.B. Wartezeiten beim Transport, Wind) mit geeigneten Massnahmen entgegen zu wirken (z.B. systematischer Einsatz von Thermomulden

für den Transport des Mischgutes, Walzenspiel so wählen, damit Reserven vorhanden sind, um auf jeden Fall sofort hinter dem Fertiger verdichten zu können).

Die Ergebnisse des Verdichtungsgrades (Tab. 6) zeigen, dass die Anforderungen an die Verdichtung in 14 Teststrecken erfüllt wurden. Dies heisst, dass in praktisch allen Teststrecken das Problem der Abkühlung der dünnen Schichten erkannt und entsprechend gehandelt wurde. Die einzige Teststrecke, die diese Anforderung nicht erfüllt (MuttENZ, Abschnitt LNA 8A), weist keine makroskopischen ungünstigen Einflüsse auf, die auf eine schlechtere Verdichtung hindeuten könnten.

Nachteinbauten

Nachteinbauten sind zu vermeiden, denn neben ungünstigen Temperaturverhältnissen und schlechter Sicht, besteht ein hoher Zeitdruck, der gegen einen sorgfältigen Einbau der Deckschicht spricht. Häufig wird die Abbindezeit des Haftvermittlers gekürzt, welche sich in einer schlechten Haftung der Deckschicht auswirken kann. Schlechte Sicht in der Nacht und tiefere Lufttemperaturen führen häufig dazu, dass die Ebenheit der Fahrbahnoberfläche leidet.

Grundsätzlich konnten alle Teststrecken während des Tages eingebaut werden (häufig am Samstag oder Sonntag). In Lugano wurde der Abschnitt via Madonnetta – via delle Aie nachts eingebaut. Die oben beschriebenen Probleme sind dann auch eingetreten.

Probeeinbau

Eine weitere nützliche organisatorische Massnahme ist die Durchführung eines Probeeinbaus. Der Probeeinbau ist eine sehr gute Möglichkeit das Zusammenspiel zwischen Produktion, Einbau und Endergebnis zu prüfen.

Unglücklicherweise traten in einigen wenigen Teststrecken, bei denen der Probeeinbau problemlos verlief, Probleme beim Haupteinbau auf (z.B. Oerlikon, zu tiefer Hohlraumgehalt). Umgekehrt konnten bei vielen Teststrecken die während des Probeeinbaus festgestellten Probleme für den Haupteinbau korrigiert werden.

Betreuung der Baustellen

Die Betreuung der Baustellen durch einen unabhängigen externen Berater hat sich bewährt. Dadurch konnten dem Bauherrn und der Unternehmung direkt Hinweise weiter gegeben werden, die sich in der Organisation der Baustelle sowie in der Pflege einiger Details positiv auswirkte.

Praktisch alle Baustellen wurden durch die TPL2 begleitet (mindestens beim Probe- oder Haupteinbau). In den wenigen Fällen, die nicht direkt betreut werden konnten, war die kurze Vorwarnzeit ausschlaggebend. In der Folge konnten bei diesen Baustellen die nötigen Informationen auch nur schwer beschafft werden oder die Durchführung der Materialuntersuchungen zu verlangen.

3.4.4 Nachbegehungen

Die Nachbegehungen wurden visuell durchgeführt und durch die Gespräche mit den beteiligten Behörden ergänzt. Damit konnte eine qualitative Aussage über das Empfinden und die Akzeptanz der eingebauten, lärmarmen Beläge durch die Anwohner gemacht werden.

Die Begehungen fanden an folgenden Tagen statt:

- 15.10.2015: Goldach (SG), Näfels (GL), Zürich-Oerlikon (ZH)
- 16.10.2015: Birmenstorf (AG), MuttENZ Teil 1+2 (BL), Morgartenring (BS), Riehenstrasse (BS), Fulenbach (SO), Kestenholz (SO), Muri (BE)
- 21.10.2015: Visp (VS), Prilly (VD), Yverdon (VD)
- 23.10.2015: Lugano (TI)

Die Begehung erfolgte grundsätzlich gemäss SN 640 925b „Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF), Zustandserhebung und Indexbewertung“ [6].

Allerdings sind die meisten Teststrecken kurz und der Zustand auf den längeren Abschnitten ist sehr homogen, sodass die Aufteilung in 250 m Abschnitte keine zusätzlichen Informationen lieferte. Eine Berechnung des Index I1 für den ungünstigsten Fall (Teststrecke Goldach) ergab, dass $I1 < 1$ ist, sodass auch in diesem Fall, dass Attribut "gut" gegeben werden kann. Alle anderen Abschnitte weisen einen Index von nahezu $I1 = 0$ auf, da keine der normierten Schadensbilder vorkommen (ausser wenigen, geringfügigen und lokalen Risse, die allenfalls $I1 = 0.2$ bewirken). Aus diesem Grund wurde verzichtet die Indizes I1 für jede Teststrecke anzugeben. Stattdessen wurde eine qualitative Beurteilung für jede Teststrecke mit den Hauptmerkmalen festgehalten. Die spezifischen Beobachtungen zu jeder Teststrecke sind im Anhang beschrieben. Der Zustand aller Teststrecken kann grundsätzlich als gut bis sehr gut bezeichnet werden.

Alle Teststrecken wurden mit dem Messrad vermessen, um die Teststrecke eindeutig in die lokale Topographie einordnen zu können. Diese Information kann für die Auswertung von Messungen, die auf der ganzen Teststrecken erfolgen (z. B. CPX-, Ebenheits- und Griffigkeitsmessungen) nützlich sein.

Für die Teststrecken Goldach, Näfels, Zürich, Muttenz, Basel-Stadt und Prilly konnte Gespräche mit den Vertretern der Strasseneigentümer geführt werden. Dadurch konnte über die Ergebnisse der Lärmmessungen aus dem TP3 informiert und Informationen aus dem Betrieb erhalten werden.

Aus der Nachbegehung der einzelnen Teststrecken, können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Lärmige Schachtdeckel, oder zumindest gerissene Belagsränder rings um die Schachtabdeckungen, wurden bei den Teststrecken in Visp, Lugano, Muri, Muttenz und Yverdon festgestellt.
- Quer- oder Längsrisse im geringen Ausmass wurden bei den Teststrecken in Goldach, Visp, Muri, Fülenbach und Prilly beobachtet.

4 Teilprojekt 3: Monitoring [23]

4.1 Ziel und Methodik

Die Aufgabe des Teilprojektes TP3 war es, die im TP2 hergestellten Deckschichten messtechnisch zu begleiten und dabei sowohl die Entwicklung der akustischen als auch die Entwicklung der belagstechnischen Eigenschaften zu dokumentieren und zu analysieren. Die Ursachen bzw. Gründe für den akustischen Alterungsverlauf der Beläge sollte unter Bezug auf die Ergebnisse aus den belagstechnischen Untersuchungen identifiziert werden. Zu diesem Zweck wurde ein umfangreiches Mess- und Untersuchungsprogramm festgelegt.

Mess- und Untersuchungsprogramm

Tab. 9 Mess- und Untersuchungsprogramm des TP3 "Monitoring"

Messungen	Messtyp	Zeitpunkt
Erstmessungen	Akustische Gütemessungen CPX (close proximity)	ca. 3 Monate nach Einbau
	Akustische Gütemessungen SPB (statistical pass-by)	
	Schallabsorptionsmessungen	
	Wirkungsanalysen (aufgrund SPERoN-Modellierungen)	
	Längsebenheitsmessungen	
	Querebenheitsmessungen	
	Griffigkeit PTV	
	Wasserdurchlässigkeit	
	Rautiefe mit Sandfleck	
	Lasertextur	
Wiederholungsmessungen	Akustische Gütemessungen CPX (close proximity)	jährlich (ausser 3. Jahr)
	Akustische Gütemessungen SPB (statistical pass-by)	
	Schallabsorptionsmessungen	
	Wirkungsanalysen (aufgrund SPERoN-Modellierungen)	
	Lasertextur	
	Luftströmungswiderstand	
	Rautiefe mit Sandfleck	
Wiederholungsmessungen nach 3 Jahren	Akustische Gütemessungen CPX (close proximity)	3 Jahre nach Einbau
	Akustische Gütemessungen SPB (statistical pass-by)	
	Schallabsorptionsmessungen	
	Wirkungsanalysen (aufgrund SPERoN-Modellierungen)	
	Längsebenheitsmessungen	
	Querebenheitsmessungen	
	Griffigkeit PTV	
	Rautiefe mit Sandfleck	
	Lasertextur	
	Luftströmungswiderstand	

Definition Hohlraumgehalt

Die Beläge der Teststrecken wurden auf der Basis der tatsächlich in den eingebauten Deckschichten vorhandenen Hohlraumgehalte der Bohrkerne klassiert. Dies war erforderlich, um einerseits eine schärfere Abgrenzung der Teststrecken untereinander zu ermöglichen und andererseits erlaubt die Klassierung der Strecken auf der Basis der tatsächlich vorhandenen Hohlräume einen direkten Vergleich mit den akustischen Eigenschaften, welche am Objekt gemessen wurden. Folgende Klassen wurden definiert:

- HR < 8: Hohlraumgehalt der Bohrkerne < 8 Vol.-%
- HR 8/12: Hohlraumgehalt der Bohrkerne ≥ 8-12 Vol.-%
- HR 12/16: Hohlraumgehalt der Bohrkerne ≥ 12-16 Vol.-%
- HR 16/20: Hohlraumgehalt der Bohrkerne ≥ 16-20 Vol.-%
- HR ≥ 20: Hohlraumgehalt der Bohrkerne ≥ 20 Vol.-%

4.2 Wichtige Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.2.1 Ergebnisse

Die wichtigsten Eigenschaften der 15 Teststrecken sind in Tab. 10 (Mischgutuntersuchungen), Tab. 11 (Bohrkernuntersuchungen) und Tab. 12 (Oberflächeneigenschaften) zusammengestellt.

Tab. 10 Ergebnisse und Sollwerte Mischgutuntersuchungen TP2

Teststrecke	Bezeichnung TP3	Marshall-Hohlraumgehalt [Vol.-%]		Bezeichnung TP2	Bindemittelgehalt [M.-%]		Siebrückstände [M.-%]		
		IST	Anf. TP2		IST	Soll*	Füller	2.8	5.6
Basel 1	SDA4 HR>20	18.5	18-22	LNA 4D	5.62	≥ 5.8	6.2	74.4	3.7
Basel 2	SDA6 HR16/20	15.5	14-18	LNA 6C	5.70	≥ 5.8	8.8	72.9	1.0
Birmensdorf	SDA8 HR8/12	13.7	10-14	LNA 8B	5.98	≥ 5.6	6.7	82.1	39.5
Fulenbach	SDA8 HR12/16	15.5	14-18	LNA 8C	5.64	≥ 5.6	6.2	84.5	33.0
Goldach	SDA4 HR16/20	17.6	14-18	LNA 4C	6.02	≥ 5.8	9.8	80.3	0.4
Kestenholz	SDA6 HR12/16	11.3	10-14	LNA 6B	6.28	≥ 5.8	8.6	74.6	1.2
Lugano	SDA4 HR12/16	13.0	10-14	LNA 4B	6.32	≥ 5.8	k.A	k.A	k.A
Muri	SDA4 HR>20	18.9	14-18	LNA 4C	5.46	≥ 5.8	7.7	68.9	5.6
MuttENZ 1	SDA8 HR8/12	7.9	6-10	LNA 8A	6.39	≥ 5.6	8.4	71.9	3.0
MuttENZ 2	SDA4 HR8/12	8.3	6-10	LNA 4A	5.89	≥ 5.8	9.4	60.4	0.3
Näfels	SDA8 HR12/16	12.5	10-14	LNA 8B	6.19	≥ 5.6	5.7	79.3	33.3
Prilly	SDA4 HR8/12	9.9	10-14	LNA 4B	6.67	≥ 5.8	8.7	66.1	0.0
Visp	SDA4 HR8/12	12.6	10-14	LNA 4B	6.35	≥ 5.8	7.6	70.6	0.1
Yverdon-les-Bains	SDA8 HR12/16	14.4	14-18	LNA 8C	5.98	≥ 5.6	k.A	k.A	k.A
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	8.9	10-14	LNA 8B	5.76	≥ 5.6	8.0	78.0	34.0

Tab. 11 Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen aus dem TP2 (inkl. der zusätzlichen Untersuchungen in Birmensdorf und Yverdon)

Teststrecke	Bezeichnung TP3	Anzahl Bohrkern	Hohlraumgehalt [Vol.-%]		Verdichtungsgrad [%]		Schichtdicke [mm]	
			MW	Sollw.	MW	Sollw.	MW	Sollw.
Basel 1	SDA4 HR>20	8	18.2	18-26	100.3	≥ 97.0	39	35
Basel 2	SDA6 HR16/20	6	16.1	14-20	99.2	≥ 98.0	41	40
Birmensdorf	SDA8 HR8/12	2+2	10.0	10-16	100.3	≥ 98.0	35	35
Fulenbach	SDA8 HR12/16	4	15.9	14-20	99.5	≥ 98.0	42	42
Goldach	SDA4 HR16/20	8	18.5	14-24	98.9	≥ 97.0	20	25
Kestenholz	SDA6 HR12/16	4	13.1	10-16	98.0	≥ 98.0	32	30
Lugano	SDA4 HR12/16	19	13.5	10-18	99.4	≥ 97.0	34	30
Muri	SDA4 HR>20	14	21.8	14-22	97.2	≥ 97.0	25	30
MuttENZ 1	SDA8 HR8/12	8	10.8	6-12	96.9	≥ 98.0	34	30
MuttENZ 2	SDA4 HR8/12	8	10.8	6-12	97.1	≥ 97.0	31	30
Näfels	SDA8 HR12/16	8	13.7	10-16	98.9	≥ 98.0	32	35
Prilly	SDA4 HR8/12	16	11.7	10-18	98.6	≥ 97.0	37	30
Visp	SDA4 HR8/12	6	11.7	10-18	100.3	≥ 97.0	29	30
Yverdon-les-Bains	SDA8 HR12/16	4	12.8	14-20	101.8	≥ 98.0	38	40
Zürich-Oerlikon	SDA8 HR 8/12	6	8.8	10-16	100.2	≥ 98.0	34	30

Tab. 12 Oberflächentextur, mittlerer Schallabsorptionsgrad zwischen 500 und 2000 Hz und Luftströmungswiderstand im Neuzustand. (In Goldach wurden im Neuzustand keine entsprechenden Messungen durchgeführt, in Visp fehlt die Schallabsorption).

Teststrecke	Bezeichnung TP3	Einbau	Rautiefe	G-Faktor	Amax	$\lambda(A_{max})$	Schallabs	Luftstrom	Rs
			[mm]		[μ m]	[mm]	MW	[Pa*s/m]	
Basel 1	SDA4 HR>20	2012	0.74	86.3	177.4	160.0	0.254	4137	
Basel 2	SDA6 HR16/20	2013	0.60	86.1	148	8.0	0.168	10298	
Birmensdorf	SDA8 HR8/12	2011	0.68	87.5	193.7	10.0	0.110	25005	
Fulenbach	SDA8 HR12/16	2011	0.87	85.1	229.5	10.0	0.245	3136	
Goldach	SDA4 HR16/20	2010	k.A	87.1	k.A	k.A	k.A	k.A	
Kestenholz	SDA6 HR12/16	2011	0.59	86.9	154.4	5.0	0.148	12182	
Lugano	SDA4 HR12/16	2012	0.54	88.4	164.6	6.3	0.133	32873	
Muri	SDA4 HR>20	2011	0.48	85.6	150.1	6.3	0.226	6531	
MuttENZ 1	SDA8 HR8/12	2013	0.72	87.1	194	10.0	0.069	6564	
MuttENZ 2	SDA4 HR8/12	2013	0.46	88.0	73	6.3	0.060	113445	
Näfels	SDA8 HR12/16	2012	0.78	87.7	202.2	12.5	0.038	29803	
Prilly	SDA4 HR8/12	2011	0.44	88.7	143.1	6.3	0.377	86540	
Visp	SDA4 HR8/12	2011	0.55	85.5	135.9	5.0	k.A	28289	
Yverdon-les-Bains	SDA8 HR12/16	2012	0.94	85.1	273.3	10.0	0.081	5199	
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	2012	0.73	87.1	252.3	10.0	0.018	43604	

Mischgutuntersuchungen

Von den insgesamt 15 Teststrecken erfüllten 12 die Anforderungen an den Marshall-Hohlraumgehalt. Zürich-Oerlikon lag um 1.1 Vol.-% unter, Muri um 0.9 Vol.-% über dem Sollwert. Prilly lag um 0.1 Vol.-% sehr knapp unterhalb des Sollbereiches.

Die Anforderungen an den Bindemittelgehalt wurden von 12 der 15 Teststrecken erfüllt. Basel 1, Basel 2 und Muri, lagen um 0.1 bis 0.34 Masse-% unterhalb des Sollwerts für den Bindemittelgehalt.

Bohrkernuntersuchungen

In Zürich-Oerlikon und Yverdon lag der Hohlraumgehalt der Bohrkern unterhalb des Sollwertbereiches. Für Zürich-Oerlikon ist festzustellen, dass bereits der Hohlraum im Mischgut (Marshall) zu niedrig war. Alle anderen Strecken erfüllten die Anforderungen bezüglich dem Hohlraumgehalt der Bohrkern.

Mit Ausnahme der Strecke MuttENZ 1 (96.9%) erfüllen alle Strecken die Anforderungen an den Verdichtungsgrad ($\geq 97\%$).

Unter Berücksichtigung einer Toleranz für die Schichtdicke von $\pm 10\%$, liegt die mittlere Schichtdicke der Strecken in Lugano, MuttENZ 1, Prilly, und Zürich Oerlikon oberhalb (zu dick) und bei den Strecken Muri und Goldach unterhalb (zu dünn) der tolerierbaren Abweichung.

Oberflächentextur, Schallabsorptionsgrad und Luftströmungswiderstand

Die Schallentstehung wird entscheidend durch die Oberflächentextur eines Belages beeinflusst. Ein wichtiger Parameter zur Beschreibung der Oberflächentextur ist dabei der Gestaltfaktor G. Akustisch günstige, konkave Texturen tragen durch ihre plateauartige Struktur zur Verminderung der Schwingungsanregung des Reifens bei und weisen Gestaltfaktoren von deutlich mehr als 60% auf. Alle im Rahmen des TP2 eingebauten Mischgutsorten weisen Gestaltfaktoren von weit über 60% auf.

Der Wert des Schallabsorptionsgrads kann im Bereich zwischen 0 (keinerlei Schallabsorption) und 1 (grösstmögliche Schallabsorption) liegen. Reifen-Fahrbahn-Geräusche werden ab Werten des Schallabsorptionsgrads von 0.1 bereits gemindert. Ei-

ne Verdoppelung des Werts beispielsweise von 0.1 auf 0.2 oder von 0.2 auf 0.4 kann, je nach Frequenzverteilung der Schallabsorption, zu Minderungen zwischen 2 und 3 dB führen. Alle Beläge mit einer hohen Anfangslärminderung weisen Werte > 0.1 auf.

Die vergleichsweise niedrigen Strömungswiderstände auf den Strecken in Basel 1, Fulenbach und Muri hängen mit Hohlraumgehalten von 16 bis 22 Vol.-% zusammen und weisen in Verbindung mit den Schallabsorptionsgraden von über 0.2 auf eine gute Zugänglichkeit der Hohlräume hin.

Andere Deckschichten (Basel 2, Lugano und Näfels) mit niedrigeren Hohlraumgehalten weisen hohe Strömungswiderstandswerte und tiefe Schallabsorptionsgrade (< 0.2) auf, was auf eine schlechte Zugänglichkeit der Hohlräume hinweist.

Die Veränderung der akustischen Güte der verschiedenen Beläge ist nachfolgend in Abb.23 (SDA 4) und Abb.24 (SDA 6 et 8) dargestellt. Für den Vergleich mit einem konventionellen, dichten Belag ist die Entwicklung für einen SMA 11 als Referenz dargestellt.

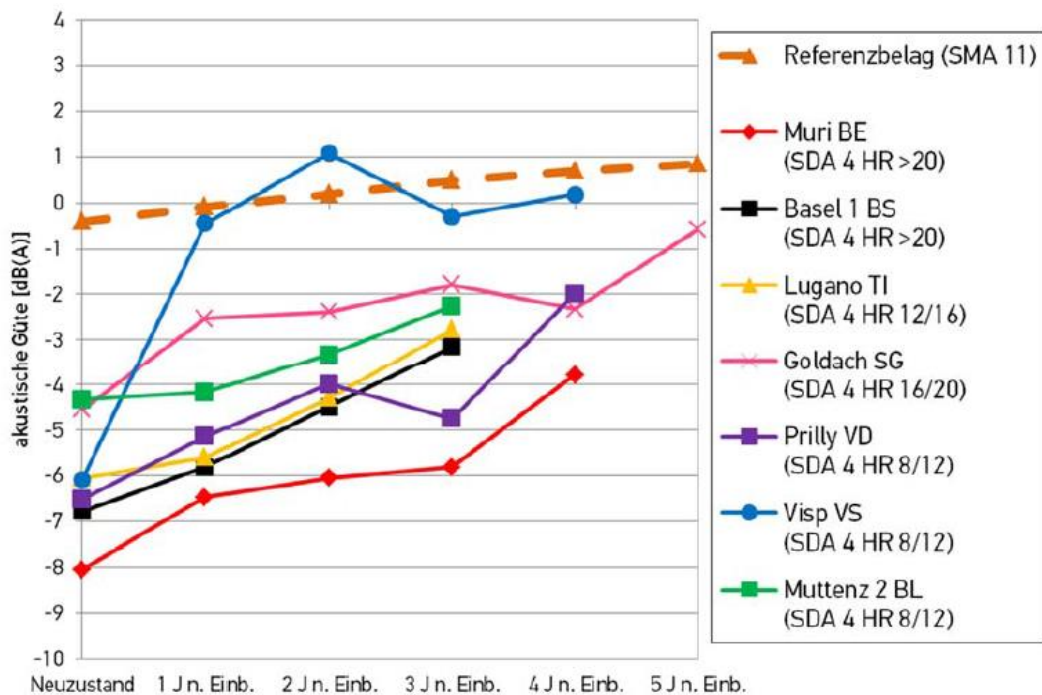


Abb.23 Veränderung der akustischen Güte seit Einbau (Streckenmittelwerte CPX PW) von SDA 4 im Vergleich zu einem konventionellen dichten Belag SMA 11 (orange).

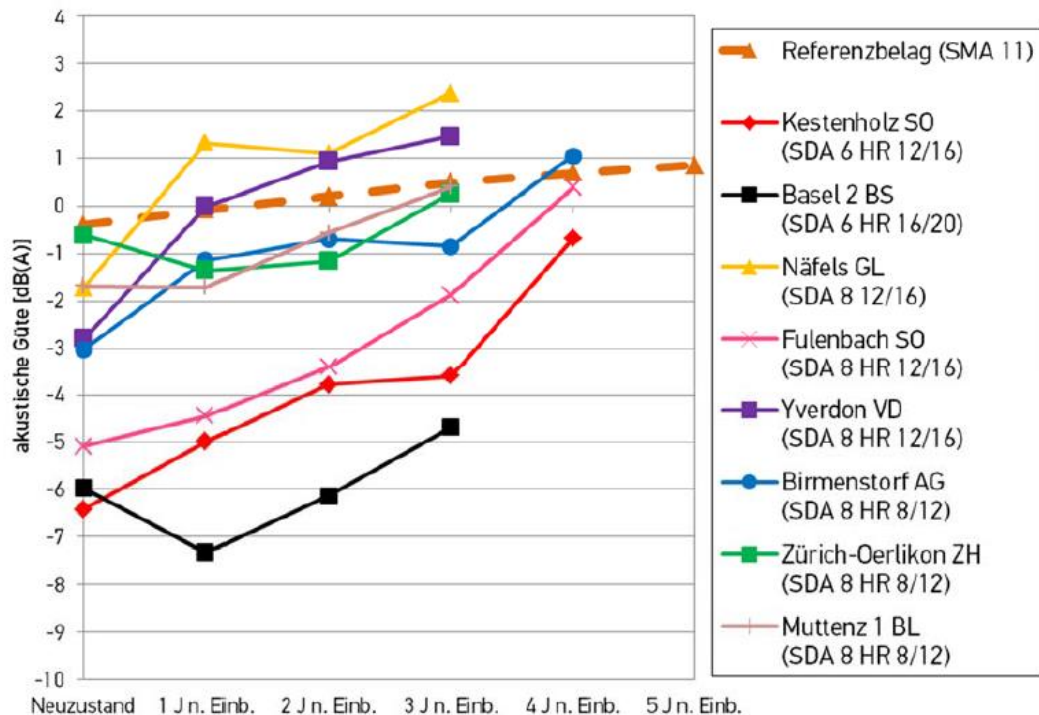


Abb.24 Veränderung der akustischen Güte seit Einbau (Streckenmittelwerte CPX PW) von SDA 6 und 8 im Vergleich zu einem konventionellen dichten Belag SMA 11 (orange).

Aufgrund der Gesamtsicht der akustischen und belagstechnischen Untersuchungen und der Informationen aus dem TP2, wurden die einzelnen Beläge bezüglich ihrer Aussagekraft von den Autoren des TP3 in „viel versprechende“, „nicht vielversprechende“ und „nicht aussagekräftige“ Beläge kategorisiert.

Für die verschiedenen Belagssorten werden die nachstehenden Trends festgestellt.

4er-SDA-Beläge im Vergleich zu 8er-SDA-Beläge

- Grössere initiale Lärminderung
- Bessere akustische Dauerhaftigkeit
- HR>20 weist die höchste initiale Lärminderung auf.
- Bis auf die nicht repräsentative Strecke in Visp (SDA 4 HR8/12) gelten alle Teststrecken nach 3 Jahren als lärmarm gemäss der SNR 640 425 [3].

8er-SDA-Beläge im Vergleich zu 4er-SDA-Beläge

- Geringere initiale Lärminderung
- Schlechtere akustische Dauerhaftigkeit

4.2.2 Schlussfolgerungen

Einleitung

Bei der Ableitung der Empfehlungen und Folgerungen blieben die als „nicht aussagekräftig“ beurteilten Beläge unberücksichtigt. Somit basieren die nachfolgenden Aussagen auf den verbleibenden 10 Teststrecken. Auf diesen Teststrecken wurden 6 unterschiedliche Belagstypen realisiert.

Damit ist eine Verallgemeinerung der im TP3-Projekt gewonnenen Erfahrungen angesichts der geringen Anzahl von Belägen gleichen Typs kaum möglich. Gewissen Tendenzen können dennoch abgeleitet werden.

Einschränkende Bemerkungen zur Vergleichbarkeit der Beläge

- Unterschiede bezüglich der Baustoffe, Abweichungen in der Rezeptur, der Herstellung, des Einbaus, der Umweltbedingungen während des Einbaus, Erfahrung der Mannschaft) können das Einbauergebnis beeinflussen.
- Abweichungen von den Sollwerten bezüglich Mischgutzusammensetzungen und/oder dem Einbau können zum Verlust der akustischen Wirkung führen.
- Die Verkehrsbelastung, insbesondere der Schwerverkehrsanteil und der Verkehrsfluss können zu unterschiedlichen akustischen Alterungsverhalten beitragen.
- Auch unterschiedliche klimatische Bedingungen sowie unterschiedliche Bedingungen bezüglich Schmutzeintrag (Nähe zu Baustellen, Landwirtschaftszonen etc.) beeinflussen die Veränderung der Beläge über Zeit.

Wichtigste Folgerungen

- Im Vergleich zu den Erfahrungswerten mit Standardbelägen lassen sich mit SDA Belägen sowohl im Neuzustand wie auch nach 4 Jahren wesentliche Lärmreduktionen erzielen (Ausnahme SDA8 mit niedrigen Hohlraumgehalt).
- Durch SDA 4 Beläge werden im Vergleich zu den SDA 8 Belägen der jeweiligen Hohlraumklasse um ca. 2 dB grössere Lärmreduktionen erreicht.
- Der Wirkungsunterschied zwischen den Hohlraumklassen des TP3 beträgt im Neuzustand jeweils ca. 1.5 dB (SDA 8 / SDA 4). Bei den SDA 4 Belägen ist dieser Wirkungsschied ebenfalls nach 4 Jahren ersichtlich.
- Bei allen untersuchten Belägen nimmt die lärmreduzierende Wirkung mit zunehmendem Alter ab. Allgemein kann festgehalten werden, dass die Wirkungsabnahme durch Verstopfung der Hohlräume allmählich geschieht, die Wirkungsabnahme durch Verschlechterung der Oberflächentextur hingegen abrupter.
- Der lärmreduzierende Effekt von Hohlräumen in semi-dichten Belägen bleibt auch bei zunehmender Verstopfung bestehen, so lange eine bestimmte Menge an oberflächlich zugänglichen Hohlräumen erhalten bleibt. Z.B werden in Muri nach 4 Jahren für den Mischverkehr noch immer Lärmreduktionen erreicht, die bei dem akustisch dichten Belag in Muttenz 2 nicht einmal im Neuzustand erreicht wurden.
- Die akustische Dauerhaftigkeit konnte im vorliegenden Forschungspaket im Vergleich zum letzten Forschungsprojekt deutlich verbessert werden. Dem Einsatz von semi-dichten Rezepturen ist im Innerortsbereich gegenüber porösen Rezepturen der Vorzug zu geben. Zur Erreichung eines möglichst dauerhaften lärmarmen Belages ist ein Kompromiss zwischen möglichst hoher bautechnischer Dauerhaftigkeit durch Minimierung des Hohlraumgehaltes bei gleichzeitiger Sicherstellung von Hohlraumverbindungen zur Beibehaltung der akustischen Wirkung anzustreben.

Empfehlungen für den Einsatz von SDA Belägen

Für die Auswahl des passenden lärmarmen Belages im Rahmen des Lärmvollzuges können unterschiedliche Auswahlkriterien im Vordergrund stehen. Grundsätzlich haben lärmarme Strassenbeläge immer mehrere Grundfunktionen zu erfüllen: neben möglichst lärmarmen Eigenschaften sind eine ausreichende Griffigkeit, der Schutz der darunterliegenden Schichten/Unterbaus, sowie ausreichende strukturelle Tragfähigkeit zu gewährleisten. Je nach Zielvorstellung fallen die Prioritäten für die Auswahl entsprechend anders aus:

- Wo grosse Lärmreduktionen erforderlich sind, kann SDA 4 Rezepturen den Vorzug gegeben werden.
- Wo hingegen höhere Anforderungen bezüglich der mechanischen Beanspruchung (z.B. durch grosse Mengen an Schwerverkehr, Schneeketten, Spikes oder Winterdienst) erforderlich sind, bilden SDA 8 Beläge eine gute Alternative.

4.3 Griffigkeitsmessungen

Griffigkeitsmessungen mit Pendeltest im Rahmen des TP3 ergaben zum Teil nicht ausreichende Griffigkeitswerte von der SN 640 511b [2]. Aus diesem Grund wurden auf Veranlassung der Projektleitungen ASTRA und BAFU und in Abstimmung mit der Begleitkommission in den Jahren 2014 [13] und 2015 [14] ergänzende Griffigkeitsmessungen mit dem Skiddometer durchgeführt.

Die qualitativen Ergebnisse der Griffigkeitsmessungen sind in Tab. 13 gegeben.

Tab. 13 Griffigkeitsmessungen mit Pendeltest und Skiddometer

Beläge	Pendeltest		Skiddometer	Skiddometer
	Jahr 0	Jahr 3	2014	2015
SDA4 HR8/12	-		+	+
	-	-	+	+
	+	+	+	+
SDA4 HR12/16		-	+	+
SDA4 HR16/20	-	-	-	-
		-	+	+
SDA4 HR>20	+	+	+	+
SDA6 HR12/16	-	+	+	+
SDA6 HR16/20	+		+	-
SDA8 HR8/12	-	-	+	+
	-	+	+	+
	-		+	+
SDA8 HR12/16	-	+	+	+
	-	-	+	+
	-	+	-	+

Eine abschliessende Bewertung der Ergebnisse ist kaum möglich, weil es keine allgemeingültigen Grundlageninformationen zu der Griffigkeit von Innerortsstrassen gibt. Demnach ist auch keine Aussage möglich, ob diese Ergebnisse sehr unterschiedlich zu konventionellen Belägen sind.

Folgende Entwicklungen sind festzustellen:

- Bei den meisten Strecken wurde eine Verbesserung der Griffigkeitswerte nach 3 Jahren beim Pendeltest beobachtet, wobei viele dennoch keine genügenden Werte erreichten.
- Bei der Mehrzahl der Strecken wurden durch die Skiddometermessungen genügende Griffigkeitswerte ermittelt.
- Bei 6 Strecken mit schlechtem Pendeltest konnten durch Skiddometermessungen genügende Griffigkeitswerte nachgewiesen werden.
- Nur ein Belag bleibt bei allen Griffigkeitsmessungen ungenügend.
- Nach den letzten Skiddometermessungen in 2015 verbleiben nur noch 2 Teststrecken mit ungenügenden Griffigkeitswerten.

5 Synthese

5.1 Allgemeine Hinweise

Zum Zeitpunkt der Redaktion des vorliegenden Syntheseberichtes ist es sinnvoll sich den ursprünglichen Kontext von 2008 für das Forschungspaket lärmarme Beläge innerorts wieder in Erinnerung zu rufen [11].

Die Rezepturen lärmarmen Beläge basierten damals im Wesentlichen auf empirischen Kenntnissen. Basierend auf den guten akustischen Eigenschaften poröser Asphaltbeläge (PA) wurde davon ausgegangen, dass durch die Erhöhung des Hohlraumgehaltes die akustischen Eigenschaften eines Belages wesentlich verbessert werden können und gleichzeitig musste die Verringerung der Lebensdauer möglichst klein gehalten werden: „Bei der Wahl der Mischgutsorte ist ein Kompromiss zwischen optimalen akustischen Eigenschaften (grosser Hohlraumgehalt) und der Gebrauchsdauer (kleiner Hohlraumgehalt) zu finden“.

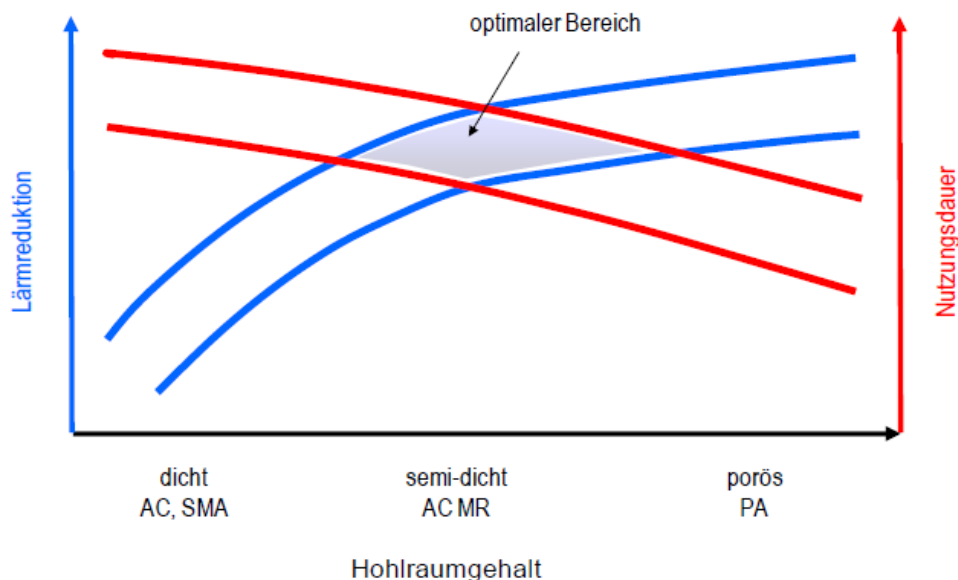


Abb.25 Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und akustischer Leistung bzw. Dauerhaftigkeit.

Andererseits war auch bekannt, dass die Oberflächentextur einen wesentlichen Beitrag zur Lärmreduktion beiträgt. Ebenfalls stellte man fest, dass die kurz nach Belagseinbau guten akustischen Eigenschaften sich relativ rasch verschlechterten. Das erste Forschungsprojekt „Lärmarme Beläge im Niedergeschwindigkeitsbereich“, bei welchem Testeinbauten auf Strassen mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h begleitet und überwacht wurden, führte diesen schnellen Verlust der akustischen Eigenschaften auf zwei Ursachen zurück: „Hauptursache hierfür sind Veränderungen der Oberflächenstruktur, vor allem bedingt durch mechanische und thermische Beanspruchungen, sowie Verschmutzungen“.

Die Verfasser des damaligen Schlussberichtes haben deshalb die folgenden Empfehlungen formuliert:

- Aufgrund der aktuellen Ergebnisse erweisen sich feinkörnige AC MR als viel versprechend, sowohl in akustischer als auch in bautechnischer Hinsicht. Empfohlen wird der Einbau von Dünnschichtbelägen AC MR 4 oder AC MR 8 mit erhöhtem Hohlraumgehalt auf einer stabilen Binderschicht. Damit bestehen gute Voraussetzungen für eine hohe Anfangslärminderung und für einen einfachen und kostengünstigen Ersatz der

Dünnschichtbeläge, sobald ihre akustische Leistung nicht mehr den Anforderungen entspricht.

- PA-Beläge stellen hohe Anforderungen an den Einbau, sind teurer als dicke/semidichte Beläge, reagieren empfindlich auf mechanische Beanspruchungen und bedürfen eines speziellen Unterhalts. In Einzelfällen können PA-Beläge in Betracht gezogen werden. Für die breite Anwendung im Innerortsbereich sind sie zurzeit jedoch nicht zu empfehlen

Diese Empfehlungen wurden noch durch wirtschaftliche Aspekte unterstützt: „Vergleichsrechnungen der vorgeschlagenen AC MR-Beläge mit konventionellen Belägen zeigen, dass deren Wirtschaftlichkeit in städtischen und halbstädtischen Gebieten praktisch immer gegeben ist. Mit der Anwendung dieser Beläge können die Gesamtkosten für die an den bestehenden Haupt- und übrigen Strassen noch verbleibenden Lärmsanierungen drastisch reduziert werden. Darüber hinaus generieren sie ein volkswirtschaftliches Nutzenpotential in Milliardenhöhe.“

Schlussendlich fehlten auch die technischen Normen für lärmarme Beläge, was für die öffentlichen Bauherren ein Nachteil war, wünschten diese doch die Eigenschaften und Anforderungen an derartige Produkte vertraglich festlegen zu können.

Die heutige Situation ist gegenüber der Ausgangslage um einiges besser. Der Einsatz lärmarmen Beläge als Lärmschutzmassnahme ist bei den Strasseneigentümern mittlerweile weit verbreitet. Um die grosse Nachfrage befriedigen zu können, haben die Unternehmer selber neue Produkte mit immer besseren akustischen Eigenschaften entwickelt. Der VSS seinerseits hat diese neuen Belagstypen als „semidichte“ Beläge (SDA) in seiner Normenreihe aufgenommen (SNR 640 436, publiziert 2013, revidiert 2015). Obwohl in dieser Regel für das Mischgut und die Deckschichten keine Angaben in Bezug auf die akustischen Eigenschaften definiert sind, gelten sie als lärmarme Beläge. Parallel zur Veröffentlichung der SNR 640 436, welche die Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften von semidichtem Mischgut beschreibt, wurde eine zweite Schweizer Regel, SNR 640 425 „Lärmindernde Decken, Grundlagen“, publiziert. Sie ist inhaltlich jedoch unscharf und schafft lediglich die Grundlagen für die Planung lärmindernden Decken.

Die Entwicklung der lärmarmen Beläge hat sich deshalb auch auf zwei Gleisen fortbewegt. Einerseits waren es die Unternehmer, welche sich in ihrem Eigeninteresse auf die akustische Performance konzentrierten, andererseits hat der VSS die notwendigen Schritte unternommen, um die mechanischen Anforderungen zu normieren, ohne wirklichen Bezug auf die akustischen Eigenschaften. Die Folge davon war, dass sich der Bauherr für einen der folgenden Ansätze bei der Ausarbeitung seines Pflichtenheftes für die Ausschreibung von Belagsarbeiten entscheiden musste:

- Performance orientierter Ansatz
Definition der Anforderung an die Lärmreduktion im Vergleich zum Standardbelag ohne Kontrolle über die Qualität des eingebauten Materials.
- Zusammensetzung (Rezept) orientierter Ansatz
Definition gemäss Norm, welche die geforderten mechanischen Eigenschaften gewährleistet, ohne dass die Anforderungen an die akustischen Eigenschaften festgelegt werden können.

Unabhängig vom gewählten Ansatz bleibt die Schwierigkeit für den Bauherren sowohl die mechanische als auch die akustische Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge garantieren zu können.

5.2 Fachliche Synthese

5.2.1 Einleitung

Zwei Ursachen, zwei Massnahmen

Das erste wichtigste Erkenntnis aus dem Forschungspaket ist die Bestätigung, dass die akustische Wirkung eines bituminösen Belages im Wesentlichen auf zwei Elementen beruht, der Oberflächentextur und der Hohlräume. Vereinfacht kann gesagt werden, dass die Oberflächentextur³ die Lärmemissionen, verursacht durch die Vibrationen, welche beim Kontakt zwischen Reifen und Fahrbahn entstehen, reduziert und die Hohlräume den Air-Pumping-Effekt verringern. Bei den Hohlräumen ist wichtig, dass sie untereinander verbunden sind⁴ und nicht bloss ein hoher Hohlraumgehalt vorhanden ist. Die Hohlräume sind nämlich akustisch nur wirksam, wenn die zusammengepresste Luft zwischen Reifen und Fahrbahn in den Belag entweichen kann, ohne dass der sogenannte „Pumping-Effekt“ entsteht.

Der Nachweis, dass die Hohlräume untereinander verbunden sind, kann nur sehr schwierig erbracht werden. Eine Möglichkeit besteht mittels Messung des Luftströmungswiderstandes. Dieser enthält, bei den im Rahmen des vorliegenden Forschungspaketes durchgeführten Messungen, grundsätzlich einen texturinduzierten und einen hohlrauminduzierten Anteil. Der texturinduzierte Strömungswiderstand ist ein Mass dafür, wie gut die im Reifen-Fahrbahn-Kontakt eingeschlossene Luft durch die Textur der Fahrbahnoberfläche entweichen kann. Der hohlrauminduzierte Strömungswiderstand hingegen ist ein Mass für den Widerstand, welcher sich dem Entspannen der Luft in den Hohlräumen der Deckschicht entgegensetzt. Niedrige hohlrauminduzierte Strömungswiderstände sind akustisch vorteilhaft, wogegen niedrige texturinduzierte Strömungswiderstände zu höheren Rollgeräuschpegeln führen. Die beiden Strömungswiderstände können mit dem hier verwendeten Messverfahren nicht getrennt erfasst werden.

5.2.2 Labor

Labortechnische Bestimmung der akustischen Dauerhaftigkeit

Mit dem umgesetzten Forschungsprojekt EP2 konnten leider die Ziele nur ungenügend erreicht werden. Mit der Prüfmaschine Impact III konnte zwar die Oberfläche einer Belagsprobe so abgenützt werden, dass man daraus eine Reduktion der akustischen Eigenschaften hätte herleiten können. Die Veränderungen der Oberflächeneigenschaften waren jedoch zu klein, um einen konkreten, messbaren Einfluss bezüglich Akustik hätte gemessen werden können. Zudem benötigte man eine sehr hohe Anzahl an Überrollungen, was zu einer langen Prüfungsdauer führt und deshalb noch nicht Praxis tauglich ist.

Auch im Rahmen des EP1 stellte die Bestimmung der akustischen Eigenschaft im Labor eine unüberwindbare Hürde dar. Zwar wurde mit der Absorptionsmethode eine einfach durchzuführende Laborprüfung gefunden, diese hat sich aber als zu ungenau erwiesen, um die akustischen Eigenschaften der untersuchten Belagsrezepturen unterscheiden zu können. Die Optimierung der Rezepturen stützte sich deshalb vorwiegend auf die mechanischen Eigenschaften.

Bezeichnung der Belagstypen und Bestimmung des Hohlraumgehaltes

Die Schweizer Regel SNR 640 436 unterscheidet die semidichten Deckschichten anhand des Hohlraumgehaltes. Die Erfahrungen aus dem TP2 haben jedoch gezeigt, dass das bestellte Mischgut bezüglich Hohlraumgehalt nicht immer mit dem fertig eingebauten Produkt übereinstimmt (z.B. Bestellung Klasse C, eingebauter Belag entsprach aber der Klasse D oder umgekehrt). Aus materialtechnischer Sicht spielt dies keine Rolle, sofern

³ Die Oberflächentextur spielt auch eine Rolle beim Air-Pumping-Effekt, siehe Gestaltfaktor EP2 p.52

⁴ Ein hoher Hohlraumgehalt ist tendenziell akustisch wirksamer, da eine grössere Wahrscheinlichkeit besteht, dass die Hohlräume untereinander kommunizieren können.

die Grenzwerte für die entsprechende Klasse der semidichten Deckschichten die Werte gemäss Norm nicht überschreiten. Aus akustischer Sicht hingegen ist hingegen zu vermuten, dass die akustischen Eigenschaften umso besser sind, je grösser der Hohlraumgehalt ist. Aufgrund dieser Überlegung ist es schlussendlich legitim den Nutzen einer Klassierung für SDA zu hinterfragen. Falls diese wirklich notwendig ist, so müssten die heute definierten Grenzbereiche für den Hohlraumgehalt der verschiedenen Klassen von SDA überprüft und folgende Fragen beantwortet werden:

- Sind die Bereiche mit einer Abstufung von 4% sinnvoll?
- Können/dürfen sich die Bereiche überschneiden?
- Müssen die Bereiche für die beiden Sorten (SDA 4, SDA 8) zwingend gleich definiert werden?

Zu guter Letzt ist darauf zu achten, dass der Hohlraumgehalt von SDA korrekt gemessen wird. Die Empfehlung aus den Schlussfolgerungen des EP1 ist, dass der Hohlraumgehalt durch Ausmessen festgestellt wird (Verfahren D gemäss Ziffer 12 der Schweizer Regel SNR 640 436 [5]).

5.2.3 Einbau

Bestimmung der akustischen Performance vor dem Einbau : Probeeinbau

Die Oberflächentextur und die kommunizierenden Hohlräume sind wichtige Parameter für die akustischen Eigenschaften eines Belages. Beide haben jedoch gemeinsam, dass sie schwierig zu bestimmen sind und die Messung auch erst möglich ist, nachdem der Belag bereits eingebaut ist:

- Messung der Oberflächentextur (anhand der Textur können weitere Werte abgeleitet werden).
- Messungen des Luftströmungswiderstandes zur Beurteilung der kommunizierenden Hohlräume, unter Berücksichtigung, dass die gemessenen Werte ebenfalls von der Oberflächentextur abhängen.

Im Rahmen des EP2 und EP4 konnte zwar nachgewiesen werden, dass diese Parameter (Oberflächentextur, kommunizierende Hohlräume) an im Labor hergestellten Probekörpern gemessen werden können. Der Beweis, dass diese aber für eine eingebaute Deckschicht repräsentativ sind, konnte nicht erbracht werden. Mit dem heutigen Wissensstand wird deshalb empfohlen Probeeinbauten durchzuführen, bei welchen diese Parameter gemessen werden können, um die Erreichung der akustischen Eigenschaften beeinflussen zu können (siehe auch Schlussfolgerungen zum Belagseinbau).

Bedingungen für den Belagseinbau

Eines der Hauptprobleme ist die Schwierigkeit, die Bedingungen für den Belagseinbau zu definieren (z.B. für die Verdichtung), welche die gesuchten Eigenschaften bezüglich Hohlräume und Oberflächentextur positiv beeinflussen. Einerseits ist zwingend zu empfehlen, dass Mischgutrezepte verwendet werden, die sich bewährt haben. Andererseits ist es schwierig den Walzprozess so festzulegen, dass eine gute Kommunikation der Hohlräume und eine optimale Oberflächentextur entsteht. Wie eingangs bereits erwähnt, kann diese Frage nur mit Hilfe eines Probeeinbaus beantwortet werden, insbesondere wenn dem Unternehmer die entsprechende Erfahrung mit SDA Deckschichten fehlt.

Klare Verbesserung des Wissens

Im Vergleich zu den im Rahmen des TP2 angetroffenen Schwierigkeiten für die Erreichung der gewünschten Eigenschaften eines Mischgutes konnte im Rahmen des EP10 aufgezeigt werden, dass heute ein wesentlich besserer Wissensstand bezüglich der Mischgutgruppe SDA als noch vor einigen Jahren besteht. Die gemessenen mechanischen Eigenschaften von 12 SDA, welche im Rahmen des EP10 durch verschiedene Unternehmer geliefert und eingebaut wurden, haben gezeigt, dass die Ergebnisse den Anforderungen des Bauherrn und grösstenteils auch den Werten der Schweizer Regel SNR 640 436 entsprechen.

Dies ist eines der wichtigsten Ergebnisse, das erreicht werden konnte. Zeigt es doch, dass die heutigen Unternehmer und Belagswerke in der Lage sind, anhand der Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften, ein semidichtes Mischgut herzustellen und einzubauen. Offen bleibt, ob die kurz nach Einbau gemessenen akustischen Eigenschaften auch langfristig erhalten bleiben (siehe auch Schlussfolgerungen zum Wissen und Wissensaustausch).

Ausschreibung

Wie in früheren Kapiteln bereits erwähnt, können die Bauherren die Arbeiten für den Einbau lärmarmen Beläge auf zwei unterschiedliche Arten ausschreiben:

- Performance orientiert
- Zusammensetzung (Rezept) orientiert

Für das TP2 wurde der zweite Ansatz gewählt. Die Ausschreibungsunterlagen für die Teststrecken wurden entsprechend definiert. Sie können als Grundlage für Bauherren wieder verwendet werden, welche ebenfalls diesen Ansatz verfolgen wollen.

Planung

Die Wahl eines akustisch wirksamen Mischgutes ist eine geeignete Massnahme zur Bekämpfung des Strassenlärms. Die Konzentration auf die Zusammensetzung und den Einbau des Mischgutes darf jedoch nicht dazu führen, dass wie im Beispiel der Teststrecke in Lugano, andere Aspekte vergessen werden, die dazu führen, dass die Lärminderung des Belages durch andere Geräuschquellen aufgehoben wird (z.B. Schachtdeckel, Fugen oder ungeeignete Markierung).

5.2.4 Wissen und Wissensaustausch

Kurz- und langfristige Performance

Hervorragende akustische Eigenschaften einer neu eingebauten Deckschicht sind leider kein Garant dafür, dass diese auch langfristig vorhanden sein werden. Das TP3 hat gezeigt, dass die Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften nicht vorausgesagt werden kann und dass diese in den ersten Jahren spürbar abnehmen. Mit dem heutigen Wissensstand ist es relativ einfach sehr hohe Lärmreduktionen gegenüber dem Referenzbelag unmittelbar nach dem Einbau zu erreichen (vgl. auch die Ergebnisse aus dem EP10). Diese hohen Ausgangswerte sind jedoch keine Garantie für die längerfristige Wirkung bezüglich Lärmreduktion. Die Messung der akustischen Eigenschaften kurz nach dem Einbau ist deshalb ungeeignet für die Bestimmung der Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften eines Belages.

Die Dauerhaftigkeit hängt insbesondere davon ab, wie sich die Oberflächentextur und die Kommunikation der Hohlräume entwickelt beziehungsweise wie diese anfänglich guten Eigenschaften beibehalten werden können. Die Dauerhaftigkeit der für die Akustik relevanten Eigenschaften ist mit den mechanischen Eigenschaften verknüpft. Um eine guten Oberflächentextur zu gewährleisten braucht es in erster Linie eine hochwertige Gesteinskörnung und ein qualitativ gutes Bindemittel (siehe Empfehlungen EP1). Bei der Herstellung muss darauf geachtet werden, dass der Anteil Filler-Bindemittel nicht zu klein ist. Das EP1 hat dazu eine Empfehlung zum Wertebereich des „Module de richesse“ und des minimalen Bindemittelgehaltes formuliert.

Die Entwicklung der akustischen Performance hängt auch davon ab, ob und wie sich die Hohlräume verstopfen. Die im EP8 untersuchten Reinigungsmethoden ermöglichten leider keine akustisch signifikante Verbesserung eines verschmutzten Deckbelages nach dessen Reinigung.

Potential SPERoN-Modell

Die Simulation der Abnutzung eines Belages im Labor bleibt weiterhin problematisch beziehungsweise ungelöst wie das EP2 gezeigt hat. Im EP4 hingegen konnte nachgewie-

sen werden, dass das Rechenmodell SPERoN⁵ auch auf im Labor hergestellten Prüfkörpern angewendet werden kann. Die Schwierigkeit einer Abschätzung der Veränderung des akustischen Verhaltens eines Belages ist darauf zurück zu führen, dass die entsprechenden Belagsproben im Labor mechanisch zu wenig beansprucht werden konnten.

Mit SPERoN können separate Spektren berechnet werden, anhand deren der Einfluss der Hohlräume und der Oberflächentextur auf die akustische Performance unterschieden werden kann. Das bedeutet, dass im Falle einer Abnahme der Lärmreduktion diese auf ihre Ursache zurückgeführt werden kann (Abnutzung der Oberfläche oder Verstopfung der Hohlräume).

Kommunikation zwischen Akustiker und Belagsspezialist

Das Forschungspaket hat eindrücklich aufgezeigt, wie wichtig das gegenseitige Verständnis zwischen Akustiker und Belagstechniker ist, um die Zusammenhänge der akustischen Eigenschaften mit den mechanischen Eigenschaften von Deckschichten zu verstehen. Je besser dieser Austausch ist, je besser die Kenntnisse über die jeweiligen Messmethoden und Interpretation der Ergebnisse der beiden Disziplinen ist, desto fruchtbarer ist die Zusammenarbeit und entsprechend das Endprodukt, ein dauerhafter lärmarmere Belag. Das Wissen, wie die Hohlräume und die Oberflächentextur die akustischen Eigenschaften beeinflussen, ist wesentlich und kann durch den Dialog zwischen den beiden Spezialisten gefördert werden. Das Forschungspaket zeigte, dass dieser Austausch nicht nur quantitativ sondern auch qualitativ sein muss.

5.2.5 Empfehlungen für weitergehende Forschungen

Wie ist der relative Einfluss der Oberflächentextur und der Hohlräume auf die akustische Performance und wie ist der Zusammenhang zwischen diesen beiden (5.2.1)?

Wie kann die Dauerhaftigkeit der Oberflächentextur und der Hohlräume garantiert werden (5.2.1, 5.2.2, 5.2.3)?

Welche Parameter der Oberflächentextur sind akustisch wirksam und welche Wertebereiche können dafür definiert werden (5.2.2)?

Welche Parameter der Hohlräume sind akustisch wirksam und welche Wertebereiche können dafür definiert werden (5.2.2)?

Wie können die Oberflächentextur und die Hohlräume (insbesondere deren Kommunikation untereinander) im Labor bestimmt werden (5.2.2)?

Wie kann die Dauerhaftigkeit der Oberflächentextur und Hohlräume (insbesondere deren Kommunikation untereinander) im Labor bestimmt werden (5.2.2, 5.2.4)?

Wie ist der Einfluss der Verdichtung auf die Oberflächenstruktur und die kommunizierenden Hohlräume (5.2.3)?

Wie ist der Einfluss der Verschmutzung auf die kommunizierenden Hohlräume (5.2.4)?

Können Unterhaltsmethoden für SDA entwickelt werden, mit denen die ursprünglichen akustischen Eigenschaften wieder hergestellt werden können (5.2.4)?

Fortsetzung des Monitoring der Teststrecken aus dem TP2 und EP10 (5.2.4)?

⁵ SPERoN ermöglicht die Bestimmung der akustischen Eigenschaften eines Belages anhand der Oberfläche (Textur, Schallabsorptionsgrad, Luftströmungswiderstand).

5.3 Empfehlungen für die Normierung

Festlegen der Bedingungen für die akustischen Messungen, insbesondere für die CPX-Messungen.

Grundlagennorm für die Messungen und akustischen Eigenschaften von Deckschichten.

Überprüfen des Aussagewertes der Michgutklassen von SDA in der SNR 640436.

Empfehlungen zur Förderung der kommunizierenden Hohlräume von SDA in der SNR 640436 ergänzen.

Revision der akustischen Eigenschaften von Deckschichten in der SNR 640425.

Anhänge

I	TP1 Ergänzende Untersuchungen EP7.....	73
II	TP2 Dokumentation der Teststrecken	77
II.1	Goldach (SG)	77
II.2	Visp / VS, Kantonsstrasse	79
II.3	Näfels / GL, Unterdorf	82
II.4	Lugano / TI, via Ciani	84
II.5	Muri / BE, Thunstrasse	87
II.6	Birmenstorf / AG, Bruggerstrasse	90
II.7	Muttenz / BL, Birsfelderstrasse, Teil 2	92
II.8	Muttenz / BL, Birsfelderstrasse, Teil 1	94
II.9	Yverdon-Les-Bains / VD, PS Pomy	96
II.10	Basel-Stadt / BS, Riehenstrasse	98
II.11	Basel-Stadt / BS, Morgartenring	100
II.12	Fulenbach / SO, Dorfstrasse	101
II.13	Kestenholz / SO, Gäustrasse	103
II.14	Prilly / VD, Vallombreuse	105
II.15	Zürich-Oerlikon / ZH	107

I TP1 Ergänzende Untersuchungen EP7

SDA 4 CH

nach SNR 640 436



Strassentyp

Einsatzbereich: innerorts
 Signalisation: 50 km/h
 Verbreitungsgrad: 68 Strecken

Hintergrund

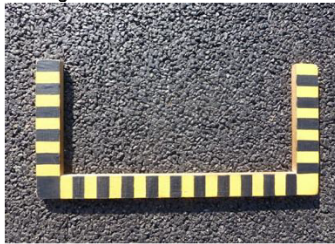
SDA 4 Beläge sind semidichte Deckschichten, die in der Schweiz seit ca. 2010 im Innerortsbereich eingebaut werden. SDA 4 Beläge reduzieren die Lärmemissionen stark und werden deshalb in Gebieten mit hohen Lärmbealstungen als Massnahme eingesetzt. Das Mischgut weist einen Hohlraumgehalt auf, der zwischen denjenigen vom Asphaltbeton AC und offenporigem Asphalt PA liegt.

Spezifikationen

Die Mischgutgruppe SDA 4 umfasst semidichtes Mischgut, welches einen charakteristischen Hohlraumgehalt am Marshall-Prüfkörper zwischen 10 und 22 Volumen-% aufweist.

Korngrösse: 4 mm
 Hohlraumgehalt: 10 bis 22%
 Schichtdicke: 20 bis 35 mm

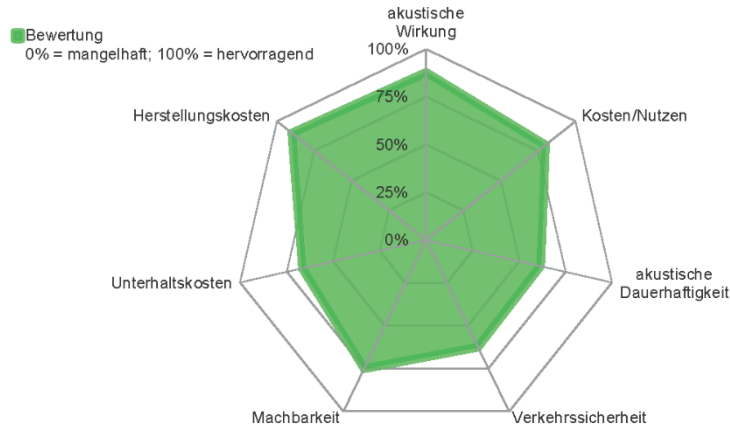
Darstellung



Kurzbeschreibung

Herstellung	Rezeptur in Norm SNR 640 436 festgelegt, Anwendung durch beliebige Firmen möglich. Es sind nur Polymerbitumen zu verwenden: die Sorte PmB (CH-E) wird empfohlen. Ebenfalls wird empfohlen, einen erhöhten Widerstand gegen Polieren anzustreben (PSV52). Auch industriell hergestellte Körnungen können verwendet werden. Die Zugabe von Ausbauasphalt ist nicht zulässig. Sonstige Zusätze sind erlaubt, soweit deren Eignung nachgewiesen ist.
Einbau	Keine längere Einbauzeit als bei Standardbelägen. Kein spezielles Equipment notwendig. Walzasphalt SDA 4 darf nur eingebaut werden, wenn die Witterungsverhältnisse (Wind, Temperatur, Niederschläge) die vorschriftsgemässe Verdichtung und einen vollständigen Schichtenverbund ermöglichen. Bei Temperaturen der Unterlage unter +15 °C und bei Niederschlägen darf nicht eingebaut werden. Mischgutlieferung und Mischguttransport sind so zu organisieren, dass ein kontinuierlicher Einbau des Mischguts gewährleistet ist. Das Mischgut ist während des Transports durch besondere Massnahmen gegen Wärmeverluste und Bindemitteloxidation zu schützen: die Verwendung von Thermomulden wird empfohlen. Eine Ebene Unterlage ist bei SDA 4 Belägen besonders wichtig. Um den einwandfreien Verbund der bitumenhaltigen Schichten zu gewährleisten, ist die Unterlage mit einem Haftvermittler anzusprühen. Der Haftvermittler muss abgebunden haben, bevor die Deckschicht eingebaut wird. Auf den mit einem Haftvermittler versehenen Flächen ist jeder Verkehr, ausgenommen Mischguttransporte, untersagt.
Unterhalt	Besondere Sorgfalt bei der Ausführung von Flicker, Schachtdeckeln, Markierungen etc., da beim Überrollen Störgeräusche entstehen können die durch die leisen Eigenschaften der Deckschicht schneller wahrnehmbar werden. Ebenfalls ist beim Winterunterhalt Sorgfalt wichtig. Sonst sind keine speziellen Unterhaltsarbeiten notwendig.

Bewertung



Details Bewertung

Herstellungskosten: 149 CHF/t (Herstellerangaben)

akustische Wirkung (StL-86+): -6.5 dB

Kosten/Nutzen: 2.0 CHF/dB

akustische Dauerhaftigkeit: 10 Jahre

Verkehrssicherheit: Griffigkeit: besser als konv. Belag
Sicht: gleich wie konv. Belag

Machbarkeit: Spez. Materialien, Spez. Knowhow

Unterhaltskosten: Flick/Leitung, Winterdienst

Skala

0% = 2 x konv. Belag; 100% = 1 x konv. Belag
0% = 2 dB; 100% = -8 dB

0% = 10 CHF m²/dB; 100% = 0 CHF m²/dB
0% = 2 Jahre; 100% = 15 Jahre

Punkte -1 bis +1 (0.5*Griffigkeit + 0.5*Sicht konventioneller Belag (SMA, AC))

Punkte +1 bis 0 (0.166*Spez. Materialien + konventioneller Belag (SMA, AC) + 0.166*Spez. Aufbereitungsanlage + 0.166*Spez. Einbauequipment + 0.166*Spez. Witterungsbedingungen + 0.166*Spez. Einbauzeit + 0.166*Spez. Knowhow)

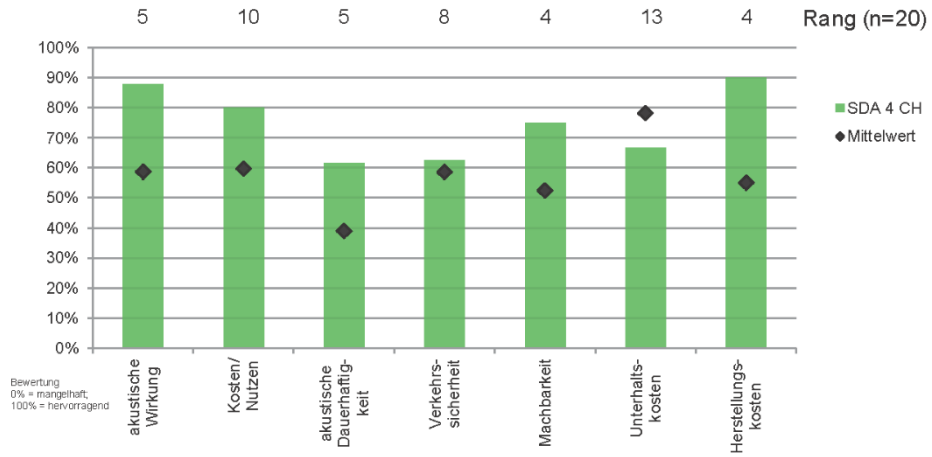
Punkte +1 bis 0 (0.33*Winterunterhalt + 0.33*Flick/Leitung + 0.33*Reinigung)

Referenz

Bel. konventioneller Belag (landesspezifisch, Asphalt vergl. mit konv. Asphalt und Beton mit konv. Beton)
Reduktion gegenüber StL-86+

geschätzte akustische Lebensdauer (bis Wirkung zu StL-86+ verloren geht) z.T. Abschätzung G+P

konventioneller Belag (SMA, AC)



SDA 8 CH

nach SNR 640 436



Strassentyp

Einsatzbereich: alle Strassentypen
 Signalisation: 50 bis 120 km/h
 Verbreitungsgrad: 56 Strecken

Hintergrund

SDA 8 Beläge sind semidichte Deckschichten, die in der Schweiz seit ca. 2004 vereinzelt, aber seit ca. 2010 häufiger im Innerortsbereich sowie auch im Ausserortsbereich und auf Autobahnen eingebaut werden. SDA 8 Beläge reduzieren die Lärmemissionen wesentlich und werden deshalb als Lärmschutzmassnahme eingesetzt. Das Mischgut weist einen Hohlraumgehalt auf, der zwischen denjenigen vom Asphaltbeton AC und offenporigem Asphalt PA liegt.

Spezifikationen

Die Mischgutgruppe SDA 8 (mit Hohlraumunterklassen -12 bis -16) umfasst semidichtes Mischgut, welches einen charakteristischen Hohlraumgehalt am Marshall-Prüfkörper zwischen 10 und 18 Volumen-% aufweist.

Korngrösse: 8 mm
 Hohlraumgehalt 10 bis 18%
 Schichtdicke: 25 bis 40 mm

Darstellung



Kurzbeschreibung

Herstellung

Rezeptur in Norm SNR 640 436 festgelegt, Anwendung durch beliebige Firmen möglich. Es sind nur Polymerbitumen zu verwenden: die Sorte PmB (CH-E) wird empfohlen. Ebenfalls wird empfohlen, einen erhöhten Widerstand gegen Polieren anzustreben (PSV52). Auch industriell hergestellte Körnungen können verwendet werden. Die Zugabe von Ausbaasphalt ist nicht zulässig. Sonstige Zusätze sind erlaubt, soweit deren Eignung nachgewiesen ist.

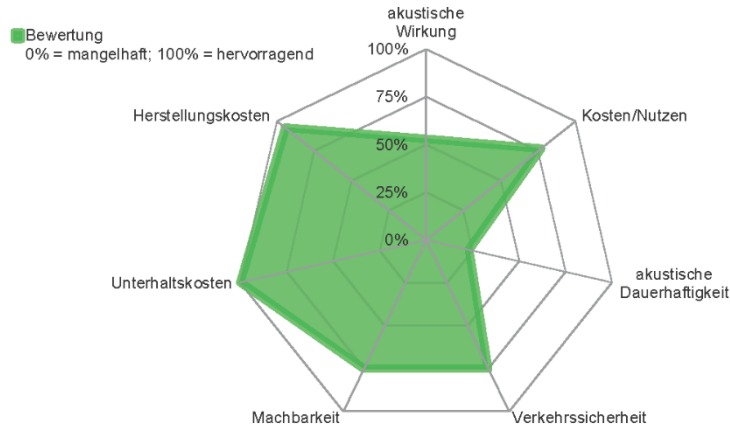
Einbau

Keine längere Einbauzeit als bei Standardbelägen. Kein spezielles Equipment notwendig. Walzasphalt SDA 8 darf nur eingebaut werden, wenn die Witterungsverhältnisse (Wind, Temperatur, Niederschläge) die vorschriftsgemässe Verdichtung und einen vollständigen Schichtenverbund ermöglichen. Bei Temperaturen der Unterlage unter +15 °C und bei Niederschlägen darf nicht eingebaut werden. Mischgutlieferung und Mischguttransport sind so zu organisieren, dass ein kontinuierlicher Einbau des Mischguts gewährleistet ist. Das Mischgut ist während des Transports durch besondere Massnahmen gegen Wärmeverluste und Bindemitteloxidation zu schützen: die Verwendung von Thermomulden wird empfohlen. Um den einwandfreien Verbund der bitumenhaltigen Schichten zu gewährleisten, ist die Unterlage mit einem Haftvermittler anzuspühren. Der Haftvermittler muss abgebunden haben, bevor die Deckschicht eingebaut wird. Auf den mit einem Haftvermittler versehenen Flächen ist jeder Verkehr, ausgenommen Mischguttransporte, untersagt.

Unterhalt

Keine speziellen Unterhaltsarbeiten notwendig.

Bewertung



Details Bewertung

Herstellungskosten: 143 CHF/t (Herstellerangaben)

akustische Wirkung (StL-86+): -3.3 dB

Kosten/Nutzen: 2.3 CHF/dB

akustische Dauerhaftigkeit: 5 Jahre

Verkehrssicherheit: Griffigkeit: besser als konv. Belag
Sicht: besser wie konv. Belag

Machbarkeit: Spez. Materialien, Spez. Knowhow

Unterhaltskosten: Keine speziellen Unterhaltsarbeiten notwendig.

Skala

0% = 2 x konv. Belag; 100% = 1 x konv. Belag

0% = 2 dB; 100% = -8 dB

0% = 10 CHF m²/dB; 100% = 0 CHF m²/dB Zusatzkosten CHF/dB

0% = 2 Jahre; 100% = 15 Jahre

Punkte -1 bis +1 (0.5*Griffigkeit + 0.5*Sicht konventioneller Belag (SMA, AC))

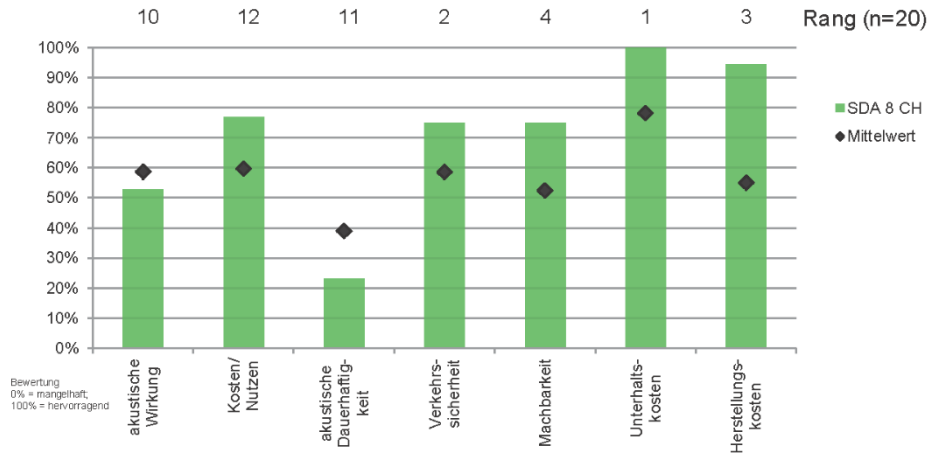
Punkte +1 bis 0 (0.166*Spez. Materialien + konventioneller Belag (SMA, AC) + 0.166*Spez. Aufbereitungsanlage + 0.166*Spez. Einbauequipment + 0.166*Spez. Witterungsbedingungen + 0.166*Spez. Einbauzeit + 0.166*Spez. Knowhow)

Punkte +1 bis 0 (0.33*Winterunterhalt + konventioneller Belag (SMA, AC) + 0.33*Flick/Leitung + 0.33*Reinigung)

Referenz

Belag konventioneller Belag (landesspezifisch, Asphalt vergl. mit konv. Asphalt und Beton mit konv. Beton)
Reduktion gegenüber StL-86+

geschätzte akustische Lebensdauer (bis Wirkung zu StL-86+ verloren geht) z.T. Abschätzung G+P



II TP2 Dokumentation der Teststrecken

II.1 Goldach (SG)

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton St. Gallen, Strasseninspektorat St. Gallen, Lämmlibrunnestrasse 54, 9001 St. Gallen
Kontaktperson	Andreas Kästli, Leiter Immissionen & Qualität, Tel.: 071 / 229 30 52, e-Mail: andreas.kästli@sg.ch
Ortsbezeichnung	9403 Goldach, St. Gallerstrasse
Koordinaten	752.800 / 260.560
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	5'170 m ²
Länge	465 m
DTV	12'500 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	8.30 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	Max. 2%
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	06.2010
Probereinbau	30.06.2010
Einbau	08.07.2010
1. akustische Belagsgütemessung	10.2010
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 4 C (AC 4 Lärmarm MOAG)
Binderschicht	Unbekannt, bestehend
Tragschicht	Unbekannt, bestehend
Foundationsschicht	Unbekannt, bestehend



Auszug aus der LK 1:25'000



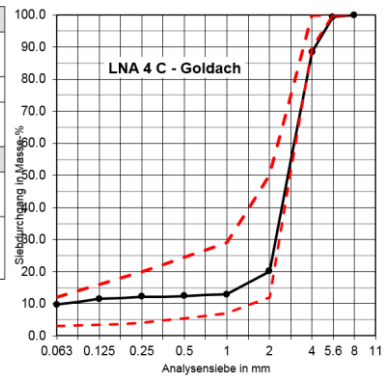
Probereinbau auf Mischgutaufbereitungsanlage MOAG in Mörschwil



Einbau auf der gesamten Breite

Probereinbau	
Datum und Zeit	30.6.2010, ca. 17 – 19 Uhr
Ort	Meggenhus / SG, MOAG Areal
Fläche, Länge	ca. 360 m ² , 86 m
Unternehmung	Morant AG,
Wetter	Sonnig, 31°C
Haftvermittler	Lackbitumen Slomex, kurz vor Einbau gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	08.07.2010, ca. 10 – 16 Uhr
Unternehmung	Morant AG,
Wetter	Sonnig, 24 - 28°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion Elastomuls 60%, 400 g/m ² , am Vorabend gespritzt, ca. 12 Std Trocknungszeit
Etap pierung	Einbau auf der gesamten Fläche in einem tag, mit Vollsperrung der Strasse

Mischgut LNA 4 C - Goldach		Bindemittelsorte: PmB 45/80-65 (CH-E)							
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte					
Hohlraumgehalt	16%	14%...18%	17.6%	17.5 %; 17.8%					
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%	6.02%	6.07%; 5.97%					
Siebkurve Mischgut LNA 4 C - Goldach									
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8
Siebdurchgang in Masse %	9.8	11.5	12.0	12.3	12.9	20.5	88.7	99.4	100



Eingebaute Schicht – LNA 4 C - Goldach			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [%]	Verdichtungsgrad [%]
1	28	17.9	99.6
2	25	19.2	98.1
3	17	20.0	97.1
4	21	16.9	100.9
5	15	17.7	99.9
6	24	17.7	99.9
7	14	19.4	97.8
8	19	19.3	98.0
Mittelwerte	20	18.5	98.9
Mittelwert aus Mischgutverbrauch	24.2		
Sollwert; Vorgegebener Bereich	25	14...22	≥ 97
Höchstwerte	28	20.0	100.9
Tiefstwerte	14	16.9	97.1
Vorgegebener Bereich		14...24	≥ 96

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 15.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als gut bezeichnet werden. Es sind Querrisse abwechslungsweise auf der linken oder rechten Fahrspur beobachtet werden. Eine Häufung dieser Risse ist vor dem Garage/Tankstelle auf der linken Fahrspur beobachtet worden.

Zudem wurde rings um wenige Schächte ein Riss beobachtet.

Es ist festzuhalten, dass diese Teststrecke lediglich den Ersatz der Deckschicht vorsah. Die unterliegenden Schichten wurden nicht erneuert. Allfällige Risse, die in diesen Schichten vorhanden waren, zeichnen sich auch in der erneuerten Deckschicht wieder.



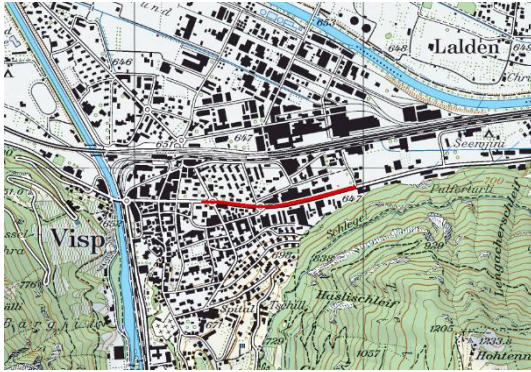
Teststrecke Goldach / SG, Zustand am 15.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 21.06.2010 zwischen TP2 und Kanton St. Gallen
2. Einbauprotokoll TPL2 – Probeeinbau vom 30.6.2010
3. Laborprüfberichte Prüflabor Juli 2010 – Probeeinbau MOAG Areal
4. Einbauprotokoll TPL2 – Haupteinbau vom 8.7.2010
5. Laborprüfberichte Prüflabor vom Juli 2010 – Haupteinbau Kantonsstrasse Goldach
6. Fotodokumentation

II.2 Visp / VS, Kantonsstrasse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt Dienststelle für Strassen und Flussbau Kantonsstrasse 275, 3092 Brig-Glis
Kontaktperson	Derk-Jan Ottenkamp, Projektleiter Tel.: 027 922 97 54, e-Mail: derk.ottenkamp@admin.vs.ch
Ortsbezeichnung	3930 Visp, Kantonsstrasse
Koordinaten	634.670 / 126.840
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	6'794 m ²
Länge	595 m
DTV	18'000 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probeeinbau	29.04.2011
Einbau	10.05.2011 Etappenweise bis 12.07.2011
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2011
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 4 B, 30 mm
Binderschicht	
Tragschicht	
Foundationsschicht	Ungebundenes Gemisch



Visp / VS, Kantonsstrasse, Auszug aus der LK 1:25'000



Probereinbau Eyholz, Cherstrasse

Probereinbau	
Datum und Zeit	29.04.2011, ca. 7 – 9 Uhr
Ort	<u>Eyholz, Cherstrasse</u>
Fläche, Länge	ca. 150 m ² , 50 m
Unternehmung	P. Schmid AG, Visp
Wetter	Sonnig, 10°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion <u>PmB</u> 60%, 350 g/m ² w, sofort vor Einbau gespritzt

Haupteinbau	
Datum und Zeit	10.05.2011, 08-11-12.07.2011, ca. 10 – 16 Uhr
Unternehmung	P. Schmid AG, Visp
Wetter	Sonnig, 17-26°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion <u>PmB</u> 60%, 350 g/m ² ,
Etappierting	Einbau in verschiedenen Etappen, eine auf der gesamten Breite (<u>Terbiner-Kreisel</u> bis <u>Bristol-Kreisel</u>) mit Vollsperrung, die weiteren Etappen auf halber Fahrbahn.

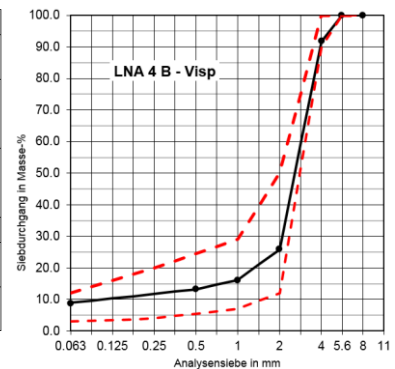


Einbau 1. Etappe auf der gesamten Breite



Einbau Etappe auf halber Fahrbahnbreite

Mischgut LNA 4 B		Bindemittelsorte: <u>PmB</u> 45/80-65 (CH-E)					
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte			
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%	12.6%	11.9%	13.2%		
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%	6.35%	6.51%	6.21%		
				6.32%			
Siebkurve LNA 4 B - Visp							
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8
Siebdurchgang in Masse %	10.0	15.5	19.0	28.6	93.3	99.8	100



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	21	11.3	100.8
2	33	12.0	100.0
3	29	12.2	99.7
4	34	11.9	100.1
5	40	11.6	100.4
6	20	11.2	100.9
Mittelwerte	29.5	11.7	100.3
Sollwert; Vorgegebener Bereich	30	10...18	≥ 97
Höchstwerte	40	12.2	100.9
Tiefstwerte	20	11.2	99.7
Vorgegebener Bereich		10...20	≥ 96

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 21.10.2015.

Diese Begehung hatte eine besondere Bedeutung, da die Rollgeräuschmessungen, nach einer ersten vielversprechenden Messung, in den folgenden Jahren keine Lärminderung mehr festgestellt werden konnte.



Der Zustand des Belages kann als gut bis sehr gut bezeichnet werden.

Es sind nur vereinzelte Risse von geringem Ausmass festgestellt worden (intermittierenden Längsriss auf einer Länge von ca. 2 Mal 10 m).

Im Abschnitt zwischen den beiden Kreisel „Terbinen“ und „Bristol“ wurde auf der Fahrspur Richtung Brig ein Schachtdeckel, gefolgt von kleineren Schachtdeckel der Wasserversorgung, mit hörbarem Lärm festgestellt.

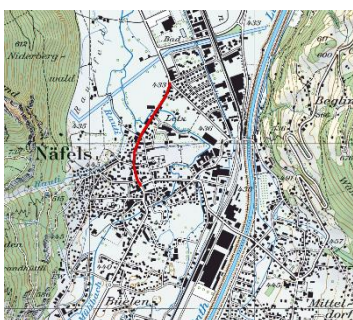
Im Hauptabschnitt (Bristol-Kreisel – Carosserie Torsa) ca 250-300 m ab Kreisel Bristol in Richtung Brig wurden zwei grössere Flicke festgestellt. Der Flick in Fahrbahnmittle wurde durch einen Unfall mit Oel-Auslauf auf die Fahrbahn verursacht. Der Flick eher am Rand bei einer Einfahrt wurde notwendig, um eine nach Einbau eingetretene Mulde zu korrigieren.

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 10.04.2010 zwischen TP2 und Kanton Wallis
2. Einbauprotokoll Unternehmung – Probeeinbau vom 29.4.2011
3. Laborprüfberichte Consultest 3.5.2010 – Probeeinbau Eyholz, Cherstrasse
4. Memo TPL2 (14.6.2011) nach Probeeinbau und erste Etappe Haupteinbau
5. Einbauprotokolle Unternehmung – Haupteinbau
6. Laborprüfberichte Consultest Juli 2010 – Haupteinbau
7. Fotodokumentation

II.3 Näfels / GL, Unterdorf

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Glarus Bau und Umwelt, Abteilung Tiefbau Kirchstrasse 2, 8750 Glarus
Kontaktperson	Marianne Hefti, Tiefbauamt, Lärmschutz Tel.: 055 646 64 25, e-Mail: marianne.hefti@gl.ch
Ortsbezeichnung	8752 Näfels, Unterdorf
Koordinaten	723.310 / 218.040
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	5'178 m ²
Länge	640 m
DTV	20'000 Fz / Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probereinbau	01.05.2012
Einbau	20.05.2012
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2012
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 8 B, 35 mm
Binderschicht	AC B 16, 50 mm
Tragschicht	AC T 22, 90 mm
Fundationsschicht	Ungebundenes Gemisch



Auszug aus der LK 1:25'000

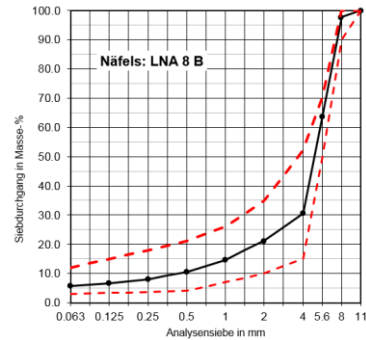


Vorbereitungen für den Probereinbau Einbau auf der gesamten Breite in der Mühlhäusernstrasse

Probereinbau	
Datum und Zeit	29.04.2011, ca. 7 – 10 Uhr
Ort	Näfels, Mühlhäusernstrasse
Fläche, Länge	ca. 520 m ² , 88 m
Unternehmung	W. Hösli Strassenbau AG, Glarus
Wetter	Sonnig, 17°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion Webacid HCP 50%, 400 g/m ² , sofort vor Einbau gespritzt

Haupteinbau	
Datum und Zeit	20.05.2012, ca. 10 – 16 Uhr
Unternehmung	W. Hösli Strassenbau AG, Glarus
Wetter	Sonnig, 22-25°C, z.T. starker Wind (Föhn)
Haftvermittler	Bitumenemulsion Webacid HCP 50%, 400 g/m ² , gespritzt am Vorabend
EtapPIerung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 8 B		Bindemittelsorte: PmB 45/80-65 (CH-E)								
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich			Mittelwerte	Einzelwerte				
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%			12.5%	12.0% 12.3% 12.9% 13.0%				
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%			6.19%	6.22% 6.14% 6.20% 6.19%				
Siebkurve LNA 8 B - Näfels										
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	5.7	6.6	8.0	10.5	14.7	21.1	30.5	63.8	97.7	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	28	12.7	99.9
2	27	13.6	98.8
3	25	15.5	96.7
4	31	13.0	99.5
5	33	13.3	99.1
6	28	14.1	98.2
7	43	13.6	98.8
8	38	12.4	100.2
Mittelwerte	32	13.7	98.9
Sollwert; Vorgegebener Bereich	35	10...16	≥ 98
Höchstwerte	43	15.5	100.2
Tiefstwerte	25	12.4	96.7
Vorgegebener Bereich		9...17	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 15.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind lediglich 2 Stellen, bei denen die Mittelnaht Feuchtigkeitsspuren auf einer Länge von je 5 m aufweist, aufgefallen.

Das Gespräch mit dem Vertreter des Bauherrn hat gezeigt, dass keine besonderen Probleme zu verzeichnen sind.



Teststrecke Näfels / GL, Zustand am 15.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 28.10.2010 zwischen TP2 und Kanton Glarus
2. Plan Situation und Normalprofil vom 16.12.2010
3. Einbauprotokoll Unternehmung – Probereinbau vom 1.5.2012
4. Laborprüfberichte IMP Bautest 7.5.2012 – Probereinbau Mühlhäuserstrasse, Näfels
5. Einbauprotokoll Unternehmung – Haupteinbau vom 20.5.2012
6. Laborprüfberichte IMP Bautest 4.6.2012 – Haupteinbau
7. Fotodokumentation

II.4 Lugano / TI, via Ciani

Organisatorische Daten	
Bauherr	Città di Lugano Dicastero del Territorio, Genio civile Via della Posta 4, 6900 Lugano
Kontaktperson	Maurizio Solcà, resp. genio civile Tel.: 058 866 76 23, e-Mail: msolca@lugano.ch
Ortsbezeichnung	6900 Lugano, via Ciani
Koordinaten	717.880 / 96.970
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	24'500 m ²
Länge	1'640 m
DTV	10-20'000 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	Nicht möglich
Probereinbau	03.05.2012
Einbau	12.05.2012 bis Ende Mai 2012
1. akustische Belagsgütemessung	August 2012
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 4 B, 30 mm
Binderschicht	AC B 22 H, 65 mm
Tragschicht	AC T 22 S, 65 mm
Foundationsschicht	Ungebundenes Gemisch, \geq 350 mm



Auszug aus der LK 1:25'000



Vorbereitungen für den Probeeinbau in via alla Roggia in Viganello

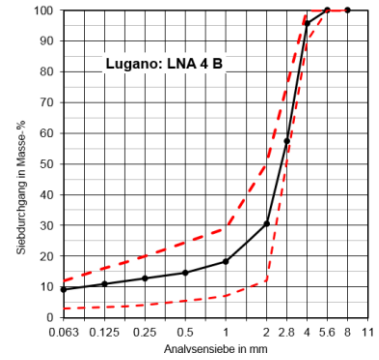
Probeeinbau	
Datum und Zeit	03.05.2012, ca. 14 – 16 Uhr
Ort	Viganello, via alla Roggia
Fläche, Länge	ca. 550 m ² , 90 m
Unternehmung	Consorzio Edilstrada SA – Spalu SA, Lugano
Wetter	Sonnig, ca. 20°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion 50%, 400 g/m ² , sofort vor Einbau gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	12.05.2012, ca. 10 – 16 Uhr (via Balestra – via Madonnetta) 23.05.2012, ca 23 – 6 Uhr (via Madonnetta – via Ferri) 01.07.2012, ca 10 – 16 Uhr (via Ferri – via Brentani) 30.06.2013, ca 10 – 16 Uhr (via Brentani – Posteggio Stadio)
Unternehmung	Consorzio Edilstrada SA – Spalu SA, Lugano
Wetter	Sonnig, 20-22°C (Nachtetappe 11-14°C)
Haftvermittler	Bitumenemulsion 50%, 400 g/m ² , z. T. gespritzt am Vorabend, z. T. vor Einbau (Nachtetappe)
Etappierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung



Teststrecke Lugano / TI: Abschnitt via Balestra – via Madonnetta (Nachteinbau) Abschnitt via Madonnetta – via Ferri (Nachteinbau). Wartezeit damit die PmB-Emulsion trocknen kann.

Der Abschnitt via Madonnetta – via Ferri der Teststrecke in Lugano / TI wurde nachts eingebaut. Es wurde eine langsame Abbindung des Haftvermittlers beobachtet und die schlechtere Ebenheit in diesem Abschnitt wurde durch die Messung des TP3 festgehalten.

Mischgut LNA 4 B		Bindemittelsorte: Styrelf E-60 [PmB 45/80-65 (CH-E)]							
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte					
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%	13.0%	12.8% 13.2%					
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%	6.32%	6.34% 6.30%					
Siebkurve LNA 4 B - Lugano									
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6
Siebdurchgang in Masse %	9.1	11.0	12.7	14.7	18.2	30.5	57.4	95.8	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1 ¹	38	6.7	107.3
2	31	12.5	100.6
3	39	14.5	98.3
4	33	11.7	101.6
5	36	11.9	101.3
6	37	14.0	98.9
7	29	12.8	100.3
8	37	10.3	103.2
9	30	16.3	96.2
10	20	15.1	97.6
11	24	17.8	94.5
12	38	9.5	104.1
13	25	18.4	93.8
24	46	9.7	103.8
15	40	13.3	99.8
16	28	14.3	98.5
17	50	12.2	101.0
18	49	10.8	102.6
19	27	18.4	93.8
Mittelwerte	34.4	13.5	99.4
Sollwert / Vorgegebener Bereich	30	10...18	≥ 97
Höchstwerte	50.0	18.4	104.1
Tiefstwerte	20.0	9.5	93.8
Vorgegebener Bereich		10...20	≥ 96

¹ Prüfkörper Nr. 1 nicht berücksichtigt



Zustand am 23.10.2015 – Blick von via Ferri Richtung Norden.



Begehung vom 23.10.2015 – Bereich gegenüber Friedhof Lugano Schachtdeckel Pamrex 600 direkt unter der Rad-Spur



23.10.2015: Bereich neben via Ferri 13 Schachtdeckel: viele kleine besonders lärmige Deckel (Wasserversorgung), eine Reihe unter dem linken Rad und noch weitere...

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 23.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es wurden auf der gesamten Länge von 1600 m keine Risse beobachtet.

Allerdings wurden viele besonders lärmige Schachtdeckel festgestellt. Besonders und systematisch lärmig ist der Typ Pamrex 600. Die Anordnung dieser Schachtreihe ist besonders ungünstig und kommt systematisch unter das rechte Rad der stadtauswärts führenden Spur.

Im Weiteren wurden Schachtdeckel in der Mitte der Fahrbahn mit einem Dachprofil festgestellt. Diese führen zu Probleme während dem Einbau (Hand-Anpassungen) und Tendenz zu Rissbildungen im Betrieb.

Nicht zu unterschätzen ist die Lärm-Wirkung der kleinen Schächte der Wasserversorgungsanlagen: da diese nur Lose im Oberbau eingebracht sind, können sie leicht durch den Verkehr nach unten gedrückt werden und als Lärmquelle wirken.

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 8.11.2010 zwischen TP2 und Stadt Lugano
2. Plan eingebauten Flächen vom 16.12.2010
3. Einbauprotokoll Unternehmung – Probeeinbau vom 3.5.2012 in via alla Roggia
4. Laborprüfberichte IMM 10.5.2012 – Probeeinbau via alla Roggia, Viganello
5. Laborprüfberichte IMM 11.6.2012 - Haupteinbau
6. Fotodokumentation

II.5 Muri / BE, Thunstrasse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Tiefbauamt des Kantons Bern Oberingenieurkreis II Schermenweg 11, Postfach, 3001 Bern
Kontaktperson	Thomas Schmid, Oberingenieur, Kreis II Tel.: 031 634 23 31, e-Mail: thomas.schmid@bve.be.ch
Ortsbezeichnung	3074 Muri b. Bern, Thunstrasse
Koordinaten	604.070 / 197.410
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	9'320 m ² (+ 1'965 m ² Probeeinbau)
Länge	1'215 m
DTV	8'200 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probeeinbau	24.06.2011
Einbau	06.08.2011
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2011

Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 4 C, 30 mm
Binderschicht	AC B 22 H, 70 mm
Tragschicht	AC T 22 H, 70 mm
Fundationsschicht	AC F 22, 100 mm



Auszug aus der LK 1:25'000

Probееinbau Niederscherli, Einbau auf einer Fahrbahnhälfte

Einbau auf der gesamten Breite

Der Probееinbau in Niederscherli / BE umfasst einen längeren Abschnitt in einer stark befahrenen Strecke im besiedelten Gebiet und würde die Kriterien für die Aufnahme als Teststrecke. Diese Tatsache könnte berücksichtigt werden, wenn das TP3 eine weitere zu beobachtende Strecke benötigen würde.

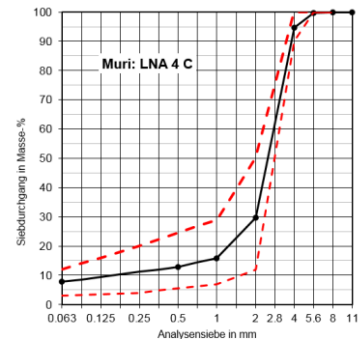


Probееinbau Niederscherli, Versuch mit reinem Wasser (rechts) und Seifenwasser (links)

Probееinbau Niederscherli, Versuch mit reinem Wasser (rechts) und Seifenwasser (links) : sobald die Oberflächenspannung des Wassers gebrochen ist, fließt das Wasser in die Hohlräume

Probееinbau	
Datum und Zeit	24-25.06.2011, 10 – 16 Uhr
Ort	Niederscherli, Schwarzenburgstrasse
Fläche, Länge	ca. 4000 m ² , 500 m
Unternehmung	Weibel AG
Wetter	Sonnig, ca. 20°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion Webacid HCP 50%, 350 g/m ² , sofort vor Einbau gespritzt
Etap pierung	Einbau auf halber Fahrbahn, mit Längsnaht
Haupteinbau	
Datum und Zeit	20.05.2012, ca. 07 – 12 Uhr
Unternehmung	Weibel AG
Wetter	Leicht bewölkt, ca. 20°C, z.T
Haftvermittler	Bitumenemulsion Webacid HCP 50%, 350 g/m ² , gespritzt am Vorabend
Etap pierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 4 C (Famsiphonogrip)		Bindemittelsorte: PmB 45/80-65 (CH-E)									
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich			Mittelwerte	Einzelwerte					
Hohlraumgehalt	16%	14%...18%			18.9%	20.1%	18.5%	19.8%	19.9%	17.5%	17.9%
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%			5.46%	5.44%	5.60%	5.43%	5.51%	5.35%	5.43%
Siebkurve LNA 4 C - Muri											
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11			
Siebdurchgang in Masse %	7.7	12.9	15.9	29.6	94.7	99.7	99.9	100.0			



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	30	21.7	97.4
2	30	22.7	96.1
3	25	26.3	93.5
4	35		
5	27		
6	28	20.0	99.5
7	34		
8	36	21.5	97.9
9	30		
10	24	22.5	96.9
13	34	19.0	99.4
14	26		
Mittelwerte	30	21.8	97.2
Sollwert / Vorgegebener Bereich	30	14...22	≥ 97
Höchstwerte	39	25.3	99.5
Tiefstwerte	24	19.0	93.5
Vorgegebener Bereich		14...24	≥ 96

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als gut bis sehr gut bezeichnet werden.

Man hat jedoch beobachtet wie in den ersten 40 m verschiedene Risse (Quer + Längs) aufgetreten sind. Dieser Bereich stimmt mit dem versetzten Beginn der zwei Fahrstreifen überein.



Teststrecke Muri / BE, Zustand am 16.10.2015

In den ersten 200-300 m wurde einen intermittierenden Längsriss in der Mitte der Fahrbahn beobachtet.

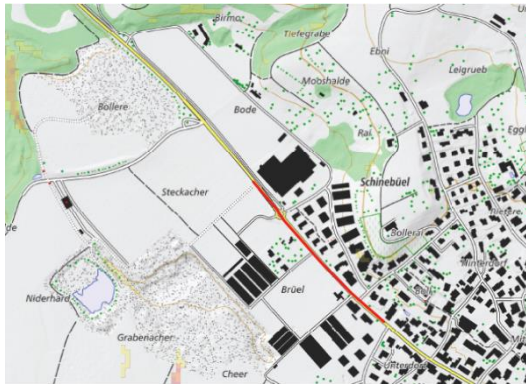
Bei ca. 850 m und 870 m ab Dorf Richtung Autobahn, wurden Risse rund um 2 Schachtdeckel festgestellt.

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 30.11.2010 zwischen TP2 und Kanton Bern, Oberingenieurkreis II
2. Protokoll der Start-Sitzung vom 20.4.2011 zwischen TP2, Oberingenieurkreis II, Ing- Büro und Unternehmung.
3. Schemaskizze Mittelfuge Längsnaht vom 27.5.2011
4. Plan eingebauten Flächen vom 21.10.2011
5. Laborprüfberichte Baustoff Labor 15.7.2011 – Probereinbau Niederscherli
6. Memo TP2 Probereinbau Niederscherli (5.8.2011)
7. Laborprüfberichte Baustoff Labor 16.9.2011 – Haupteinabu Thunstrasse Muri
8. Fotodokumentation

II.6 Birmenstorf / AG, Bruggerstrasse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Aargau Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Tiefbau Entfelderstrasse 22, 5001 Aarau
Kontaktperson	Hans-Peter Gloor, Leiter Sektion Lärmbekämpfung Tel.: 062 835 36 46, e-Mail: hanspeter.gloor@ag.ch
Ortsbezeichnung	5413 Birmenstorf, Bruggerstrasse
Koordinaten	660.690 / 257.150
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten der Teststrecke	
Fläche	1'661 m ²
Länge	320 m
DTV	
Breite (Mittelwert)	7.50 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	Nicht möglich
Probereinbau	30.06.2011
Einbau	21.08.2011
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2011
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 8 B, 35 mm
Binderschicht	AC B 22S, 70 mm
Tragschicht	AC T 22S, 70 mm
Fundationsschicht	Kiessand gebrochen, 60 cm



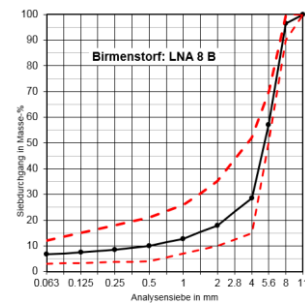
Auszug aus map.geo.admin.ch



Einbau auf voller Breite mit einem Fertiger

Probereinbau	
Datum und Zeit	30.06.2011, 13 – 15 Uhr
Ort	Birmenstorf / AG, Steckackerweg
Fläche, Länge	ca. 250 m ² , 50 m
Unternehmung	Implenia AG
Wetter	Bewölkt, ca. 21°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion Webacid HCP 50%, 350 g/m ² , um 10.00 Uhr gespritzt
Etap pierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung
Einbau	
Datum und Zeit	30.06.2011, ca. 13 - 15 Uhr
Unternehmung	Implenia AG
Wetter	Bewölkt, 21°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion Webacid HCP 50%, 350 g/m ² , am Vortag (Samstag) gespritzt.
Etap pierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 8 B		Bindemittelsorte:								
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich		Mittelwerte		Einzelwerte				
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%				13.7%				
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%				5.98%				
Siebkurve LNA 8 B - Birmenstorf										
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	6.7	7.5	8.4	10.0	12.8	17.9	28.6	57.0	96.5	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	41	10.2	100.3
2	34	6.1	104.8
Mittelwerte	37	8.1	102.6
Sollwert / Vorgegebener Bereich	35	10...16	≥ 98
Höchstwerte	41	10.2	104.8
Tiefstwerte	34	6.1	100.3
Vorgegebener Bereich		9...17	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art festgestellt worden.

Die Teststrecke umfasst ein 80 m langer Abschnitt nördlich des Kreisels und ein 200 m Abschnitt südlich des Kreisels in Richtung Dorfzentrum. Diese Abschnitte wurden auf der vollen Breite mit entsprechender Verkehrssperrung eingebaut. Ein weiterer Abschnitt von 90 m zwischen der Bollstrasse und die Abzweigung zur Mülligerstrasse wurde in zwei halbe Fahrstreifen eingebaut und zählt nicht zum Perimeter der Teststrecke.



Teststrecke Birmenstorf / AG, Zustand am 16.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 20.4.2011 zwischen TP2 und Kanton Aargau
2. Pläne der Teststrecke und des Probeeinbaus
3. Laborprüfberichte CONSULTTEST AG 26.7.2011 – Probeeinbau bei Kreisel
4. TPL2 – Journal Probeeinbau vom 30.6.2011
5. Memo TP2 Probeeinbau Birmenstorf (11.8.2011)
6. TPL2 – Journal Haupteinbau vom 21.8.2011
7. Laborprüfberichte CONSULTTEST AG 13.12.2011 – Haupteinbau Bruggerstrasse
8. Fotodokumentation

II.7 Muttenz / BL, Birsfelderstrasse, Teil 2

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Basel-Landschaft Bau- und Umweltschutzdirektion Rheinstrasse 29, Postfach, 4410 Liestal
Kontaktperson	André Schenker, Projektleiter Projektmanagement Tel.: 061 552 54 80, e-Mail: andre.schenker@bl.ch
Ortsbezeichnung	Muttenz, Birsfelderstrasse, Bauabschnitt 1: „Pantheon“ bis „St. Jakob-Strasse“ (blau)
Koordinaten	614.640 / 265.190
Status	OK
Bemerkung	Die Projektbezeichnung des Bauherrn ist „Birsfelderstrasse, Bauabschnitt 1“. Im Rahmen des FOPAK LAB und zur Koordination der Bezeichnungen mit dem TP 3, wird diese Teststrecke als „Muttenz, Teil 2“ benannt
Technische Daten der Teststrecke	
Fläche	6'189 m ²
Länge	670 m
DTV	12'200 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	9.20 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probeeinbau	8. Mai 2013 (Dittingen)
Einbau	6. Juli 2013
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2013

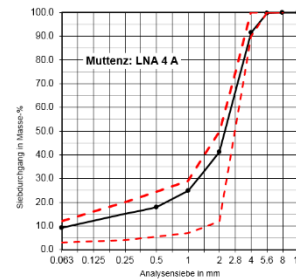
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Teil 2 „Pantheon“ bis „St. Jakob-Strasse“ (blau)	
Deckschicht	LNA 4 A, 30 mm (neu)
Binderschicht	AC B 22 H, 70 mm (neu)
Tragschicht	AC T 32 H, 120 mm (neu)
Fundationsschicht	Ungebundenes Gemisch, 600 mm (bestehend)



Auszug aus der LK 1:25'000
Teil 2 – „Pantheon“ bis „St. Jakob-Strasse“ (blau)

Probearbeit in Dittingen

Mischgut LNA 4 A – MuttENZ, Teil 2		Bindemittelsorte: PmB 25/55-65 CH						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte				
Hohlraumgehalt	8%	6%...10%	8.3%	8.8%; 8.7%; 7.2%; 8.6%				
Bindemittelgehalt	≥ 6.2%		6.38%	6.30%; 6.39%; 6.58%; 6.27%				
Siebkurve LNA 4 A – MuttENZ, Teil 2								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	9.3	18.8	24.8	41.3	40.6	68.8	99.1	100.0



Eingebaute Schicht (LNA 4) – MuttENZ, Teil 2			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	30	9.7	99.7
2	26	8.1	101.4
3	25	13.3	95.7
4	32	9.9	99.5
Mittelwerte	28	10.2	99.7
Sollwert; Vorgegebener Bereich	30	6...14	≥ 98
Höchstwerte	32	13.3	101.4
Tiefstwerte	25	8.1	95.7
Vorgegebener Bereich	22.5...37.5	6...16	≥ 96

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.
Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art oder andere Unregelmässigkeiten festgestellt worden.



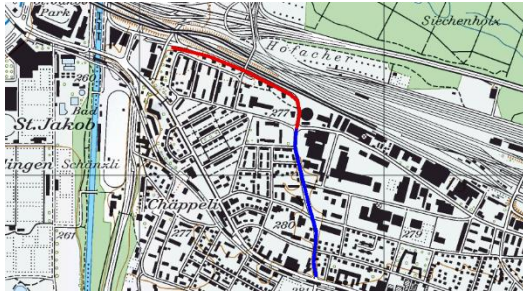
Teststrecke MuttENZ / BL, Birsfeldenstrasse, Teil 2, Zustand am 16.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 11.2.2011 zwischen TP2 und Kanton Baselland
2. Ausmassplan
3. TPL2 Memo – Zwischenbericht LNA 4A vom (5.11.2012)
4. TPL2 – Journal Proeeinbau vom 8.5.2013
5. Laborprüfberichte BAUSTOFF LABOR 29.5.2013 – Probereinbau Hauptstrasse Dittingen
6. TPL2 Memo – Probereinbau Hauptstrasse Dittingen (4.7.2013)
7. Laborprüfberichte BAUSTOFF LABOR 6.12.2013 – Haupteinabu Birsfelderstrasse
8. Fotodokumentation

II.8 Muttenz / BL, Birsfelderstrasse, Teil 1

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Basel-Landschaft Bau- und Umweltschutzdirektion Rheinstrasse 29, Postfach, 4410 Liestal
Kontaktperson	André Schenker, Projektleiter Projektmanagement Tel.: 061 552 54 80, e-Mail: andre.schenker@bl.ch
Ortsbezeichnung	Muttenz, Birsfelderstrasse, Baubschnitt 2: Autobahnzubringer – „Pantheon“ (rot)
Koordinaten	614.640 / 265.190
Status	OK, ausgeführt
Bemerkung	Die Projektbezeichnung des Bauherrn ist „Birsfelderstrasse, Bauabschnitt 2“. Im Rahmen des FOPAK LAB und zur Koordination der Bezeichnungen mit dem TP 3, wird diese Teststrecke als „Muttenz, Teil 1“ benannt
Technische Daten der Teststrecke	
Fläche	2'403 m ²
Länge	525 m
DTV	12'200 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probereinbau	18. Juni 2013 (Dittingen)
Einbau	18. August 2013
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2013
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Teil 1 Autobahnzubringer – „Pantheon“ (rot)	
Deckschicht	LNA 8 A, 30 mm (neu)
Binderschicht	AC B 16 S, 55 mm (neu)
Tragschicht	AC T 32 H, 120 mm (neu)
Foundationsschicht	Ungebundenes Gemisch, 600 mm (bestehend)



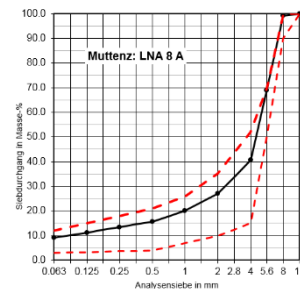
Auszug aus der LK 1:25'000
Teil 1 – Autobahnzubringer – „Pantheon“ (rot)



Teil 1: Einbau auf gesamter Breite

Probereinbau	
Datum und Zeit	18.06.2013, 10.30 – 12.00 Uhr
Ort	Dittingen, Hauptstrasse
Fläche	
Unternehmung	Ziegler AG
Wetter	
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 300 g/m ² , sofort vor Einbau gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	18.08.2013, 6 – 12 Uhr
Unternehmung	Ziegler AG
Wetter	Sonne, 18 -20°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 300 g/m ² , sofort vor Einbau gespritzt
Etappe	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 8 A		Bindemittelsorte: Grisoplast E60 [PmB 45/80-65 (CH-E)]						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich		Mittelwerte	Einzelwerte			
Hohlraumgehalt	8%	6%...10%		7.9%	8.0%; 8.0%; 7.6%; 8.0%			
Bindemittelgehalt	≥ 5.8%			5.88%	5.91%; 5.97%; 5.84%; 5.82%			
Siebkurve LNA 8 A – Muttenz, Teil 1								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	9.1	15.6	20.0	27.0	40.6	68.8	99.1	100.0



Eingebaute Schicht (LNA 8 A)			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	29	10.6	97.2
2	33	9.1	98.7
3	35	12.0	95.6
4	37	11.5	95.8
5	31	8.8	99.1
6	30	8.9	99.1
7	34	13.6	93.9
8	42	12.0	95.6
Mittelwerte	34	10.8	96.9
Sollwert; Vorgegebener Bereich	30	6...12	≥ 98
Höchstwerte	42	13.6	101.7
Tiefstwerte	29	8.8	94.6
Vorgegebener Bereich	23...38	5,5...13	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art oder andere Unregelmässigkeiten festgestellt worden.

Es ist einzig ein leicht eingedrückter Schachtdeckel unweit vom Pantheon festgestellt worden.



Teststrecke Muttetz / BL, Birsfeldenstrasse, Teil 1, Zustand am 16.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 11.2.2011 zwischen TP2 und Kanton Baselland
2. Ausmassplan
3. Laborprüfberichte BAUSTOFF LABOR 22.7.2013 – Probereinbau Hauptstrasse Dittingen
4. TPL2 Memo – Probereinbau Hauptstrasse Dittingen (10.8.2013)
5. TPL2 – Journal Haupteinbau 18.8.2013
6. Laborprüfberichte BAUSTOFF LABOR 31.10.2013 – Haupteinbau Birsfelderstrasse
7. Fotodokumentation

II.9 Yverdon-Les-Bains / VD, PS Pomy

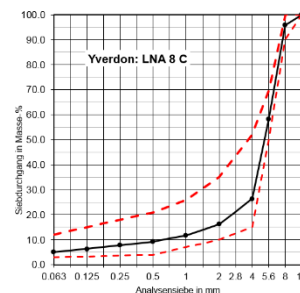
Organisatorische Daten	
Bauherr	Ville de Yverdon-Les-Bains Service des Travaux et Environnement Rue de l'Ancien Stand 4, Yverdon-les-Bains
Kontaktperson	Vincent Nicolet, Resp. Bureau technique Tel.: 021 315 54 41, e-Mail: julianandres.achipiz@lausanne.ch
Ortsbezeichnung	1400 Yverdon-Les-Bains, Passage supérieur Pomy
Koordinaten	539.890 / 180.230
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	1'400 m ²
Länge	215 m
DTV	26'000 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	8.20 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probereinbau	Kein Probereinbau
Einbau	3. August 2012
1. akustische Belagsgütemessung	August 2012



Auszug aus der LK 1:25'000

Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Strecke	
Deckschicht	LNA 8 C, 40 mm
Tragschicht	AC T 16 S, 65 mm
Tragschicht	AC T 16 S, 65 mm
Fundationsschicht	Ungebundenes Gemisch
Brücke	
Deckschicht	LNA 8 C, 40 mm
Binderschicht	AC B 11, 40 mm
Schutzschicht	MA 8, 35 mm
Abdichtung	PBD, 5 mm

Mischgut LNA 8 C		Bindemittelsorte: PmB 65/105-60 (CH-E)						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich		Mittelwerte		Einzelwerte		
Hohlraumgehalt	16%	14%...18%				14.4%		
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%				5.98%		
Siebkurve LNA 8 C - Yverdon								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	5.0	9.2	11.7	16.2	26.4	58.2	95.8	100.0



Die Teststrecke in Yverdon / VD ist sehr kurz und führt über eine Brücke (Länge ca. 24 m) über die SBB-Linie. Auf der Brücke können keine Bohrkern entnommen werden und die Rampen vor und nach der Brücke sind eigentlich zu kurz um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Somit wurden unmittelbar nach dem Bau keine Bohrkern entnommen. Diese wurden nachträglich im Februar 2015 durch das TP3 entnommen.

Eingebaute Schicht (LNA 8 C)			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	39	13.9	100.6
2	40	14.3	100.0
3	33	11.6	103.2
4	40	11.5	103.3
Mittelwerte	38	12.8	101.8
Sollwert; Vorgegebener Bereich	40	14...20	≥ 98
Höchstwerte	40	14.3	103.3
Tiefstwerte	33	11.5	100.0
Vorgegebener Bereich	30...50	13...23	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 21.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art oder andere Unregelmässigkeiten festgestellt worden.

Es sind allerdings 2 lärmige Schachtdeckel festgestellt worden. Diese befinden sich auf der West-Rampe auf der Fahrspur nach Yverdon. Diese Schachtdeckel sind zum Teil beschädigt und bewegen sich unter den Räder der Fahrzeuge.



Teststrecke Yverdon / VD, Zustand am 21.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 16.2.2011 zwischen TP2 und Stadt Yverdon
2. Projektpläne der Überführung Pomy in Yverdon.
3. Ausmassplan
4. Mischgutuntersuchung Laborroute vom 3.8.2012 – Haupteinbau
5. Untersuchung Bohrkern – Bericht IMP Bautest 24.2.2015
6. Fotodokumentation

II.10 Basel-Stadt / BS, Riehenstrasse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Basel-Stadt Tiefbauamt, Verkehrsbauten-Erhaltung Münsterplatz 11, Basel
Kontaktperson	Andreas Flück, Leiter Erhaltung Verkehrsbauten Tel.: 061 267 43 23, e-Mail: andreas.flueck@bs.ch
Ortsbezeichnung	4000 Basel, Steinengraben
Koordinaten	Riehenstrasse: 612.930 / 268.480
Status	OK, Ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	2'815 m ²
Länge	315 m
DTV	? Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	9 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	--
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	--
Probereinbau	22. August 2013 (Aeschervorstadt)
Einbau	28. September 2013
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2013
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 6 C, 40 mm
Binderschicht	
Tragschicht	
Fundationsschicht	



Auszug aus der LK 1:25'000

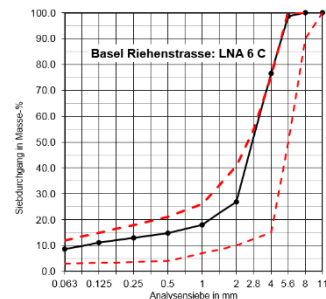


Probereinbau Aeschervorstadt (Nachteinbau)

Die Teststrecke Riehenstrasse / BS in Basel führt teilweise durch eine Unterführung unter der SBB-Linie durch. Diese Tatsache muss möglicherweise in der Bewertung der Lärmessungen berücksichtigt werden.

Probereinbau	
Datum und Zeit	18.06.2013, 10.30 – 12.00 Uhr
Ort	Basel, Aeschenvorstadt
Fläche	800 m ²
Unternehmung	Wirz AG
Wetter	Trocken, ca. 20°C, Nachteinbau
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 370 g/m ² , sofort vor Einbau gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	28.09.2013
Unternehmung	Wirz AG
Wetter	
Haftvermittler	
Etappierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 6 C		Bindemittelsorte: Grisolast E60 [PmB 45/80-65 (CH-E)]						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte				
Hohlraumgehalt	16%	14%...18%	15.4%	15.4%; 14.7%; 15.2%; 16.5%				
Bindemittelgehalt	5.5% ... 6.5%		5.68%	5.71%; 5.63%; 5.74%; 5.63%				
Siebkurve LNA 6C – Basel Riehenstrasse								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	8.7	14.8	18.0	26.9	76.5	98.8	100.0	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	43	15.5	100.0
2	42	15.7	99.7
3	40	16.2	99.2
4	42	14.0	101.7
5	43	15.3	100.2
6	35	20.0	94.6
Mittelwerte	41	16.1	99.2
Sollwert; Vorgegebener Bereich	40	14...20	≥ 98
Höchstwerte	43	20.0	101.7
Tiefstwerte	35	14.0	94.6
Vorgegebener Bereich	32...50	13...23	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art oder andere Unregelmässigkeiten festgestellt worden.

Auf dieser Teststrecke sind auffallend viele Induktionsschleifen (z.B. zur Steuerung der Ampeln) beobachtet worden. Qualitativ fällt aber deren Einwirkung auf die akustischen Eigenschaften des Belages nicht besonders auf.



Teststrecke Riehenstrasse / BS, Zustand am 16.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 18.2.2011 zwischen TP2 und Kanton Basel
2. Pläne Riehenstrasse und Aeschervorstadt
3. TPL2 – Journal Probereinbau Aeschervorstadt vom 20.8.2013 -
4. Laborprüfungen IMP Bautest, September 2013 – Probereinbau Aeschervorstadt
5. TPL2 – Memo Zwischenbericht LNA 6C vom 25.9.2013
6. TPL2 – Journal Hautereinbau Riehenstrasse vom 28.9.2013
7. Laborprüfungen IMP Bautest, 4.12.2013 – Hauptereinbau Riehenstrasse
8. Fotodokumentation

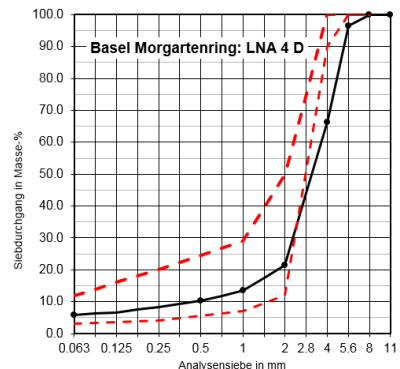
II.11 Basel-Stadt / BS, Morgartenring

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Basel-Stadt Tiefbauamt, Verkehrsbauten-Erhaltung Münsterplatz 11, Basel
Kontaktperson	Andreas Flück, Leiter Erhaltung Verkehrsbauten Tel.: 061 267 43 23, e-Mail: andreas.flueck@bs.ch
Ortsbezeichnung	4000 Basel, Morgartenring
Koordinaten	Morgartenring: 609.550 / 267.000
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	7'326 m ²
Länge	770 m
DTV	14'000 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	9 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probereinbau	25. Juli 2012 / 30. Juli 2012
Einbau	8./10. August 2012, 6./14. September 2012
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2012
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 4 D, 35 mm
Binderschicht	AC B 22 H, 70 mm
Tragschicht	AC T 32 H, 115 mm
Fundationsschicht	Ungeb. Kiesgem., 380 mm



Morgartenring (blau), Auszug aus der LK 1:25'000

Mischgut LNA 4 D		Bindemittelsorte: Grisolast E60 [PmB 45/80-65 (CH-E)]							
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte					
Hohlraumgehalt	20%	18%...22%	18.5%	17.2%	18.9%				
				17.0%	19.0%				
				18.4%	18.4%				
				18.3%	18.6%				
				17.9%	19.6%				
				17.8%	19.4%				
				18.7%	19.5%				
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%	5.62%	5.59%	5.49%				
				5.57%	5.59%				
				5.61%	5.76%				
				5.67%	5.59%				
				5.67%	5.69%				
				5.70%	5.62%				
				5.51%	5.59%				
Siekurve LNA 6C – Basel Riehenstrasse									
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8
Siebdurchgang in Masse %	5.8	6.7	8.2	10.2	13.6	21.5	66.4	96.4	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	37	16.3	102.7
2	37	15.7	103.4
3	40	19.2	99.1
4	43	16.8	102.1
5	33	21.8	95.9
6	40	19.9	98.2
7	43	18.2	100.3
8	40	17.9	100.7
Mittelwerte	39	18.2	100.3
Sollwert; Vorgegebener Bereich	35	18...26	≥ 97
Höchstwerte	43	21.8	103.4
Tiefstwerte	33	15.7	95.9
Vorgegebener Bereich	26...44	18...28	≥ 96

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art oder andere Unregelmässigkeiten festgestellt worden.

Auf dieser Teststrecke sind auffallend viele Induktionsschleifen (z.B. zur Steuerung der Ampeln) beobachtet worden.



Teststrecke Morgartenring / BS, Zustand am 16.10.2015

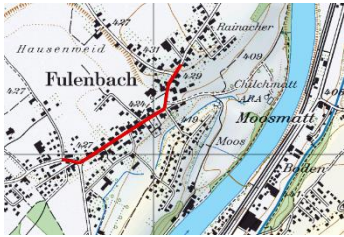
Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 18.2.2011 zwischen TP2 und Kanton Basel
2. Pläne Morgartenring
3. Mischgutuntersuchungen IMP Bautest, 20.8.2012 – Probeeinbau Mühlhauserstrasse
4. Mischgutuntersuchungen IMP Bautest, 20.8.2012 – Probeeinbau Wasserstrasse
5. Mischgutuntersuchungen IMP Bautest, 20.8.2012 – Haupteinbau 1. Etappe
6. Mischgutuntersuchungen IMP Bautest, 24.9.2012 – Haupteinbau 2. Etappe
7. Bohrkernuntersuchungen IMP Bautest, 10.12.2012
8. Fotodokumentation

II.12 Fulenbach / SO, Dorfstrasse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Solothurn Amt für Verkehr- und Tiefbau (AVT) Werkhofstrasse 65, Solothurn
Kontaktperson	Dieter Fux, AVT, Leiter Belags- und Geotechnik Tel.: 032 627 89 56, e-Mail: dieter.fux@bd.so.ch
Ortsbezeichnung	Fulenbach, Dorfstrasse
Koordinaten	623.870 / 236.970
Status	OK, ausgeführt

Technische Daten	
Fläche	5'733 m ²
Länge	680 m
DTV	7'500 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	Nicht möglich
Probereinbau	25.05.2011
Einbau	26.06.2011
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2011
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 8 C, 35 mm
Binderschicht	
Tragschicht	
Fundationsschicht	



Auszug aus der LK 1:25'000



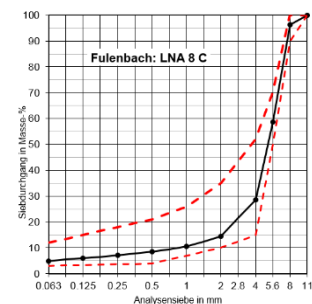
Einbau auf gesamter Breite



Armierungsnetz S+P Glasphalt im Bereich der Längsfuge

Probereinbau	
Datum und Zeit	25.05.2011, 10 – 14 Uhr
Ort	Fulenbach
Fläche, Länge	710 m ² , 135 m
Unternehmung	Kibag AG
Wetter	Sonne, 15-24 °C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 350 g/m ² ., am Morgen um 7.00 vor Einbau gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	26.06.2011, 7.30 – 15 Uhr
Unternehmung	Kibag AG
Wetter	Sonne, 20-25°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 400 g/m ² ., am Vortag Abend gespritzt
Etappeierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 8 C		Bindemittelsorte: PmB 45/80-65 (CH-E)						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich		Mittelwerte	Einzelwerte			
Hohlraumgehalt	16%	14%...18%		15.5%	15.3% 15.7%			
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%		5.64%	5.59% 5.69%			
Siebkurve LNA 8 C – Fulenbach								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	4.9	8.4	10.5	14.5	28.6	58.7	96.3	100.0



Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als gut bezeichnet werden.

Es sind hauptsächlich Querrisse über einer Fahrbahnhälfte beobachtet worden. Längsrisse sind nur vereinzelt und sehr lokal vorhanden.

Zudem ist der Belag um einige Schachtrahmen (Gatic) gerissen.



Teststrecke Fültenbach / SO, Zustand am 16.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 11.2.2011 zwischen TP2 und Kanton Solothurn
2. Protokoll der Besprechung vom 4.4.2011 zwischen TP2, Kanton Solothurn. Projektingenieur und Unternehmung
3. Situationsplan
4. TPL2 – Journal Probeeinbau vom 25.05.2011 – Fültenbach
5. Laborprüfungen IMP Bautest, 31.5.2011 – Probeeinbau Fültenbach
6. Einbauprotokoll Unternehmung vom 26.6.2011
7. Laborprüfungen IMP Bautest, 4.12.2011 – Haupteinbau Fültenbach
8. Fotodokumentation

II.13 Kestenholtz / SO, Gäustrasse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Kanton Solothurn Amt für Verkehr- und Tiefbau (AVT) Werkhofstrasse 65, Solothurn
Kontaktperson	Dieter Fux, AVT, Leiter Belags- und Geotechnik Tel.: 032 627 89 56, e-Mail: dieter.fux@bd.so.ch
Ortsbezeichnung	Kestenholtz, Gäustrasse
Koordinaten	623.870 / 236.970
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	3'755 m ²
Länge	490 m
DTV	5'500 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probeeinbau	25.05.2011
Einbau	19.06.2011
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2011
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 6 B, 30 mm
Binderschicht	
Tragschicht	
Fundationsschicht	

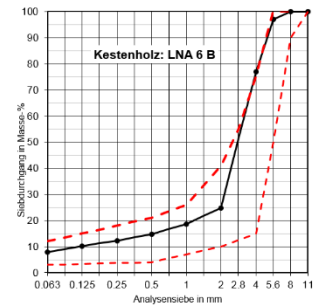


Auszug aus der LK 1:25'000

Einbau auf gesamter Breite

Probereinbau	
Datum und Zeit	26.05.2011, 13.30 – 15 Uhr
Ort	Fulenbach
Fläche, Länge	330 m ² , 95 m
Unternehmung	Kibag AG
Wetter	Sonne, 15-24 °C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 400 g/m ² , am Vormittag, um 7.00 Uhr gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	19.06.2011, 08 – 14 Uhr
Unternehmung	Kibag AG
Wetter	Bewölkt, zeitweise Niederschlag, ca. 18°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 400 g/m ² , am Morgen um 3.30 Uhr gespritzt
Ettappierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 6 B		Bindemittelsorte: PmB 45/80-65 (CH-E)						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte				
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%	11.3%	11.2%	11.4%			
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%	6.28%	6.31%	6.26%			
Siebkurve LNA 6 B – Kestenholz								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	7.9	14.7	18.6	24.8	76.9	96.9	100.0	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	33	14.6	96.4
2	29	13.2	97.9
3	33	11.4	99.9
4	31	13.4	97.7
Mittelwerte	32	13.1	98.0
Sollwert / Vorgegebener Bereich	30	10...16	≥ 98
Höchstwerte	33	14.6	99.9
Tiefstwerte	29	11.4	96.4
Vorgegebener Bereich		9...17	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 16.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es sind keine Risse jeglicher Art oder andere Unregelmässigkeiten festgestellt worden.



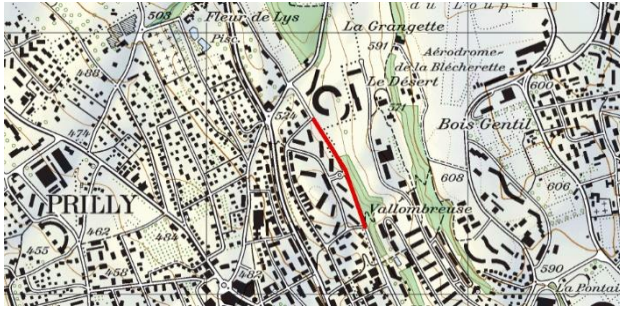
Teststrecke Kestenholz / SO, Zustand am 16.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 11.2.2011 zwischen TP2 und Kanton Solothurn
2. Protokoll der Besprechung vom 4.4.2011 zwischen TP2, Kanton Solothurn. Projektingenieur und Unternehmung
3. Situationsplan
4. TPL2 – Journal Probeeinbau vom 25.05.2011 – Fulenbach
5. Einbauprotokoll Unternehmung 25.5.2011
6. Laborprüfungen IMP Bautest, 31.5.2011 – Probeeinbau Fulenbach
7. TPL2 – Journal Haupteinbau vom 19.6.2011
8. Laborprüfungen IMP Bautest, 10.6.2011 – Haupteinbau Kestenholz
9. Fotodokumentation

II.14 Prilly / VD, Vallombreuse

Organisatorische Daten	
Bauherr	Commune de Prilly Service des travaux Rue du Port-Franc 18, 1002 Lausanne
Kontaktperson	Philippe Coquerand, chef de service Tel.: 021 622 72 31, philippe.coquerand@prilly.ch
Ortsbezeichnung	1008 Prilly, Vallombreuse
Koordinaten	536.530 / 154.470
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	4'314 m ²
Länge	390 m
DTV	5'000 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	
Termine	
Akustische Ausgangsmessung	April 2011
Probeeinbau	Kein Probeeinbau
Einbau	28.08.2011
1. akustische Belagsgütemessung	Oktober 2011
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	Camaphone 4 (LNA 4 B), 30 mm
Binderschicht	AC B 16 S, 60 mm
Tragschicht	AC T 22 S, 80 mm
Foundationsschicht	



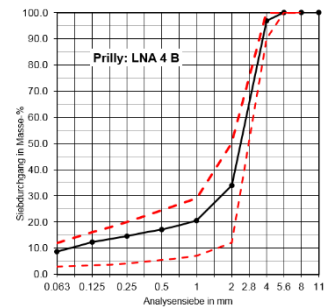
Auszug aus der LK 1:25'000



Einbau auf gesamter Breite

Probeeinbau	
Datum und Zeit	Kein Probeeinbau
Ort	
Fläche	
Unternehmung	
Wetter	
Haftvermittler	
Haupteinbau	
Datum und Zeit	28.08.2011
Unternehmung	Camandona SA
Wetter	Sonnig, 9-22°C
Haftvermittler	PmB Emulsion PO C 60, am gleichen Tag vor dem Einbau gespritzt
Etappierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 4 B (Camaphone 4)		Bindemittelsorte: Styrelf E-60 [PmB 45/80-65 (CH-E)]						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich			Mittelwerte			Einzelwerte
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%						9.9%
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%						6.67%
Siebkurve LNA 4B (Camaphone 4) - Prilly								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	8.7	17.0	20.6	33.9	96.8	100.0	100.0	100.0



Eingebaute Schicht - 1			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	31		
2	32	12.1	97.5
3	29		
4	28	9.6	100.4
5	38		
6	40	13.3	96.3
7	42		
8	44	10.4	99.4
9	35		

Eingebaute Schicht - 2			
10	32	12.1	97.6
11	40		
12	40	10.5	99.4
13	37		
14	41	11.7	98.0
15	40		
16	39	9.7	100.2
Mittelwerte	37	11.7	98.6
Sollwert / Vorgegebener Bereich	30	10...18	≥ 97
Höchstwerte	44	11.2	100.4
Tiefstwerte	28	13.3	96.3
Vorgegebener Bereich		10...20	≥ 96

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 21.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Es sind nur lokal ein Querriss und einige Längsrisse von geringem Ausmass beobachtet worden.



Teststrecke Prilly / VD, Zustand am 21.10.2015

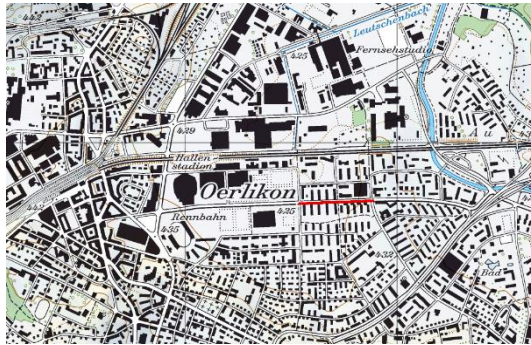
Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 16.2.2011 zwischen TP2 und Gemeinde Prilly
2. Protokoll der Besprechung vom 13.4.2011 zwischen TP2, Gemeinde Prilly und Unternehmung
3. Situationsplan
4. TPL2 – Journal Haupteinbau vom 28.8.2011
5. Laborprüfungen Infralab, November 2011 – Haupteinbau
6. Fotodokumentation

II.15 Zürich-Oerlikon / ZH

Organisatorische Daten	
Bauherr	Stadt Zürich Tiefbauamt, Amtshaus V Werdmühleplatz 3, Postfach, 8021 Zürich
Kontaktperson	Martin Horat Tel.: 044 412 22 70, martin.horat@zuerich.ch
Ortsbezeichnung	Zürich-Oerlikon, Wallisellen Strasse
Koordinaten	536.530 / 154.470
Status	OK, ausgeführt
Technische Daten	
Fläche	2'925 m ²
Länge	315 m
DTV	> 5'000 Fz/Tag
Breite (Mittelwert)	9.74 m
Max Geschwindigkeit	50 km/h
Gefälle	

Termine	
Akustische Ausgangsmessung	
Probereinbau	08.05.2012
Einbau	19.06.2012
1. akustische Belagsgütemessung	September 2012
Schichtaufbau, Mischgutsorten	
Deckschicht	LNA 8 B, 30 mm
Binderschicht	AC B 22 H, 70 mm
Tragschicht	AC T 22 H, 70 mm
Fundationsschicht	Ungeb. Kiesgemisch, 50.0 cm

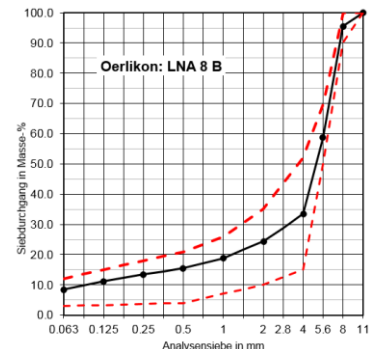


Auszug aus der LK 1:25'000

Einbau auf gesamter Breite

Probereinbau	
Datum und Zeit	08.05.2012, 13 – 15 Uhr
Ort	Zürich, Tramstrasse
Fläche, Länge, Breite	915 m ² , 110 m, 6.90 m
Unternehmung	ARGE TRAWA c/o Brunner Erben AG
Wetter	Sonne, leicht bewölkt, ca. 21°C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 400 g/m ² , am Vormittag, um 7.00 Uhr gespritzt
Haupteinbau	
Datum und Zeit	19.06.2012, 10 – 15 Uhr
Unternehmung	ARGE TRAWA c/o Brunner Erben AG
Wetter	Sonne, leicht bewölkt, ca. 21 °C
Haftvermittler	Bitumenemulsion HCP 50%, 400 g/m ² , am Vormittag, um 7.00 Uhr gespritzt
Etappierung	Einbau auf der gesamten Breite mit Vollsperrung

Mischgut LNA 8 B		Bindemittelsorte: PmB 45/80-65 (CH-E)						
	Charakteristischer Wert	Vorgegebener Bereich	Mittelwerte	Einzelwerte				
Hohlraumgehalt	12%	10%...14%	8.9%	9.0%	8.9%			
Bindemittelgehalt	≥ 6.0%	≥ 6.0%	5.76%	9.4%	8.5%			
				8.8%	9.0%			
				5.76%	5.81%			
				5.69%	5.75%			
				5.73%	5.81%			
Diese Teststrecke weist einen tieferen Hohlraumgehalt als vereinbart auf. Falls die Hohlräume mit der Lärminderung im Zusammenhang stehen, ist ein ungünstigeres Lärmverhalten zu erwarten.								
Siebkurve LNA 8 B – Zürich Oerlikon								
Analyse-Sieb in mm	0.063	0.5	1	2	4	5.6	8	11
Siebdurchgang in Masse %	8.4	15.5	18.8	24.4	33.5	58.6	95.5	100.0



Eingebaute Schicht			
Prüfkörper Nr.	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt [Vol-%]	Verdichtungsgrad [%]
1	25	12.0	96.8
2	37	7.8	101.3
3	33	6.9	102.3
4	27	9.0	99.9
5	33	9.1	99.8
6	49	7.8	101.2
Mittelwerte	34	8.8	100.2
Sollwert / Vorgegebener Bereich	30	10...16	≥ 98
Höchstwerte	49	12.0	102.3
Tiefstwerte	25	6.9	96.6
Vorgegebener Bereich		9...17	≥ 97

Nachbegehung

Die Nachbegehung der Teststrecke erfolgte am 15.10.2015.

Der Zustand des Belages kann als sehr gut bezeichnet werden. Es ist lediglich eine leichte Feuchtigkeit der Oberfläche im Bereich der Fussgänger-Insel zu verzeichnen, die auf eine weniger gute Verdichtung in diesen Bereiche hinweisen könnte.



Teststrecke Oerlikon / ZH, Wallisellenstrasse, Zustand am 15.10.2015

Verzeichnis der Dokumente

1. Protokoll der Besprechung vom 19.12.2011 zwischen TP2 und Kanton Zürich
2. Protokoll der Projektsitzung Nr. 8 vom 26.01.2012 zwischen Stadt Zürich, Unternehmung und TP2
3. Einbaukonzept Unternehmung vom 28.2.2012
4. Journal TPL2 – Probeeinbau vom 8.5.2012
5. Laborprüfbericht Stadt Zürich vom 21.5.2012– Probeeinbau Tramstrasse
6. Journal TPL2 – Haupteinbau vom 19.6.2012
7. Laborprüfbericht Stadt Zürich vom 31.7.2015 – Haupteinbau Wallisellenstrasse
8. Pläne des ausgeführten Bauwerkes

Glossar

Begriff	Bedeutung
AC MR	Rauasphalt
CPX	Close Proximity: Messung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche in Abständen von weniger als der doppelten grössten Abmessung des Reifens, also dem doppelten Durchmesser des Reifens. Messverfahren zur direkten Bestimmung der von der akustischen Belagsgüte beeinflussten Rollgeräusche [1] [10]
DTV	Durchschnittlicher Tagesverkehr
Gestaltfaktor	Formfaktor der Welligkeit. Akustisch günstig sind Oberflächen, die überwiegend konkav sind („breite Berge und schmale Täler“) mit hohen Prozentwerten über 80 %. Einheit: Prozent
IMPACT	I nvestigation M achine for P avement A CousTic Durability
LW	Lastwagen
MPD	Mean Profile Depth
PA	Offenporiger Asphalt
PW	Personenwagen
SDA	Semidichter Asphalt
SN	Schweizer Norm (SN)
SNR	Schweizer Regel (SNR), Gesamtheit normativer Dokumente mit limitiertem Konsens
SPB	S tatistical P ass- B y Measurement: Statistische Vorbeifahrtmessung einzelner Fahrzeuge des fliessenden Verkehrs und Ermittlung eines Einzahlwerts zur Charakterisierung der von der Strasse ausgehenden Schallemissionen anhand einer statistischer Auswertung der Einzelmessergebnisse [1] [9]
SPERoN	Statistical Physical Explanation of Rolling Noise
Stl-86+	Strassenlärmmodell StL-86+: Rechenmodell für Strassenverkehrslärm (Schriftenreihe Umwelt Nr. 60, BUWAL 1987, Korrektur des Grundwertes A=43 in der Mitteilung zur LSV Nr 6, BUWAL 1995)
RMS-Wert	Root Mean Square: Quadratischer Mittelwert der Texturfluktuationen um den Mittelwert. Einheit: mm
Schallabsorptionsgrad	Verhältnis der in der Deckschicht absorbierten Schallintensität zur gesamten auf die Deckschicht einfallenden Schallintensität. Dimensionslose Grösse, deren Wert zwischen 0 und 1 liegen kann.
Strömungswiderstand	Verhältnis der Differenz Δp des Luftdrucks innerhalb eines von Luft durchströmten Volumens und dem umgebenden statischen Luftdruck zu einer gegebenen Strömungsgeschwindigkeit u der Luft. Einheit: Pa s/m
Textur	Geometrische Gestalt der Fahrbahnoberfläche
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA und Bundesamt für Umwelt BAFU (2006), "Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung-, Anhang 1c: Technisches Merkblatt für die Belagsgütemessungen an Strassen" (*Version vom 31.07.2013*).

Normen

- [2] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1984), "Griffigkeit, Bewertung", *SN 640 511b*
- [3] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2013), "Lärmindernde Decken, Grundlagen", *SNR 640 425*
- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2015), "Prüfplan für Walzasphalt, Festlegung der durchzuführenden Prüfungen", *SN 640 434*
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2015), "Semidichtes Mischgut und Deckschichten, Festlegungen, Anforderungen, Konzeption und Ausführung", *SNR 640 436*
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2003), "Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen (EMF), Zustandserhebung und Indexbewertung", *SN 640 925b*
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2013), "Asphaltmischgut, Mischgut-anforderungen - Teil 1: Asphaltbeton", *SN 640 431-1-NA / EN 13108-1*
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2013), "Asphalt, Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 6: Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern", *SN 670 406 / EN 12697-6*
- [9] DIN EN ISO 11819-1:2002-05 (2002), „Akustik – Messung des Einflusses von Strassenoberflächen auf Verkehrsgeräusche – Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren“.
- [10] ISO/DIS 11819-2 (2012), "Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method", Layout zur Durchsicht und Prüfung vom 30.08.2012.

Dokumentation

- [11] Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Umwelt BAFU (2008), «Lärmarme Strassenbeläge innerorts: Schlussbericht 2007»,
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/publikationen/laerm.html>
- [12] Bundesamt für Strassen ASTRA, Bundesamt für Umwelt BAFU (2011), «Lärmarme Strassenbeläge innerorts: Jahresbericht 2010»,
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/publikationen/laerm.html>
- [13] SACR (November 2014); "Forschungsauftrag Monitoring Lärmarme Beläge innerorts – Zustandserfassung der Griffigkeit", Bericht 8373
- [14] SACR (November 2015); "Forschungsauftrag Monitoring Lärmarme Beläge innerorts – Nachmessungen der Griffigkeit", Bericht 8373.2
- [15] P. Rychen, M. Pittet et A.-G. Dumont (Février 2016), « Paquet de recherche : Revêtements peu bruyants / EP1: Formulation des revêtements peu bruyants », Office fédéral des routes OFROU, Projet de recherche OFROU, 2010/010, Rapport 1552.
- [16] C. Angst, P. Bürgisser und T. Beckenbauer (März 2016), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2010/011, Bericht 1559.
- [17] R. Staubli, J. Dreyer und M. Rutsche (September 2013), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts - EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2010/012, Bericht 1559.
- [18] T. Beckenbauer, D. Belcher, G. Kneib und C. Angst (Mai 2016), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2010/013, Bericht 1564.
- [19] T. Beckenbauer, D. Belcher und G. Kneib (Juni 2016), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2010/014, Bericht 1566.
-

-
- [20] T. Sauer, E. Bühlmann und T. Ziegler (April 2016), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP7: Innovative lärmarme Beläge für den Potenziellen Einsatz in der Schweiz », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2013/002, Bericht 1561.
-
- [21] E. Hammer, E. Bühlmann und T. Ziegler (April 2016), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmaßnahmen bei lärmarmen Belägen », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2013/003, Bericht 1560.
-
- [22] G. Kneib, D. Belcher, T. Beckenbauer und N. Radojkovic (Oktober 2017), « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung », Bundesamt für Strassenbau ASTRA, Forschungsprojekt ASTRA 2013/004, Bericht 1616.
-
- [23] E. Bühlmann, P. Bürgisser, T. Ziegler, C. Angst und T. Beckenbauer (1); « Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts / Teilprojekt (TP) 33: Langzeitmonitoring », Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), IMP Bautest AG, Grolimund + Partner AG, Müller-BBM Schweiz AG.
-
- [24] Junod A., Dumont A.-G. (2004) Unterhalt 2000 : Formulation et optimisation des formules d'enrobés. Mandat de recherche OFROU 2000/421-2, n°1143, Berne.
-
- [25] Centre de Recherches routières (1997) Code de bonne pratique pour la formulation des enrobés bitumineux. R 69/97, Bruxelles.
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 19.07.2017

Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA 2010/004
Projekttitel: Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts; Gesamtprojektleitung
Enddatum: 25.04.2017

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Ziele des Forschungspaketes waren, den Einsatz lärmarmen Strassenbeläge zu fördern, einen weiteren Entwicklungsschub zu bewirken und die Akzeptanz gegenüber lärmarmen Belägen zu verbessern, um dadurch mit den betroffenen Strasseneigentümern eine Win-Win-Situation zu erreichen.

Das Forschungspaket war in drei voneinander abhängige Teilprojekte aufgeteilt:

- TP1: Forschung und Innovation
- TP2: Test und Validierung
- TP3: Langzeit Monitoring

Im Rahmen des TP1 wurden 8 Einzelprojekte (EP) bearbeitet:

- EP1: Rezeptierung von Lärmarmen Belägen
- EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Belägen
- EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Belägen innerorts
- EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Belägen
- EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden
- EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den potenziellen Einsatz in der Schweiz
- EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmaßnahmen bei lärmarmen Belägen
- EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Belägen aufgrund der Variabilität bei der Herstellung

Im TP2 wurden 15 Teststrecken mit lärmarmen Belägen gebaut. Mit der Realisierung dieser Teststrecken im Innerortsbereich konnten ergänzend zur Forschung im TP1 konkrete praktische Erfahrungen gewonnen werden. Im TP3 wurden diese Teststrecken dann über einen Zeitraum von 3 bis 5 Jahren messtechnisch (Belag, Akustik) begleitet und dokumentiert.

Der Synthesebericht beinhaltet die vollständigen Ergebnisse des TP2 sowie Kurzfassungen der Teilprojekte TP1 und TP3. Auf der Basis der Erkenntnisse aus den Teilprojekten wurde eine fachliche Synthese mit Empfehlungen für weitergehende Forschungen und für die Normierung erarbeitet.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Das Forschungspaket hat die gesteckten Ziele vollumfänglich erreicht. Im TP1 wurden 8 Einzelprojekte in zwei Forschungsphasen bearbeitet. Im TP2 wurden 15 Teststrecken realisiert, die im TP3 messtechnisch begleitet wurden.

Die Akzeptanz lärmarmen Beläge bei den Strasseneigentümern hat sich im Verlauf des Projektes erheblich verbessert. Dazu hat vor allem auch die Publikation der beiden Regeln SNR 640 425 und SNR 640 436 für semidichte Fahrbahnbeläge beigetragen. Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte konnten fehlende theoretischen Grundlagen und Nachweise erbracht werden.

Andererseits gibt es weiterhin Grenzen des Machbaren, insbesondere bezüglich der Aussagen zur Entwicklung der akustischen Eigenschaften und der Messung einzelner Parameter (z.B. kommunizierende Hohlräume).

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Zusammenarbeit und der Dialog zwischen Akustiker und Belagsspezialist ist eine der wesentlichsten Erkenntnisse aus dem Forschungspaket. Je besser der Akustiker dem Belagsspezialist erklären kann, welche mechanischen Eigenschaften für die akustischen Eigenschaften eines Belages relevant sind und im Gegenzug der Belagsspezialist dem Akustiker erläutert, welche Eigenschaften für die mechanische Dauerhaftigkeit wichtig sind, desto besser ist das Endprodukt: ein lärmarmen dauerhafter Belag.

Nach Abschluss des Forschungspaketes bleibt weiterhin ein Forschungsbedarf offen (Einfluss Oberflächentextur und Hohlräume auf die akustischen Eigenschaften, Dauerhaftigkeit und Bestimmung der Oberflächentextur und Hohlräume, Einfluss der Verdichtung und der Verschmutzung auf die Hohlräume, Unterhaltsmethoden für SDA, etc.).

Publikationen:

EP1: Formulation des revêtements peu bruyants (1552)
EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge (1559)
EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge innerorts (1423)
EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge (1564)
EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden (1566)
EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den potenziellen Einsatz in der Schweiz (1561)
EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmaßnahmen bei lärmarmen Belägen (1560)
EP10: Sensitivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung (.....)

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Bolli

Vorname: Jean-Pierre

Amt, Firma, Institut: Techdata SA, Chemin des Roches 38, 1066 Epalinges

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das Forschungspaket wurde über die gesamte Laufzeit durch die Gesamtprojektleitung GLP-LAB inhaltlich begleitet und administrativ geführt. Forschungsausschreibungen, Abschlüsse der EP's und andere massgebliche Entscheide wurden mit der Begleitkommission abgestimmt. Die Arbeiten der TPL1 und TPL2 wurden geführt und unterstützt.

Am vorliegenden Synthesebericht haben die Teilprojektleiter TPL2 (Inhalte TP2) und TPL1 (Inhalte TP1 und fachliche Synthese) massgeblich mitgewirkt.

Der Synthesebericht dokumentiert sehr gut den aktuellen Kenntnisstand zur Thematik lärmarme Beläge innerorts auf der Basis der im Rahmen des Paketes durchgeführten Forschungen. Er beschreibt die Chancen und Risiken bei der Verwendung lärmarmer Beläge und zeigt zusammenfassend auf, welche Themen und Zusammenhänge zukünftig vertieft untersucht werden sollten.

Umsetzung:

Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Forschungspaket wurden bei der Formulierung der beiden Regeln SNR 640 425 und SNR 640 436 für semidichte Fahrbahnbeläge berücksichtigt.

weitergehender Forschungsbedarf:

Im Synthesebericht sind die Schwerpunkte der weiter zu verfolgenden Forschungsansätze zusammengestellt.

Als massgebliches Ergebnis der Gesamtsynthese ist festzuhalten, dass akustische und belagstechnische Parameter in einem Kontext und nicht isoliert voneinander erforscht werden sollten.

Einfluss auf Normenwerk:

Für die geplante Umsetzung der oben genannten Regeln (SNR) in reguläre Normen können die Ergebnisse des Forschungspaketes eine nützliche Grundlage darstellen.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: *Seiler* Vorname: *Luiza*

Amt, Firma, Institut: *ASTRA*

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/fachleute/weitere-bereiche/forschung/downloads/formulare.html> heruntergeladen werden.