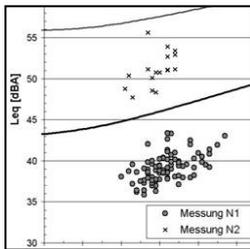
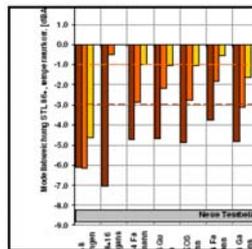
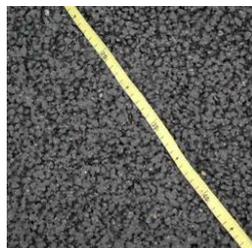
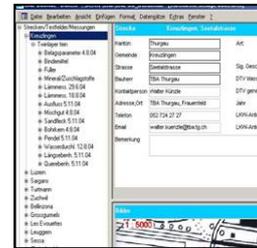


Lärmarme Strassenbeläge innerorts



Schlussbericht 2007



Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

BAFU und ASTRA sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autoren

Angst Christian, Dr. sc. techn., IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen

Beltzung Françoise, Dr. sc., IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen

Bosshardt Dieter, dipl. Bauing. HTL/SIA/usic, Frey + Gnehm Olten AG, Olten

Grolimund Hans-Jörg, dipl. Bauing. ETH/SIA/SGA, Grolimund & Partner AG, Bern

Pestalozzi Hansueli, Dr. phil. nat., Grolimund & Partner AG, Bern

Begleitungskommission

Mariotta Carlo, Präsident Begleitkommission, Präsident FoKo;

Jörg Urs, BAFU, Abt. Lärmbekämpfung; Schquanin Gregor, BAFU, Abt.

Lärmbekämpfung; Beyeler Hans-Peter, ASTRA, Abt. Infrastruktur; Gloor

Hanspeter, Dept. Bau, Verkehr und Umwelt Kt. Aargau, Fachstelle Lärm;

Künzle Walter, Tiefbauamt TG; Levental Mario, Service cantonal de

protection contre le bruit, GE; Dagoni Mauro, Divisione delle costruzioni,

TI; Bosshardt Dieter, Koordination, Frey + Gnehm Olten AG; Schmid

Dieter, Koordination Stv., Neuenburg

Forschungsstellen

Koordination:	Akustik:	Beläge:
Dieter Bosshardt	Hans-Jörg Grolimund	Christian Angst
Frey + Gnehm Olten AG	Grolimund & Partner AG	IMP Bautest AG
Leberngasse 1	Thunstrasse 101a	Hauptstrasse 591
4603 Olten	3006 Bern	4625 Oberbuchsitzen
Tel. 062 206 24 24	Tel. 031 356 20 00	Tel. 062 389 98 99

Zitiervorschlag

Angst Ch., Beltzung F., Bosshardt D., Grolimund H.-J., Pestalozzi H.

2008: Lärmarme Beläge innerorts. Schlussbericht 2007. Bundesamt für

Umwelt und Bundesamt für Strassen, Bern. 119 S.

Gestaltung

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

Download PDF

www.umwelt-schweiz.ch/div-6002-d

(eine gedruckte Fassung ist nicht erhältlich)

Code: DIV-6002-D

> Inhalt

Abstracts	5	3.3	Textur	39	
Vorwort	7	3.3.1	Mittlere Profiltiefe	39	
Zusammenfassung	8	3.3.2	Oberflächentextur	41	
<hr/>					
1	Ausgangslage	13	3.4	Akustik	44
1.1	Problemstellung	13	3.4.1	Vergleich der Belagsakustik der Teststrecken	44
1.2	Zielsetzung und Gegenstand der Forschung	14	3.4.2	Analyse der Lärm-Frequenzspektren	48
1.3	Organisationsstruktur	15	3.5	Zusammenhänge Belagseigenschaften / Lärm	49
1.4	Arbeitsprogramm, Vorgehen	15	3.5.1	Allgemeine Bemerkung	49
1.5	Abgrenzungen	17	3.5.2	Hohlraumgehalt	49
<hr/>					
2	Grundlagen und Vorgehen	18	3.5.3	PA Beläge	51
2.1	Grundlagen	18	3.5.4	AC MR und SPA-Beläge	52
2.2	Definition dauerhaft lärmarmen Beläge	18	3.6	Ergänzende Untersuchungen	53
2.3	Auswahl der Strecken und Testbeläge	21	3.6.1	Temperaturkorrektur (ergänzende Untersuchungen)	53
2.3.1	Auswahl Pilotstrecken	21	3.6.2	Einfluss der Belagsreinigung auf Textur und Lärm (ergänzende Untersuchungen)	56
2.3.2	Auswahl der Testbeläge	22	3.6.3	Zeitfenster der Abnahmemessung (ergänzende Untersuchungen)	58
2.3.3	Auswahl der Baustoffe	23	<hr/>		
2.3.4	Auswahl bestehender lärmarmen Strecken	24	4	Folgerungen	62
2.4	Realisierung	25	4.1	Ausgangslage	62
2.4.1	Realisierte Testbeläge	25	4.2	Empfehlungen für lärmarme Beläge	62
2.4.2	Geografische Verteilung der Teststrecken	26	4.2.1	Semidichte Beläge	63
2.4.3	Qualitätskontrolle	26	4.2.2	PA-Beläge	67
2.5	Mess- und Untersuchungsprogramm	29	4.2.3	Wirtschaftlichkeit	68
2.5.1	Belagstechnische Messungen	30	4.3	Empfehlungen für weitere Untersuchungen	69
2.5.2	Statistische Auswertung des Oberflächenprofils	31	4.3.1	Verlängerung der Beobachtungszeit der eingebauten Testbeläge	69
2.5.3	Akustische Messungen	33	4.3.2	Ergänzung der Untersuchungen mit neuen Strecken	70
2.6	Ergänzende Untersuchungen	35	4.3.3	Untersuchungen zur Optimierung einzelner Parameter:	70
2.6.1	Reinigung der offenporigen Beläge	35	4.3.4	Untersuchung von Belägen mit extremem Verhalten	71
2.6.2	Korrekturfaktor Temperatur	35	4.4	Neue Verfahren und Baustoffe	71
2.6.3	Zeitfenster der Abnahmemessung	35	4.5	Grundlagenforschung	72
2.7	Datenhandling	35	4.6	Ergebnis / Zielerreichung	72
<hr/>					
3	Resultate	36			
3.1	Vorbemerkungen	36			
3.2	Bauliche Aspekte	36			
3.2.1	Baustoffe	36			
3.2.2	Aufbereitung	37			
3.2.3	Einbau	37			

Anhang	73
A1 Statusbericht, wichtigste Aussagen und Ergebnisse	73
A2 Mischgutzusammensetzung	79
A3 Definition der mittleren Profiltiefe	81
A4 Definition des Gestaltfaktors	82
A5 Belagseigenschaften	83
A6 Anfängliche Lärminderung / belagstechnische Eigenschaften	87
A7 Lärminderung / Oberflächenprofil	88
A8 Akustische Belagsgüte für Mischverkehr und für Personenwagen	89
A9 Hydrovac Reinigungsmaschine	91
A10 Wirtschaftlichkeit	93
A11 Datenblätter Teststrecken	95

Verzeichnisse	116
Abbildungen	116
Tabellen	118
Literatur	118

> Abstracts

Over a three-year period, the tyre/road noise and the pavement texture were periodically measured on a series of 21 full-scale sites situated in urban areas with a speed limit of 50 km/h. The study involved a wide range of noise-reducing asphalt mixtures, including semi-dense macro rough asphalt AC MR and porous asphalt PA. It has been shown that the acoustic performance decreases asymptotically as a function of traffic volume. For PA the decrease can be delayed provided the pores do not become clogged by dirt. According to the current results, AC MR shows promising acoustic and structural performance. AC MR test stretches may achieve acoustic lifetimes of up to 10 years depending on the traffic volume.

Während dreier Jahre wurden auf 21 Teststrecken innerorts mit maximal zugelassener Geschwindigkeit von 50 km/h das Rollgeräusch und die Textur der Strassenoberfläche periodisch gemessen. Dabei wurden vor allem semidichte (z. B. Rauasphalt AC MR) und offeneporige PA-Beläge untersucht. Es wurde aufgezeigt, dass die akustische Leistung asymptotisch in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung abnimmt. Beim PA verzögert sich diese Abnahme, solange die Poren nicht verstopft sind. Aufgrund der aktuellen Ergebnisse erweisen sich feinkörnige AC MR als vielversprechend, sowohl in akustischer als auch in bautechnischer Hinsicht. Bei den AC-MR-Teststrecken wird, je nach Verkehrsbelastung, eine akustische Dauerhaftigkeit von bis zu 10 Jahren erwartet.

Un suivi du bruit de contact pneumatique/chaussée et de la texture de surface a été réalisé pendant trois ans sur une série de 21 planches d'essai situées en zone urbaine, où la limitation de vitesse est fixée à 50 km/h. L'étude a porté sur une large gamme de revêtements peu bruyants, notamment des enrobés macrorugueux AC MR à teneur en vides élevée et des enrobés poreux PA. Les résultats montrent que les performances acoustiques diminuent asymptotiquement en fonction du volume de trafic. Dans le cas du PA, la diminution n'est amorcée qu'une fois les pores colmatés. Les performances acoustiques et structurelles des AC MR s'avèrent prometteuses. Ainsi, certaines planches d'essai AC MR pourraient atteindre une durabilité acoustique estimée à 10 ans.

Durante tre anni, per 21 tratti pilota in zona urbana a bassa velocità, limitata a 50 km/h, sono state effettuate misurazioni periodiche delle caratteristiche della pavimentazione e dei relativi valori acustici. Sono state esaminate una vasta gamma di pavimentazioni fonoassorbenti, principalmente di tipo macrorugoso AC MR con elevata percentuale di vuoti residui e di tipo poroso PA. I risultati indicano una diminuzione tendente all'asintote dell'efficacia fonica in funzione del volume di traffico. Per il tipo PA tale effetto inizia dal momento in cui i vuoti residui si sono colmati. Le prestazioni acustiche e strutturali delle pavimentazioni tipo AC MR sono promettenti. Alcuni tratti pilota AC MR potrebbero raggiungere un effetto fonoassorbente della durata fino a 10 anni.

Keywords:

Low-noise road pavements
Acoustic lifetime
Pavement texture
Long-term performance
Urban areas
Low speed

Stichwörter:

Lärmarme Strassenoberflächen
Akustische Dauerhaftigkeit
Belagstextur
Langzeitverhalten
innerorts
Niedrige Geschwindigkeiten

Mots-clés:

Revêtements peu bruyants
Durabilité acoustique
Texture de surface
Performance à long terme
Zone urbaine
Vitesse réduite

Parole chiave:

Pavimentazioni stradali
fonoassorbenti
Risanamento fonico durevole
Caratteristiche delle
pavimentazioni
Efficacia nel lungo periodo
Zona urbana
Bassa velocità

> Vorwort

Das Umweltschutzgesetz gibt als Grundsatz die Begrenzung von Lärmemissionen bei der Quelle vor. Schon früh wurde erkannt, dass die Beschaffenheit des Strassenbelags einen massgeblichen Einfluss auf das Ausmass der Lärmemissionen des Strassenverkehrs hat. Der Einbau eines lärmarmen Strassenbelags stellt eine optimale und sehr wirtschaftliche Massnahme bei der Lärmsanierung von Strassen dar, da damit weder das Ortsbild noch das Landschaftsbild noch die Verkehrssicherheit beeinträchtigt werden.

Ein besonderer Stellenwert kommt den lärmarmen Belägen bei der Lärmsanierung von Strassen in dicht besiedelten Gebieten zu, wo der weitaus grösste Anteil am verbleibenden Sanierungsbedarf besteht. Zudem sind solche Beläge im Innerortsbereich oftmals die einzige strassenseitig realisierbare Massnahme.

Bereits in den 1990er Jahren erteilten deshalb das ASTRA und das damalige BUWAL (heute BAFU) einen ersten gemeinsamen Forschungsauftrag mit dem Ziel, die belagstechnischen und akustischen Grundlagen von lärmarmen Strassenbelägen aufzubereiten. Während zwischenzeitlich für Beläge im Hochgeschwindigkeitsbereich klare Vorgaben für deren Einsatz als Massnahme bei Lärmsanierungen geschaffen wurden, fehlten bisher für Beläge im Innerortsbereich gesicherte Grundlagen.

Im Jahre 2003 initiierten die beiden Bundesämter deshalb ein Folgeprojekt mit der Zielsetzung, dauerhaft lärmarme und wirtschaftlich tragbare Beläge für den Innerortsbereich unter Einbezug des internationalen Standes der Forschung zu entwickeln.

Die im vorliegenden Schlussbericht zusammengestellten Ergebnisse der vierjährigen Forschungsarbeit sind vielversprechend. Es werden konkrete praxisrelevante Hinweise für die Auswahl bestimmter Mischgutsorten und für deren Einbau gemacht. Befolgt der Strasseneigentümer diese Empfehlungen, so leistet er einen wesentlichen Beitrag zur Lärmsanierung der Strassen innerorts.

Unser Dank gilt allen beteiligten Kantonen, die sich im Rahmen dieses Forschungsprojekts bereit erklärt haben, Streckenabschnitte als Teststrecken zur Verfügung zu stellen.

Die Weiterentwicklung lärmarmen Beläge wird europaweit vorangetrieben. Schweizseitig beabsichtigen die beiden Ämter, mittels eines Forschungs- und Anreizprogramms und unter Einbezug aller interessierten Kreise den verbreiteten Einsatz lärmarmen Beläge zukünftig gezielt zu fördern, um insbesondere den heutigen Erkenntnisstand hinsichtlich des Langzeitverhaltens solcher Beläge weiter zu vertiefen.

Dr. Bruno Oberle
Direktor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Dr. Rudolf Dieterle
Direktor
Bundesamt für Strassen (ASTRA)

> Zusammenfassung

Forschungsziele

Gegenstand des vom ASTRA und vom BUWAL (heute BAFU) im Jahr 2003 gemeinsam lancierten Forschungsauftrags ist es, die verschiedenen Einflussgrössen lärmarmer Innerortsbeläge an neu zu erstellenden und bereits vorhandenen Testbelägen zu untersuchen. Daraus können gesicherte Erkenntnisse für dauerhafte und wirtschaftlich tragbare lärmarme Innerortsbeläge gewonnen werden. Erste Empfehlungen sollen dabei helfen, ihre Anwendung zu fördern.

Aufgabe

Innerortsbeläge gelten als lärmarm, wenn sie für den Mischverkehr eine Anfangslärminderung von mindestens -3 dBA gegenüber dem Modell STL 86+ aufweisen und über ihre Nutzungsdauer mindestens -1 dBA Lärminderung beibehalten.

dauerhaft lärmarm

Das Ziel ist, lärmarme Innerortsbeläge zu entwickeln, deren lärmindernde Eigenschaften über eine wirtschaftlich tragbare Gebrauchsdauer erhalten bleiben.

Zielsetzung

Den Strasseneigentümern soll damit zukünftig eine angemessene Lärmsanierungsmassnahme zur Verfügung stehen.

Anwendung für Lärmsanierung

Vorgehen

In verschiedenen Kantonen wurden 12 neue lärmarme Testbeläge eingebaut. Um die Einhaltung der festgelegten Sollwerte der Mischgutzusammensetzung und des Belageinbaus sicherzustellen, wurden bei jedem neuen Testbelag umfangreiche Qualitätssicherungsmassnahmen umgesetzt. Zudem sind 9 weitere, bereits bestehende lärmarme Beläge evaluiert und in das Untersuchungsprogramm einbezogen worden.

Auswahl Beläge

Sämtliche Beläge wurden messtechnisch begleitet, die Ergebnisse in einer Datenbank erfasst und die akustischen und die belagstechnischen Kennwerte miteinander korreliert.

Datenbank

Im Rahmen einer Erstmessung im Herbst 2004 wurden an allen Testbelägen Lärmmessungen und an den neuen Testbelägen Bohrkernuntersuchungen, die Griffigkeit, die Ebenheit sowie die mittlere Profiltiefe MPD mit einem Laser-Profilometer bestimmt. Für die bestehenden Testbeläge wurden, falls vorhanden, die Prüfwerte aus externen Quellen übernommen. Die periodischen technischen und akustischen Messungen der akustischen Belagsgüte der über die ganze Schweiz verteilten Teststrecken wurden im Zeitraum 2004 bis 2007 durchgeführt.

Untersuchungen und Messungen

Zusätzlich wurden die Auswirkungen auf die Lärminderung durch eine Belagsreinigung, die Verifizierung der Annahmen für die Temperaturkorrektur bei den Lärmmessungen sowie die Textur- und Lärmveränderungen in den ersten 6 Monaten nach dem Belagseinbau untersucht.

Zusatzuntersuchungen

Während der Forschungsarbeit wurden laufend die neuesten internationalen Erkenntnisse über lärmarme Beläge aufgearbeitet und in die Untersuchungen eingebunden.

Erfahrungen im Ausland

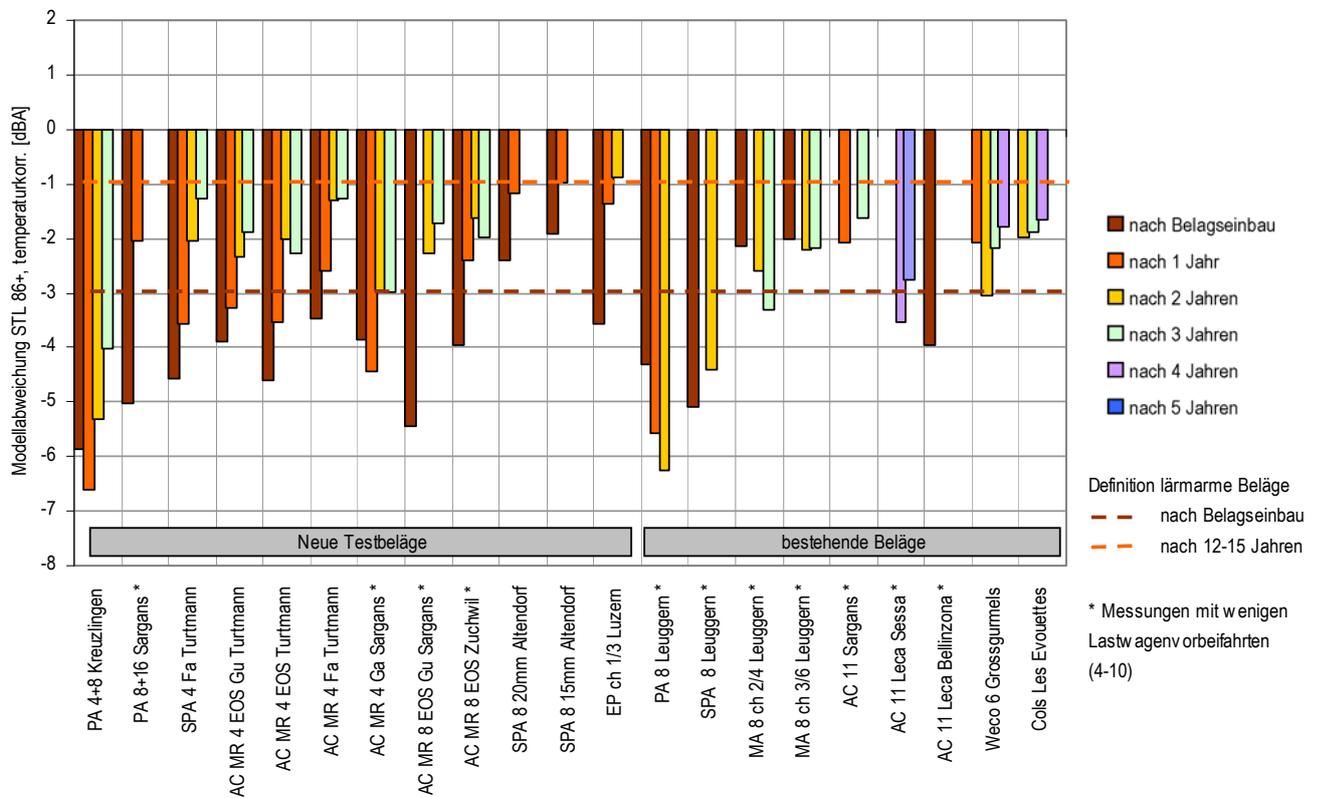
Ergebnisse

Die akustische Belagsgüte ist in den Abb. A und B für den Mischverkehr unter Annahme eines Lastwagenanteils von 8 % dargestellt und wird mit der Definition lärmarmen Beläge verglichen.

Belagsgüte für Mischverkehr

Abb. A > Akustische Belagsgüte bei Mischverkehr

Resultate der Messkampagnen 2004 bis 2007. Die Werte zeigen die Abweichung vom Modell StL-86+, welches von einem durchschnittlichen, akustisch neutralen Asphaltbelag ausgeht. Berechnet wurden die Abweichungen für einen Verkehrsmix mit einem Anteil von 8 % Lastwagen am Gesamtverkehr. Messungen mit weniger als 4 Lastwagenvorbeifahrten sind nicht dargestellt.



* Messungen mit wenigen Lastwagenvorbeifahrten (4-10)

Es zeigt sich, dass die Testbeläge nach 3 Jahren die Kriterien für lärmarme Beläge vorläufig erfüllen, nämlich eine Anfangslärminderung von -3 dBA und eine minimale akustische Langzeitwirkung von -1 dBA. Ausnahmen bilden der abgestreute (konvexe) EP-Belag in Luzern und die SPA-8-Beläge in Altendorf.

Beurteilung nach 3 Jahren

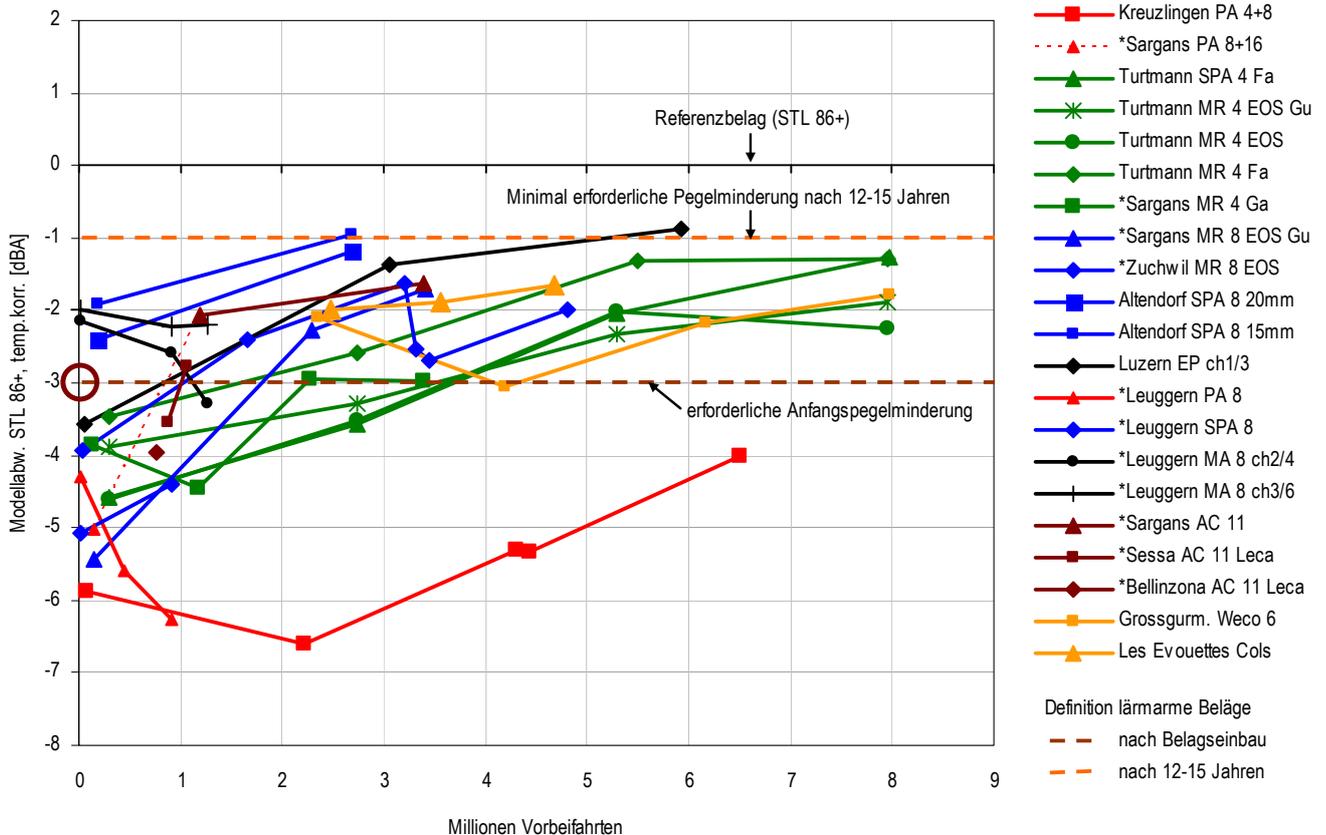
Um die akustische Langzeitwirkung zu beurteilen, muss das Verhalten der Beläge unter Verkehrsbelastung geprüft werden.

Anfangslärminderung und Langzeitverhalten

Die Abb. B zeigt eine erwartete, anfänglich auch bedeutende Minderung der akustischen Belagsgüte. Zuversichtlich stimmt das Abklingen dieses Vorganges und die Annäherung an die asymptotischen Werte unterhalb der -1-dBA-Grenze.

Abb. B > Akustische Belagsgüte für Mischverkehr

Die akustische Belagsgüte der Testbeläge für Mischverkehr mit einem Lastwagenanteil von 8%, dargestellt in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung. Teststrecken mit einem Stern (*) basieren auf weniger als 10 Lastwagenvorbeifahrten pro Messung. Messungen mit weniger als 4 Lastwagenvorbeifahrten sind nicht dargestellt.



Es zeigt sich, dass Testbeläge mit einem Grösstkorn von 4 mm akustisch vielversprechend sind.

4-mm-Korngrösse

Eine Korrelation zwischen den Belageigenschaften und der akustischen Belagsgüte ist durch den Hohlraumgehalt festzustellen. Je hohlraumreicher ein Belag ist, desto höher ist seine Lärminderung.

Korrelation Hohlraum/Lärm

Empfehlungen

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich für den Innerortsbereich folgende Empfehlungen für die Wahl der Mischgutsorte ableiten:

AC-MR-Beläge

Bewährte Lösung mit guten akustischen Eigenschaften:

Normiertes Mischgut:

AC MR 4 oder AC MR 8 gemäss SN 640 431-1b-NA

(gültig ab 01.02.2008) mit einem Hohlraumgehalt von 6 bis 10 Vol.-%

Erfolg versprechende Lösung mit hohem Potenzial für sehr gute akustische Eigenschaften:

Nicht normiertes Mischgut:

AC MR 4 oder AC MR 8 mit erhöhtem Hohlraumgehalt von 10 bis 13 Vol.-%.

Empfohlene Beläge

Die Wahl einer grösseren Korngrösse (ab 4 bis 8 mm) bietet für eine belagstechnisch dauerhaftere Lösung Gewähr.

Die Aufbereitung von sehr feinkörnigen Belägen mit Ausfallkörnung wie dem AC MR 0/4 oder dem PA 0/4 ist heikel, aber machbar. Es sind hohe Anforderungen an die Regelmässigkeit der Korngrössenverteilung des Splittes 2/4 zu stellen.

Aufbereitung

Die Verwendung von Thermosilos für Transporter ist nicht nur bei grossen Distanzen zu empfehlen. 4er-Beläge kühlen sehr rasch ab. Sie müssen daher in Thermosilos transportiert und unmittelbar hinter dem Fertiger sofort mit Glattmantelwalzen ohne Vibration verdichtet werden. Da die Textur der Oberfläche des neu eingebauten Belages eine sehr grosse Rolle spielt, sollte die Verdichtung des Belages mit möglichst wenigen Überrollungen der Walzen erreicht werden. Konventionelle Verdichtungskontrollen beispielsweise mittels Isotopensonde sind infolge der geringen Schichtdicken der Beläge nicht anwendbar.

Verdichtung und Textur

Es sind erhöhte Anforderungen an die Ebenheit der Unterlage zu stellen.

Eine erste oberflächentechnische und akustische Abnahmemessung eines Belags sollte erst 3 Monate nach dem Einbau des Belags erfolgen.

Akustische Abnahme

PA-Beläge

Erwartungsgemäss sind die untersuchten PA-Beläge – auch innerorts – den dichten Belägen aus akustischer Sicht deutlich überlegen.

PA-Beläge

PA-Beläge stellen aber hohe Anforderungen an den Einbau und sind teurer als dichte/semidichte Beläge. Sie reagieren empfindlich auf Scherbeanspruchungen (Ketten, Kreuzungen, intensive Ein- und Ausfahrten, Kreisel), weisen daher ein erhöhtes Risiko in Bezug auf die Nutzungsdauer auf (Kornverluste) und bedürfen auch eines speziellen Unterhalts (Winterdienst, Reinigung). Das Beispiel in Kreuzlingen hat anfänglich vielversprechende Ergebnisse gezeigt. Aus diesem Grund dürften sich weitere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen lohnen.

Einschränkungen für PA-Beläge

Wirtschaftlichkeit

Mit lärmarmen Belägen können die Gesamtkosten für die an den bestehenden Hauptstrassen und an den übrigen Strassen noch verbleibenden Lärmsanierungen von ca. 1,7 Milliarden Franken drastisch reduziert werden. In städtischen Gebieten mit einem hohen Anteil an Schallschutzfenstern ist das Sparpotenzial mit ca. 35% am grössten. Aber auch in städtischen Gebieten mit einem durchschnittlichen Anteil an Schallschutzfenstern ist das Potenzial mit 20 bis 25% noch sehr hoch. Selbst in halb-städtischen Gebieten ist die Wirtschaftlichkeit lärmarmen Beläge praktisch immer gegeben.

Sparpotenzial

Lärmarme Beläge stellen in städtischen Bereichen mit hohem Anteil an Schallschutzfenstern die einzige anwendbare Lösung dar.

Lärmarme Beläge reduzieren aber nicht nur die Kosten der baulichen Sanierungsmassnahmen, sie generieren auch einen volkswirtschaftlichen Nutzen in Milliardenhöhe.

Volkswirtschaftlicher Nutzen

1 > Ausgangslage

1.1 Problemstellung

Gestützt auf das Umweltschutzgesetz (USG) vom 7. Oktober 1983 und die Lärmschutzverordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986 haben ASTRA und BAFU gemeinsam einen «Leitfaden Strassenlärm» [1] für den Vollzug des Lärmschutzes an Strassen publiziert. Dieser regelt die Rahmenbedingungen für den Vollzug und legt die Grundsätze für die Lärmsanierung bestehender Strassen fest. Gefordert wird u.a. der vermehrte Einsatz lärmarmen Strassenbeläge, um die fristgerechte Lärmsanierung bis zum Jahr 2018 zu ermöglichen.

Rechtsgrundlage
Leitfaden Strassenlärm

Als emissionsbegrenzende Massnahme kommt lärmarmen Strassenbelägen sowohl im Sinne der Vorsorge als auch bei der lärmtechnischen Sanierung von Strassen hohe Priorität zu. Sie stellen eine der wenigen, praktisch überall einsetzbaren Lärmschutzmassnahmen dar und beeinflussen weder die Verkehrssicherheit noch das Ortsbild. Hinzu kommt, dass ihre Wirkung nicht nur gezielt auf Bereiche (wie bei Lärmschutzwänden) oder einzelne Wohnräume (wie bei Schallschutzfenstern) begrenzt ist, sondern den Siedlungsraum integral schützen.

Bedeutung

Den Belägen kommt auch aus wirtschaftlicher Sicht grosse Bedeutung zu. Jüngste Erhebungen zeigen, dass der gesamtschweizerisch verbleibende Aufwand für die Lärmsanierung an Haupt- und übrigen Strassen, welche bis 2018 realisiert werden muss, ca. 1,745 Mia. Franken [2] beträgt. Durch Verminderung der Emissionen an der Quelle mit einem gegenüber dem Referenzbelag um 3 dBA leiseren Belag, können diese Kosten wesentlich reduziert werden. Das Sparpotential für Haupt- und übrige Strassen liegt dadurch in der Grössenordnung von einigen hundert Millionen.

Wirtschaftlicher Aspekt
Sparpotential

Für die stark und mit hohen Geschwindigkeiten befahrenen Strassen (Autobahnen) sind die technischen Möglichkeiten für lärmarme Beläge weitgehend bekannt. Auch für die Innerortsstrecken stehen grundsätzlich entsprechende Lösungen zur Verfügung, aber gewisse Mängelercheinungen haben einige Skepsis gegenüber ihrer Anwendung aufkommen lassen. Es müssen daher verlässlichere Grundlagen sowohl auf akustischer als auch auf belagstechnischer Seite erarbeitet werden, damit der lärmarme Belag als Sanierungsmassnahme sachgerecht in die Planung und Projektierung mit einbezogen werden kann.

Handlungsbedarf

1.2

Zielsetzung und Gegenstand der Forschung

Das Hauptproblem lärmarmen Innerortsbeläge ist ihr akustisches Langzeitverhalten. Messungen zeigen, dass Anfangs-Pegelreduktionen von 3 dBA und mehr gegenüber einem durchschnittlichen Asphaltbelag (Referenzbelag) durchaus möglich sind. Nach wenigen Jahren verlieren die Beläge aber ihre guten akustischen Eigenschaften. Die Gründe dafür liegen hauptsächlich in Veränderungen der anfänglich günstigen Oberflächenstrukturen durch mechanische und thermische Beanspruchungen sowie die Verschmutzung.

dauerhaft lärmarm

Das Ziel ist deshalb, lärmarme Innerortsbeläge zu fördern deren lärmindernde Eigenschaften über eine wirtschaftlich tragbare Gebrauchsdauer erhalten bleiben.

Zielsetzung

Dies ist die wesentliche Voraussetzung dafür, dass die Strasseneigentümer zukünftig eine breite Anwendung dieser Beläge als Lärmsanierungsmassnahme ins Auge fassen werden.

Gegenstand des von ASTRA und BUWAL (heute BAFU) im Jahr 2003 gemeinsam lancierten Forschungsauftrags ist es, die verschiedenen Einflussgrössen lärmarmen Innerortsbeläge an neu zu erstellenden und bereits vorhandenen Testbelägen zu untersuchen und daraus gesicherte Erkenntnisse für dauerhaft lärmarme Innerortsbeläge zu gewinnen.

Zu diesem Zweck wurden in verschiedenen Kantonen 12 neue lärmarme Testbeläge eingebaut. Zudem wurden 9 weitere, von den Kantonen vorgeschlagene, bereits bestehende lärmarme Beläge evaluiert und in das Untersuchungsprogramm einbezogen. Sämtliche Beläge wurden messtechnisch begleitet, die Ergebnisse in einer Datenbank erfasst und die akustischen und die belagstechnischen Kennwerte miteinander korreliert. Über die Erkenntnisse im Sinne der Zielsetzungen wurde jährlich informiert und nach 3 ½ Jahren der vorliegende Schlussbericht 2007 verfasst.

Projektbeschrieb

Die Arbeiten wurden von Anfang an auf möglichst viele Lärmschutz-Verantwortliche ausgerichtet, um so das Know-how und Interesse an lärmarmen Belägen zu fördern und zu unterstützen. Dazu wurden alle Kantone frühzeitig in die Arbeiten miteinbezogen bzw. über neue Erkenntnisse informiert. Die Untersuchungen wurden nicht im Labor, sondern an möglichst repräsentativen Innerortsstrecken und unter normalen Verkehrsverhältnissen durchgeführt.

Rahmenbedingungen

Um die Interessen der Bauherren zu wahren und um ihre Akzeptanz gegenüber lärmarmen Belägen zu erhöhen, wurden nur Beläge mit geringem Risiko eingebaut. Neue Belagstypen mit Entwicklungscharakter, auch wenn viel versprechend, aber noch ohne hinreichenden Nachweis der Praxistauglichkeit, wurden in dieser Untersuchung ausgeschlossen. Die Belagwahl beschränkte sich somit auf normierte Beläge oder auf Beläge mit weitgehend bekannter Technologie.

Keine Experimente

1.3 Organisationsstruktur

Der Forschungsauftrag wurde vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) und vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) gemeinsam an eine Forschungsstelle erteilt. Sie setzt sich aus folgenden arbeits- und fachbereichsverantwortlichen Büros zusammen:

- > Koordination: Frey & Gnehm AG, Olten
- > Akustik: Grolimund & Partner AG, Bern
- > Beläge: IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen

Die Projektleitung wurde durch eine Begleitkommission wahrgenommen, welche sich aus Vertretern der beiden oben aufgeführten Bundesämter und aus Belags- und/oder Akustikspezialisten von mehreren Kantonen zusammensetzte. Ihre Aufgabe war die fachspezifische Beratung der Forschungsstelle sowie die Kontrolle und Genehmigung der Forschungstätigkeit und deren Berichterstattung.

1.4 Arbeitsprogramm, Vorgehen

Aufgrund der Erkenntnisse einer umfangreichen Literaturrecherche und der Erfahrungen der Kantone mit lärmarmen Belägen (Statusbericht 2003 [3]) wurden 12 Belagstypen definiert und auf neuen Teststrecken eingebaut. Zusätzlich wurden 9 bestehende lärmarme Beläge in die Untersuchungen miteinbezogen. Die neuen Teststrecken befinden sich im Innerortsbereich (Tempo 50 km/h) mit mittleren bis hohen Verkehrsbelastungen. Die bestehenden Beläge befinden sich sowohl im Inner- wie im Ausserortsbereich und weisen sehr unterschiedliche Verkehrsbelastungen auf.

Tätigkeiten

Die gewählten Belagstypen bewegen sich innerhalb der geltenden Normen oder im Rahmen langjähriger Erfahrungen. Neben zwei offenporigen Twinlayer-Belägen wurden feinkörnige dichte Beläge vom Typ AC MR und SPA eingebaut sowie eine sehr feinkörnige Abstreuerung mit Epoxydharz «Whisper-Grip» getestet (Tab. 3). Zur Verbesserung der akustischen Langlebigkeit der Beläge wurden durchwegs polymermodifizierte Bindemittel sowie verschiedene Materialien wie Elektroofenschlacke (EOS), Gummigranulat sowie ausgewählte Provenienzen der Gesteinskörnungen (Famsa, Gasperini) verwendet.

An allen Teststrecken wurden seit 2004 jährlich technische und akustische Belagsgütemessungen durchgeführt. Im Jahr 2006 sind im Rahmen von Ergänzungsuntersuchungen zusätzlich drei Sonderaspekte untersucht worden:

- > Einfluss der Belagsreinigung auf die Lärmemission
- > Zeitfenster für Abnahmemessungen nach dem Belagseinbau
- > Einfluss der Belagstemperatur auf die Lärmemission

Die durchzuführenden Untersuchungen gliederten sich in folgenden Teilarbeiten:

Arbeitsprogramm

Erhebung und Analyse des aktuell verfügbaren Grundlagenwissens zu lärmarmen Belägen im Innerortsbereich. Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Statusbericht, mit Empfehlungen für den Bau und die messtechnische Begleitung lärmarmer Innerortsbeläge. [3]

Auswahl von Strassenabschnitten in Zusammenarbeit mit den Kantonen

- a) von Strecken für den Einbau neuer Testbeläge
- b) von bereits seit längerem bestehenden lärmarmen Belägen

2004 Evaluation und begleiteter Einbau von 10 neuen Testbelägen auf insgesamt 6 Strecken

2005 Einbau von 2 neuen Dünnschicht-Testbelägen auf der Pilotstrecke Altdorf.

2004–07 Überwachung der neuen Teststrecken und der bestehenden lärmarmen Beläge mit periodischen belagstechnischen und akustischen Messungen. Jährliche Auswertung der Messungen, Zusammenfassung und Publikation der Ergebnisse [4].

Ergänzende Untersuchungen zu Fragen der Belagsreinigung und des Temperatureinflusses auf das akustische Verhalten der Beläge, sowie zur Frage des für akustische Abnahmemessungen geeigneten Zeitpunktes.

2007 Gesamtauswertung der durchgeführten Untersuchungen. Zusammenfassung der Ergebnisse in einem Schlussbericht 2007, mit Empfehlungen für den Einbau lärmarmer Beläge und Hinweisen für die Weiterführung der Untersuchungen

1.5

Abgrenzungen

Das vorliegende Projekt konzentrierte sich auf die Optimierung der Fahrbahneigenschaften, obwohl das Reifen-Fahrbahn-Geräusch nicht nur vom Strassenbelag, sondern auch von den Reifeneigenschaften bestimmt wird.

Im Rahmen des Projekts wurden keine neuen Messmethoden entwickelt. Die Messungen erfolgten mit bestehenden, gut etablierten Methoden.

Betonbeläge wurden nicht näher untersucht, da sie sich als zu wenig lärmindernd erwiesen haben. Die akustisch günstigsten Betonbeläge sind in ihrem akustischen Verhalten vergleichbar mit durchschnittlichen Asphaltbelägen [5].

Das vorliegende Projekt behandelt den Innerortsbereich mit gefahrenen Geschwindigkeiten unter 60 km/h. Viele interessante internationale Untersuchungen wurden bei höheren Geschwindigkeiten durchgeführt. Soweit dieses sinngemäss auf den Innerortsbereich übertragen werden können und vergleichbare Angaben für den Innerortsbereich fehlen, sind deren Ergebnisse ebenfalls aufgeführt.

2 > Grundlagen und Vorgehen

2.1 Grundlagen

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde in einem ersten Schritt ein «Statusbericht» [3] erstellt, in welchem die Grundlagen für lärmarme Strassenbeläge im Innerortsbereich zusammengestellt wurden. Mit umfangreichen Literaturrecherchen, Interviews sowie mittels Umfragen bei den Kantonen und bei Belagsbauunternehmen wurden die in- und ausländischen Erfahrungen zusammengetragen und analysiert. Daraus wurden die Anforderungen für die neu einzubauenden Beläge im Forschungsprojekt abgeleitet. Zum besseren Verständnis des vorliegenden Berichtes wurden im Anhang 1 folgende Punkte aus dem Statusbericht aufgeführt:

Statusbericht

- > Entstehung Reifen-Fahrbahn-Geräusch
- > Dauerhaftigkeit, Erfahrungen der Kantone
- > Parameter für die Erstellung von lärmarmen Belägen im Innerortsbereich
- > Parameter für die Dauerhaftigkeit der Lärmreduktion

Zusammenstellung
der Grundlagen

2.2 Definition dauerhaft lärmarmen Beläge

Im Bericht aus dem Jahr 2002 «Lärmarme bituminöse Strassenbeläge inner- und ausserorts» des BUWAL/ASTRA [6] wurden Innerortsbeläge als lärmarm definiert, wenn sie für den Mischverkehr eine Anfangslärmreduktion von mindestens -3 dBA gegenüber dem Referenzbelag gemäss Modell STL 86+ aufweisen. Sie gelten als lärmarm, so lange sie mindestens -1 dBA Lärmreduktion aufweisen (Abb. 1).

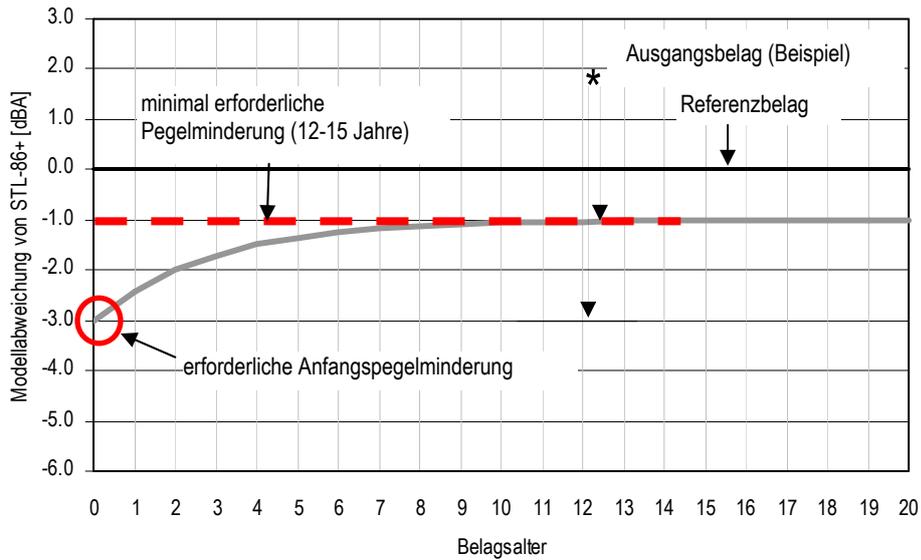
Definition «dauerhaft lärmarm»

Das Forschungsprojekt geht von diesen Anforderungen aus. Ziel des Forschungsauftrags ist eine Empfehlung, die es erlaubt, innerhalb des Nutzungszyklus eines Belags von 12–15 Jahren durch belagsseitige Massnahmen eine zuverlässige Pegelreduktion im Vergleich zu heute üblichen Standardbelägen zu erreichen. Im Vordergrund stehen das Lärmschutzziel und die Wirtschaftlichkeit der Massnahme, nicht der Belag selbst.

Die im konkreten Einzelfall durch einen lärmarmen Belag erreichbare Pegelminderung ist vom bestehenden Ausgangsbelag abhängig. Ist dieser z. B. $+2$ dBA lauter als der Referenzbelag des STL86+, so beträgt die Lärmreduktion gegenüber der Ausgangssituation -5 dBA, die langfristige Lärmreduktion ca. -3 dBA.

Abb. 1 > Definition dauerhaft lärmarmen Beläge im Innerortsbereich

Ein Belag ist dauerhaft lärmarm, wenn er eine Anfangspegelminderung von mindestens -3 dBA und über die ganze Dauer von 12–15 Jahren immer eine Pegelminderung von mindestens -1 dBA aufweist.



Quelle: Statusbericht 2003, BUWAL/ASTRA 2004

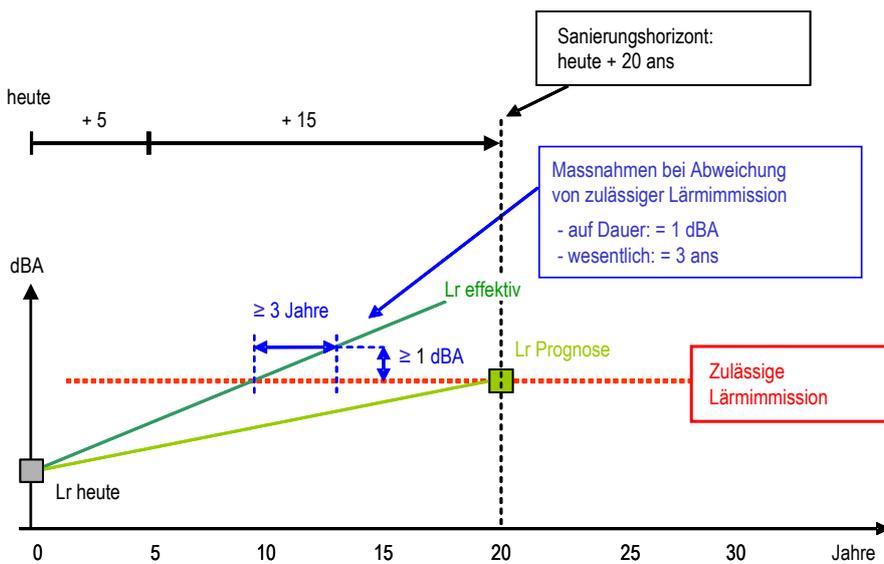
Die praktische Handhabung von lärmarmen Belägen im Rahmen der Strassenlärm- sanierung ist im Leitfaden Strassenlärm des ASTRA/BAFU [1] geregelt. Dieses sieht vor, dass die Vollzugsbehörde die notwendigen Massnahmen trifft, wenn die effektiven Lärmimmissionen auf Dauer und wesentlich von den im Sanierungsprojekt ausgewie- senen Lärmimmissionen abweichen.

Vorgaben des Leitfadens

Danach muss die Wirksamkeit von Belägen mit einem schalltechnischen Monitoring überwacht werden. Bei auf Dauer (über 3 Jahre) und wesentlicher Überschreitung (+1 dBA) der im Sanierungsentscheid festgesetzten zulässigen Belastungen, trifft die Vollzugsbehörde die notwendigen Massnahmen (Abb. 2).

Abb. 2 > Neue Sanierungsstrategie

Die Lärmsanierung wird auf einen Horizont von +20 Jahren ausgelegt. Mit dem Sanierungsentscheid werden die maximal zulässigen Lärmimmissionen festgelegt. Weichen die Lärmbelastungen auf Dauer wesentlich davon ab, sind die notwendigen Massnahmen zu treffen.



Datenquelle: BAFU Abteilung Lärmbekämpfung

2.3 Auswahl der Strecken und Testbeläge

2.3.1 Auswahl Pilotstrecken

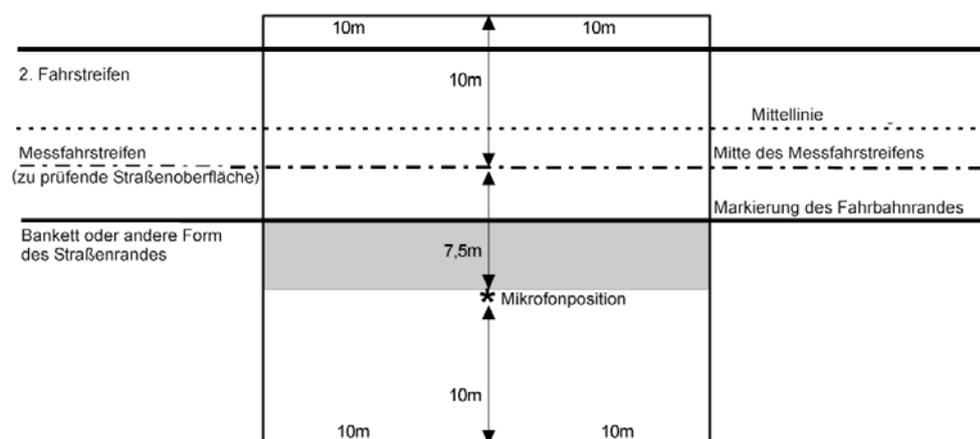
Mit einer Umfrage wurden sämtliche Kantone eingeladen geeignete Objekte zu melden. Obwohl nur eine beschränkte Anzahl Kantone antwortete, konnten genügend Strecken begutachtet werden. Für sämtliche Pilotstrecken musste ein Lärmsanierungsprogramm gemäss USG/LSV vorliegen. Die Strecken liegen somit alle in Bereichen mit übermässigen Lärmimmissionen.

Aufgrund von Begehungen sowie der festgelegten Auswahlkriterien (siehe unten) wurden 7 geeignete Strecken ausgewählt, auf denen insgesamt 12 neue Testbeläge eingebaut wurden. Zudem wurden 9 bestehende Testbeläge in die Beobachtung mit einbezogen.

Alle Strecken mit neuen Testbelägen befinden sich im Innerortsbereich mit einer vorgegebenen maximalen Geschwindigkeit von 50 km/h. Die geeigneten Strecken erfüllen sämtliche Kriterien für die Lärmmessungsmethode der Norm ISO 11819-1. Vorgeschrieben wurden Längsgefälle < 3 %, Mindestlängen von 100 m, möglichst gerade Linienführungen, das Vorhandensein eines 20 m langen Bereichs innerhalb dessen keine schallreflektierende Objekte die Messung stören könnten (Abb. 3). Zudem wurde eine minimale Verkehrsmenge DTV von > 5000 Fz/Tag gefordert, damit die Lärmmessungen innerhalb einer vernünftigen Zeitspanne durchgeführt werden konnten, und damit eine gewisse Beanspruchung des Belags gewährleistet war. Eine maximale Höhenlage von 600 m wurde festgelegt, um klimatische Schwankungen zu begrenzen. Es wurde auch mit den Behörden vereinbart, dass während der Zeitspanne der Messungen d.h. während mindestens 5 Jahre auf der Teststrecke kein geplanter baulicher Unterhalt erfolgen darf (Flicke, Reparaturen, Leitungsgräben, usw.).

Abb. 3 > Messanordnung für die akustische Messung SPB

Innerhalb des Rechtecks müssen allfällige schallreflektierende Objekte mit absorbierendem Material abgedeckt werden. Im Bereich zwischen Mikrophon und Messfahrstreifen dürfen keine abschirmenden Schutzplanken oder Schutzwände vorhanden sein.



Auswahl Pilotstrecken

Eigenschaften / Anforderungen

Anforderungen
an die Messanordnung

2.3.2 Auswahl der Tetsbeläge

Bei der Auswahl der Testbeläge wurde folgenden Parametern eine grosse Bedeutung beigemessen:

Hauptkriterien Testbeläge

- > Kleines Grösstkorn
- > Konkave Oberflächen
- > Elastizität der Bindemittel
- > Offenporigkeit

Anhand dieser Parameter wurden, analog zum Statusbericht, diejenigen Beläge ausgewählt, bei denen günstige akustische Eigenschaften erwartet werden konnten. Es wurden vorwiegend feinkörnige Dünnschicht-Beläge ausgewählt (Wahl der Baustoffe sowie Mischgutzusammensetzung siehe Anhang A2).

Auswahl Test-Beläge

Für jeden Testbelag wurden Zielvorstellungen für die Kennwerte und für die Wasserdurchlässigkeit definiert (Tab.1). Die Ergebnisse der aus den eingebauten Belägen entnommenen Bohrkern wurden anhand dieser Anforderungen beurteilt.

Für den PA 8 liegt die geforderte minimale Wasserdurchlässigkeit bei 13 l/min (als Einzelwert) und bei 15 l/min (als Mittelwert). Für den PA 4 hat die SN 640 430a keine Werte festgelegt. Die eingebauten Beläge wurden anhand dieser Anforderungen beurteilt.

Tab. 1 > Anforderungen nach SN 640 430 a und Zielvorstellungen

Anforderungen an Testbeläge

*Die Norm SN 640 430a wurde im Dezember 2003 genehmigt.
Die massgeblichen Zielwerte für die Testbeläge sind zum Teil nicht normiert.*

Deckschicht	Schichtdicke [mm]		Verdichtungsgrad [%] Mittelwert		Hohraumgehalt [%] Mittelwert	
	SN	Ziel-Wert	SN	Ziel-Wert	SN	Ziel-Wert
PA 4	*	10	*	≥ 98	*	21-27
PA 8	25-35	25 und 30	≥ 98	≥ 98	21-27	21-27
PA B 16	40-80	45	≥ 98	≥ 97	21-27	21-27
SPA 4	*	10	*	≥ 98	*	6,5-8,5
SPA 8	*	15 und 20	*		*	
AC MR 4	*	10	*	≥ 98	*	5-9
AC MR 8	20-30	25	≥ 98	≥ 98	3-8	6,5-9

* die Bauweise ist nicht normiert

2.3.3 Auswahl der Baustoffe

Für geschlossene Beläge wurden Gesteinskörnungen mit einem erhöhten Polierwiderstand gewählt (Provenienz FAMSA und Gasperini bzw. EOS). Für die offenporigen Beläge wurde normkonformes Material aus Kiesgruben (Walliswil, Hagerbach) verwendet

Erhöhter Polierwiderstand

Der Einsatz der Elektroofenschlacke (EOS) für die Aufbereitung dünn-schichtiger Beläge erforderte eine separate Aufbereitung. Die EOS musste gebrochen und gesiebt werden um die Korngrößen 0/2 beziehungsweise 2/4 zu erhalten. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde EOS verwendet, um die positiven, ausländischen Erfahrungen [7, 8] zu berücksichtigen. Die Verwendung von EOS entspricht nicht dem nationalen Entsorgungskonzept des BAFU.

Elektroofenschlacke EOS

Es sind ausschliesslich normierte, polymermodifizierte Bindemittel PmB verwendet worden. Es wurden keine Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen Bitumen durchgeführt. Die höhere Steifigkeit von PmB gegenüber Reinbitumen wird als wesentlicher Parameter für die Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften angesehen, da damit Texturveränderungen bei sommerlichen Temperaturen reduziert werden können.

Bindemittel

Es wurden Gummigranulate in den Fraktionen 0,4/2,0 mm verwendet. Die Gesamtdosierung, bezogen auf das Mischgut, lag bei 0,5 Masse-%; die Mischzeit in der Aufbereitungsanlage wurde nicht verlängert. Grobkörnige Gummigranulate und höhere Dosierungen wurden aufgrund der damaligen Erfahrungen nicht gewählt.

Gummigranulat

2.3.4 Auswahl bestehender lärmарmer Strecken

Ergänzend zu den Pilotstrecken, wurden aufgrund guter Erfahrungen und auf Anregung der Kantone 9 weitere bestehende lärmarme Testbeläge (Tab.2) in das Forschungsprogramm aufgenommen. Die poröse Gesteinskörnung Leca (aus Blähton) ist auf Grund einer Initiative des Kantons Tessin gegen den Strassenlärm eingesetzt worden. Belagsunternehmen haben lärmarme Beläge entwickelt. Sie werden unter einem eigenen Markennamen kommerzialisiert, beispielsweise Colsoft® (Colas) und Wecophone 6® (Weibel). Dieses Vorgehen ist in Frankreich und in den Niederlanden üblich: Der Bauherr legt die Anforderungen fest, die Bauunternehmen entwickeln die gewünschten Produkte.

Vorhandene lärmarme Beläge

Tab. 2 > Bestehende Strecken und Beläge

Im Messprogramm einbezogene bestehende «lärmarme» Beläge

Strecken	Beläge	Herkunft Splitt	Länge [m]	DTV	Einbaujahr
Leuggern AG	PA 8		90	2000	2004
	SPA 8		90	2000	
	MA 8 mit Abstreuerung 2/4		60	2000	
	MA 8 mit Abstreuerung 3/6		60	2000	
Sargans SG	AC 11		320	6170	2004
Sessa TI	AC 11 Leca	Gasperini		1086	2002
Bellinzona TI	AC 11 Leca	Gasperini	320	19800	2004
Les Evouettes VS	Colsoft 8®			6000	2002
Grossgurmels FR	Wecophone 6®	Famsa		10400	2003

2.4 Realisierung

2.4.1 Realisierte Testbeläge

Auf den sieben Strecken wurden insgesamt 12 unterschiedliche neue Testbeläge eingebaut. Es wurden, mit einer Ausnahme, Varianten der Mischgutgruppen offenporiger Asphalt (PA), Splittasphalt (SPA) und Rauasphalt (AC MR) untersucht. Die Beläge unterscheiden sich durch ihr Grösstkorn 0/4 mm und 0/8 mm, durch die Verwendung ausgewählter Gesteinskörnungen (Elektroofenschlacke EOS, Famsa, Gasperini, Walliswil, Hagerbach) oder durch die Verwendung von Gummigranulat. Eine Ausnahme bildet der Oberflächenbelag Whisper-Grip®. Es handelt sich um eine Epoxydharzbeschichtung, die mit einer Chromerzschlacke der Körnung 1/3 mm abgestreut ist. Die Tab. 3 gibt eine Übersicht der Pilotstrecken und Testbeläge.

Eingebaute Testbeläge

Tab. 3 > Strecken und neue Testbeläge

Zuordnung der Testbeläge zu den geeigneten Strecken

Zuordnung Testbeläge zu den Strecken

Pilotstrecken	Neue Testbeläge	Herkunft Splitt	Länge [m]	DTV	Datum Einbau
Kreuzlingen TG	PA 4 / PA 8 Twinlayer	Walliswil	150	11500	August 2004
Sargans SG	PA 8 / PA 16 Twinlayer	Hagerbach	320	6170	September 2004
Turtmann VS	SPA 4	Famsa	550	14500	September 2004
	AC MR 4 EOS Gummigranulat	Stahl Gerlafingen	250		September 2004
	AC MR 4 EOS	Stahl Gerlafingen	250		September 2004
	AC MR 4	Famsa	550		September 2004
Sargans SG	AC MR 4	Gasperini	300	6170	September 2004
	AC MR 8 EOS Gummigranulat	Stahl Gerlafingen	300		September 2004
Zuchwil SO	AC MR 8 EOS	Stahl Gerlafingen	180	8924	August 2004
Luzern LU	Whisper-Grip®	Chromerzschlacke	150	16100	August 2004
Altendorf SZ	SPA 8 Schichtdicke 15 mm	Gasperini	110	14500	Oktober 2005
	SPA 8 Schichtdicke 20 mm	Gasperini	130		Oktober 2005

2.4.2 Geografische Verteilung der Teststrecken

In der nachfolgenden Abbildung ist die geografische Lage der Strecken und der bestehenden lärmarmen Strecken dargestellt.

Abb. 4 > Geographische Verteilung der Strecken

Die schweizweite Verteilung aller Strecken, mit neuen und bestehenden «lärmarmen» Belägen

Schweizweite Verteilung der Strecken



2.4.3 Qualitätskontrolle

Um die Einhaltung der festgelegten Sollwerte der Mischgutzusammensetzung und des Belageeinbaus sicher zu stellen, wurden bei jedem neuen Testbelag umfangreiche Qualitätssicherungsmassnahmen umgesetzt.

Qualitätssicherung

> Probemischungen:

Es wurden in den Aufbereitungsanlagen jeweils so viele Probemischungen aufbereitet und untersucht, bis die Zusammensetzung des Mischgutes den definierten Anforderungen genügte.

Probemischungen

> Probeeinbau:

Mit einem Probeeinbau von mindestens 50 m Länge hatten die Unternehmungen die Gelegenheit, das neuartige Mischgut einzubauen. Die Einbau- und Verdichtungsprozesse wurden zum Teil variiert und protokolliert. Sie dienten als Entscheidungsgrundlage für die Festlegung der Prozesse für den Einbau. Es wurden Mischgut- und Bohrkernuntersuchungen durchgeführt.

Probeeinbau

> Einbau:

Baubegleitend wurden Temperaturen des Mischgutes gemessen und mit einer Isotopensonde die Zunahme der Verdichtung festgestellt. Sämtliche Abläufe sind protokolliert worden.

Einbau

Neben den üblichen Bestimmungen für den Einbau dünner Asphalt-Deckschichten galt es auch Bedingungen festzulegen, die eine möglichst optimale Textur der Oberfläche sicherstellen sollten:

Bedingungen für den Einbau

> *Ebenheit der Unterlage:*

Da die Beläge in dünnen Schichten eingebaut wurden, galten erhöhte Anforderungen an die Ebenheit der Unterlage. Es wurden Unebenheiten bis zu maximal 4 mm unter der 4-m-Latte toleriert.

> *Witterung:*

Luft- und Bodentemperaturen oberhalb 10 °C wurden bei allen Pilotstrecken als absolutes Minimum verlangt, angestrebt wurden Temperaturen von mindestens 20 °C. Die Unterlage hatte absolut trocken zu sein.

> *Mischguttemperaturen:*

Bei dem verwendeten polymermodifizierten Bitumen PmB wurden die Angaben des Lieferanten eingehalten. Die Temperaturen wurden in der Aufbereitungsanlage, im und hinter dem Fertiger gemessen.

> *Walzen:*

Es wurden ausschliesslich schwere Glattmantelwalzen (> 10 t) zugelassen, die statisch und ohne Vibration einzusetzen waren. Die Anzahl erforderlicher Walzenübergänge wurde im Rahmen des Probeeinbaus objektspezifisch festgelegt.

> *Verkehrsfreigabe:*

Der Verkehr wurde nach vollständigem Abkühlen des Belages am folgenden Morgen nach dem Einbau freigegeben.

Im Rahmen einer Erstmessung im Herbst 2004 wurde grundsätzlich an allen neuen Testbeläge Bohrkernuntersuchungen sowie Griffigkeits- und Ebenheitsmessungen durchgeführt. Für die bestehenden Testbeläge wurden, falls vorhanden, die Prüfwerte aus externen Quellen übernommen. Die Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen sind in Tab. 4 zusammengefasst. Die weiteren Belageigenschaften sind im Anhang 5 zu finden.

Die Zielvorstellungen sind in der Tab. 1 definiert. Die Bohrkernuntersuchungen zeigen, dass sie nur in einzelnen Fällen erreicht wurden. Die tendenziell zu hohe Schichtdicke weist auf den Erfahrungsmangel der Belagsunternehmen im Einbau von dünnen Belägen mit einem Grösstkorn von 4 mm hin. Die Verdichtungsgrade entsprachen auch nur selten den Zielvorstellungen.

Zielwerterfüllung

Tab. 4 > Bohrkernuntersuchung der Testbeläge

Strecke und Mischgutsorte		Bohrkernuntersuchung		
		Schichtdicke [mm]	Verdichtungsgrad [%]	Hohlraumgehalt [%]
Neue Testbeläge				
Kreuzlingen	PA 4	12	91,1 *	26,9 *
	PA 8	33	103,4	17,2
Sargans	PA 8	27	93,1	25,8
	PA 16	33	98,5	24,4
Turtmann	SPA 4 Famsa	15	94,8 *	13,6 *
Turtmann	AC MR 4 EOS Gummigr.	15	95,5 *	9,0 *
	AC MR 4 EOS	15	93,5 *	11,4 *
	AC MR 4 Famsa	13	94,5 *	9,1 *
Sargans	AC MR 4 Gasperini	12	92,3 *	16,0 *
	AC MR 8 EOS Gummigr.	25	96,9	11,5
Zuchwil	AC MR 8 EOS	28	95,6	7,9
Luzern	Epoxy 1/3			
Altendorf	SPA 8 Gasperini 15 mm	18	97,0	8,1
	SPA 8 Gasperini 20 mm	24	96,3	8,8

Bestehende Testbeläge

Leuggern	PA 8	31	93,1	24,1
Leuggern	SPA 8	32	97,3	12,6
Leuggern	MA 8 2/4	48		
	MA 8 3/6	48		
Sargans	AC 11			
Sessa	AC 11 Leca Gasperini			
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	34	97,5	10,8
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa			
Les Evouettes	Colsoft 8	32	103,7	8,6

* Die Bestimmung von Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt bei Schichtdicken kleiner 15 mm ist problematisch. Das Verhältnis der Prüfkörperhöhe zur Porendurchmesser ist zu klein und führt zu einer ungenügend präzisen Einschätzung der Raumdichte.

Die Farben in Tab. 4 und Tab. 5 geben Hinweis auf das Erreichen der Zielwerte. Die Bedeutung der Farben ist wie folgt definiert:

	Zielvorstellungen erfüllt
	Zielvorstellungen teilweise erfüllt
	Zielvorstellungen nicht erfüllt

Für die offenporigen Beläge wurde zusätzlich im Rahmen der Erstmessungen die Wasserdurchlässigkeit in situ ermittelt (Tab. 5). Dieser Wert ist nebst dem Hohlraumgehalt ein Indikator für den Anteil zusammenhängender Poren. Der Anteil an Poren und die Porenstruktur sind wichtige Parameter im Hinblick auf das Schallabsorptionsvermögen der Belagsschicht.

Wasserdurchlässigkeit

Tab. 5 > Wasserdurchlässigkeit der offenporigen Beläge

Wasserdurchlässigkeit unmittelbar nach dem Einbau

Teststrecke	Kreuzlingen	Sargans	Leuggern
Mischgutsorte	PA 4/8	PA 8/16	PA 8
Wasserdurchlässigkeit [l/min]	7,4	17,2	15,3

2.5

Mess- und Untersuchungsprogramm

Die periodischen Messungen im Zeitrahmen des Projektes wurden nach folgendem Programm durchgeführt:

Durchgeführte Messungen

Jahr	Messungen / Untersuchungen	Zeitraum
Ausgangs-Messungen 2004	Belagstechnische Untersuchungen <ul style="list-style-type: none"> • Bohrkernuntersuchungen • Längs-/Querebenheit • Griffigkeit PTV • Ausflusszeit nach Moore • Rautiefe, Sandfleckmethode • Texturmessung mit Laser • Rauheitsmessung mit Laser • Wasserdurchlässigkeit bei Drainbelägen Akustik <ul style="list-style-type: none"> • Akustische Belagsgütemessungen (SPB-Messungen) der Testbeläge 	Oktober 2004 (Altendorf 2005)
Wiederholungs-Messungen 2005 bis 2007	Belagstechnische Untersuchungen <ul style="list-style-type: none"> • Texturmessung mit Laser • Rauheitsmessung mit Laser Akustik <ul style="list-style-type: none"> • Akustische Belagsgütemessungen (SPB-Messungen) 	Herbst 2005, 2006 und 2007

Programm

Die ersten Texturmessungen wurden im Dezember 2004 d.h. mindestens 3 Monate nach dem Einbau durchgeführt (siehe Kapitel 3.5.7).

Die neuen Testbeläge in Altendorf und Luzern erfüllten nach 2 Jahren die Anforderungen an lärmarme Beläge nicht mehr und wurden deshalb für die Messkampagne 2007 nicht mehr berücksichtigt.

2.5.1 Belagstechnische Messungen

Pro Testbelag wurden vier Mischgutproben aus der Mulde des Einbaufertigers entnommen und untersucht. Daraus wurden die Marshall-Werte ermittelt und das Bindemittel rückgewonnen und anschliessend geprüft. Die dabei angewendeten Prüfnormen sind der Tab.6 zu entnehmen.

Mischgut

Tab. 6 > Durchgeführte Mischgutprüfungen und entsprechende Normen

Prüfung	Schweizer Norm
Korngrössenverteilung	SN 670 902-1
Löslicher Bindemittelgehalt	SN EN 12697-1
Marshall-Hohlraumgehalt	SN 670 406, 670 408, 670 430, 670 434
Penetration des rückgewonnenen Bindemittels	SN 670 500-7
Erweichungspunkt Ring und Kugel des rückgewonnenen Bindemittels	SN 670 500-8
Elastische Rückstellung	SN 670 547

Pro Testbelag wurden vier Bohrkerne (\varnothing 150 mm) entnommen und untersucht. Es wurden die Schichtdicke, der Hohlraumgehalt und der Verdichtungsgrad ermittelt und den Anforderungen aus Tab. 1 gegenübergestellt.

Bohrkerne

Die Ebenheitsmessungen wurden gemäss SN 640 520 durchgeführt. Die Ebenheit in Längsrichtung wurde mittels Goniograph gemessen; in Querrichtung wurde ein Profilschreiber Typ «Planum» verwendet. Die Anforderungen sind in der SN 640 521 festgelegt.

Ebenheit

Die Kombinierte Messmethode PTV-Pendel/Ausflussmesser gibt Auskunft, ob die Griffigkeit genügt. Die Prüfung der Griffigkeit erfolgt nach SN 640 512-4. Die Abnahmewerte sind in der SN 640 511 definiert.

Griffigkeit

Das Sandfleck-Messverfahren ist ein volumetrisches Verfahren zur Messung der mittleren Makrotexturtiefe (Mean Texture Depth, MTD) der Fahrbahnoberfläche gemäss SN 640 511-1. Die Richtwerte sind in Tab. 26 enthalten.

Texturtiefe

Die mittlere Profiltiefe MPD wird mit einem Laser-Profilometer nach SN 640 511-11 bestimmt. Die Berechnungsmethode von MPD ist im Anhang 3 dargestellt. Die Anforderungen sind in einem ASTRA Merkblatt [9] definiert.

Profiltiefe

Die Wasserdurchlässigkeit der offenporigen Beläge wurde gemäss SN 640 430a (Anhang 2) gemessen. Die Anforderungen sind aus Absatz 2.3 der Norm zu entnehmen.

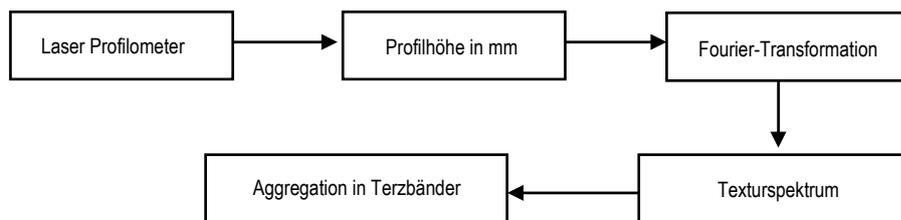
Wasserdurchlässigkeit

2.5.2 Statistische Auswertung des Oberflächenprofils

Für die Schallentstehung hat die Oberflächentextur eines Belages einen entscheidenden Einfluss. Die Oberflächenunebenheiten werden mit Hilfe eines Lasergeräts (Profilometer) linear aufgezeichnet. Die Messlänge beträgt 4200 mm und das Messintervall beträgt 0,2 mm. Um eine Oberflächentextur beurteilen zu können, wird das Längsprofil mathematisch mittels Fourier-Transformation in Sinus-Wellen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Amplituden zerlegt. Dargestellt wird die Amplitude (Rauigkeitstiefe) der einzelnen Sinuswellen in Abhängigkeit deren Wellenlänge (Texturwellenlänge). Diese Spektralanalyse erfolgt gemäss EN ISO 13473-2. Das Messprinzip und das entsprechende Ergebnis sind in Abb. 5 und Abb. 6 dargestellt.

Texturspektrum
Oberflächentextur

Abb. 5 > Spektralanalyse der Textur mit dem Laserprofilometer

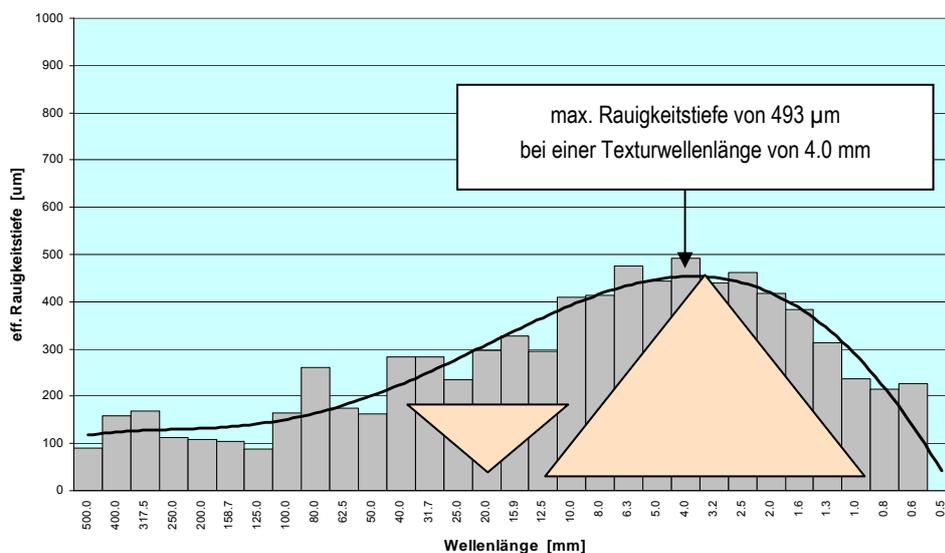


Laserprofilometer

Abb. 6 > Halblogarithmische Darstellung des Texturspektrums

Der Texturwellenlängenbereich wurde in Terzbänder unterteilt. Die Breite des Terzbandes ist derart gekennzeichnet, dass sich die obere Wellenlänge λ_o zur unteren λ_u nach dem Verhältnis $\lambda_o/\lambda_u = 2^{1/3}$ verhält. Für die Mittelwellenlänge gilt: $\lambda_m = \lambda_u \cdot 2^{1/6}$. Die Rauigkeitstiefe für die einzelnen Wellenlängenbänder ist als quadratischer Mittelwert der Funktion $\sin(2\pi x/\lambda)$ definiert.

Texturspektrum



Für die statistische Auswertung der unterschiedlichen Wellenlängen gilt folgende Faustregel: die Aussagekraft des Spektrums beschränkt sich auf 1/13 der Messlänge. In unserem Fall entspricht dies einem Wellenlängenbereich zwischen 0,6 und 250 mm. Die Rauigkeitstiefen der Bänder 300, 400 und 500 mm haben demzufolge keine gültige Aussagekraft.

Zudem wird im Rahmen dieses Forschungsprojektes nur die Makrotextur berücksichtigt. Die allgemeinen Grenzwerte zwischen Mikro-, Makro- und Megatextur sind in Tab. 7 zusammengefasst.

Mikro-, Makro-, Megatextur

Tab. 7 > Texturskalen nach PIARC Definition und entscheidende Einflüsse

Skala	Mikrotextur	Makrotextur	Megatextur
Wellenlänge [mm]	< 0,50	< 50	< 500
Profiltiefe [mm]	< 0,2	< 10	< 50
Entscheidende Einflüsse	Griffigkeit für den Langsamverkehr	Griffigkeit für den Schnellverkehr, Air Pumping, Reifenschwingungen, Entwässerung	Fahrkomfort, Reifenschwingungen, Wasserpfützen

Quelle: PIARC, Inventory of Surface Characteristics Measuring Equipment, 1995

Die Bewertung des Texturspektrums erfolgt nach den Empfehlungen von Sandberg und Ejsmont [10]. Danach haben leise Beläge hohe Amplituden bei Texturwellenlängen zwischen 1 und 10 mm (reduziertes Air-Pumping-Geräusch) und tiefe Amplituden bei Texturwellenlängen von 16 bis 50 mm (reduzierte Reifenschwingungen) (Tab.8). Die Übergangswellenlänge liegt bei 12,5 mm.

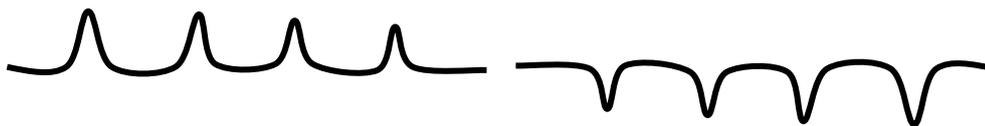
Bewertung Textspektrum

Trotz gleicher Texturtiefe und gleicher Wellenlängenanteile kann die Gestalt der Textur grundsätzlich unterschiedlich sein (Abb. 7). Es kann sich um ein Plateau mit Schluchten handeln (tendenziell konkave Gestalt) oder es kann sich um ein Gebirge mit Tälern handeln (tendenziell konvexe Gestalt). Die für die Belagsakustik wichtige Reifen/Fahrbahn Kontaktfläche nimmt je nach Gestalt der Textur sehr unterschiedliche Formen an.

Gestaltfaktor

Abb. 7 > Identisches Texturspektrum aber unterschiedlicher Lärm

Links: konvex; rechts: konkav



Der Gestaltfaktor g wird durch eine statistische Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen ermittelt (siehe Anhang 4). Konkave Texturen gelten als lärmarm, da sie die Reifen weniger stark anregen und trotzdem für eine gute Entlüftung der zwischen den Reifen und den Belag eingepressten Luft sorgen und damit den Air-Pumping-Effekt reduzieren.

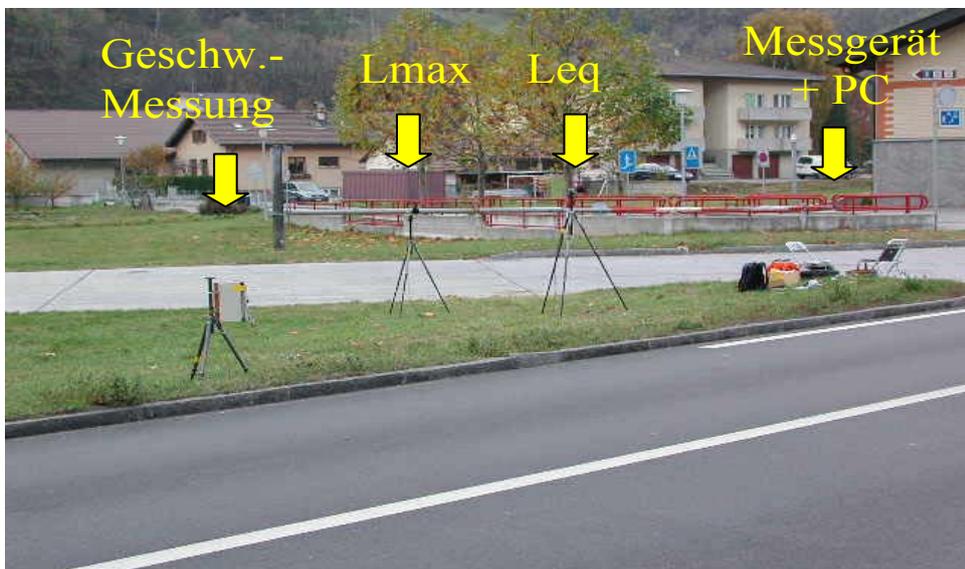
2.5.3 Akustische Messungen

Alle akustischen Belagsgütemessungen wurden nach der statistischen Vorbeifahrtsmethode (statistical pass-by method SPB, ISO 11819-1) durchgeführt. Dabei wurden die Vorbeifahrtspegel von 80–100 Personenwagen und 30 Lastwagen gemessen, allerdings konnten auf den Innerortsstrecken nicht immer die nötige Anzahl Lastwagenvorbeifahrten innerhalb vernünftiger Zeit registriert werden. Neben dem maximalen Schalldruckpegel L_{\max} wurde auch der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} jeder Vorbeifahrt in dBA gemessen, wie dies im «Technischen Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen» des ASTRA [11] beschrieben ist, da dieser Wert direkt mit dem in der Schweiz üblichen Lärm-Berechnungsmodell STL 86+ der EMPA korreliert werden kann. Die Distanzen der Mikrophone zu den Fahrstreifenachsen betragen an allen Messorten 7,5 m für L_{\max} und 5 m für L_{eq} . Bei jeder Vorbeifahrt wurde die Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit einem Radargerät aufgezeichnet.

Messmethode

Abb. 8 > Messanordnung für die statistische Vorbeifahrtsmethode

Von links nach rechts: Geschwindigkeitsmessgerät, Mikrophon in 7,5 m Distanz (L_{\max}) und 5 m Distanz (L_{eq}), Messgeräte und PC. Die Vorbeifahrtsmessung erfolgte nach dem «Technischen Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen», welches sich nach ISO 11819-1 richtet.



Die Auswertung der zusätzlich zur ISO-Norm erhobenen L_{eq} -Werte erfolgte nach dem in der Schweiz gültigen Standardberechnungsverfahren StL-86+, welches auf dem L_{eq} basiert [12]. Für jede einzelne Vorbeifahrt wird die Modellabweichung ermittelt

$$L = A + 10 * \log \left[\left(1 + \left(\frac{v}{50} \right)^3 \right) * \left(1 + B * Eta * \left(1 - \frac{v}{150} \right) \right) \right] + 10 * \log(M)$$

- L: Energieäquivalenter Dauerschallpegel in dBA in 1 Meter Abstand von der Quelle
A, B: empirische Konstanten. A=43, B=20
v: Geschwindigkeit
Eta: Lastwagenanteil (bzgl. gesamtem Verkehr)
M: Verkehrsmenge (Anzahl Fahrzeuge pro Stunde)

Die Werte wurden mit einem der Literatur entnommenen Faktor von $-0,06$ dBA/°C für dichte Beläge und $-0,04$ dBA/°C für offenporige Beläge auf 20 °C Belagtemperatur korrigiert. Bei den Lastwagen wurde eine Temperaturkorrektur von $-0,03$ dBA/°C verwendet. Die Korrekturfaktoren für dichte Beläge wurden in diesem Forschungsprojekt im Rahmen der Zusatzuntersuchungen überprüft und haben sich dort bestätigt (siehe Kap. 3.5.5).

Im Bericht wird die akustische Belagsgüte als Modellabweichung des Mischverkehrs mit 8% Lastwagenanteil am Gesamtverkehr angegeben. Diese Werte sind mit dem Leitfaden Strassenlärm kompatibel. Die akustische Belagsgüte der Personenwagen ist im Anhang 8 abgebildet. Für den Vergleich der akustischen Belagsgüte der einzelnen Testbeläge untereinander ergeben die Personenwagenvorbeifahrten verlässlichere Werte, da sie auf einer grösseren Stichprobe beruhen.

2.6 Ergänzende Untersuchungen

2.6.1 Reinigung der offenporigen Beläge

In Zusammenarbeit mit der Abteilung Strasseninfrastruktur des Bundesamts für Strassen wurde im September 2006 eine Hochdruck-Reinigungsmaschine von der holländischen Firma Heijmans Infra in die Schweiz bestellt. Sie ist im Anhang 9 abgebildet. Das ASTRA war daran interessiert, nicht nur innerorts sondern auch auf Nationalstrassen die Wasserdurchlässigkeit bereits verstopfter PA Beläge vor und nach der Reinigung zu untersuchen, um die Wirksamkeit der Reinigung zu prüfen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Anhang 9 nachzuschlagen.

Hochdruck-Reinigung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde je ein offenporiger und dichter Belag gereinigt. Der Twinlayer PA 4 / PA 8 Belag in Kreuzlingen und der ACMR 8 in Zuchwil wurden ausgewählt. Es sollte beobachtet werden, ob und in welchem Ausmass eine Reinigung der Belagsoberfläche günstige Auswirkungen auf die Lärmemission hat. Der Twinlayer-Belag in Kreuzlingen wurde mit bis zu vier Übergängen gereinigt; der Rauasphaltbelag in Zuchwil zwei Mal. Vor und nach der Reinigung wurden die Wasserdurchlässigkeit, die Textur und die Akustik gemessen.

Gereinigte Beläge

2.6.2 Korrekturfaktor Temperatur

Es wurden während eines sonnigen, warmen Tages mit grossen Belagstemperatur-Unterschieden zwischen 6:00 morgens und 19:00 abends durchgehend sämtliche Vorbeifahrten von Personenwagen und Lastwagen gemessen und die Belags- wie auch die Lufttemperatur in zeitlichen Abständen von 15 Minuten aufgezeichnet. Die Vorbeifahrten wurden einzeln ausgewertet und mit der Belagstemperatur korreliert. Daraus wurde mittels linearer Interpolation der Faktor für die Temperaturkorrektur ermittelt.

Messungen bei grossen
Temperaturdifferenzen

2.6.3 Zeitfenster der Abnahmemessung

In Ziefen (Dorfausgang Richtung Oberdorf) wurde ein ACMR 8 Probeeinbau für eine Baumassnahme auf der Nationalstrasse A2 eingebaut. Auf diesem Probeeinbau wurden während 6 Monaten monatliche Lärm- und Makrotexturmessungen durchgeführt. Der Einbau fand am 5. Mai 2006 statt. Eine abschliessende Messung erfolgte im Mai 2007. Damit soll dokumentiert werden, wie sich die Textur und die akustische Belagsgüte in den ersten Monaten nach dem Belageinbau verändern, um den optimalen Zeitpunkt für eine Abnahmemessung bestimmen zu können.

2.7 Datenhandling

Sämtliche im Rahmen des Forschungsprojekts erhobene Daten bezüglich Standort, Teststrecke, Belagseigenschaften und Messresultaten der Oberflächentextur und der akustischen Belagsgüte werden in einer Access-Datenbank verwaltet und ausgewertet.

3 > Resultate

3.1 Vorbemerkungen

Die Pilotstrecken wurden, mit Ausnahme derjenigen in Altendorf, im Jahre 2004 realisiert. Im Hinblick auf die geplante Einführung der EN-Normen per 1.1.2005 und der damit einhergehenden Einführung neuer Mischgutsorten war es nicht sinnvoll, die Pilotstrecken mit Mischgutsorten aufzuführen, die kurze Zeit später nicht mehr normiert sein würden. Daher wurden die Pilotstrecken bereits gemäss den kommenden EN-Normen konzipiert und realisiert. Diese vorzeitige, projektbezogene Einführung der neuen Normen führte in den Asphaltaufbereitungsanlagen und im Labor zu Umtrieben.

Neue EN Normen

Trotz Vorgaben für die Auswahl der Pilotstrecken war das Verkehrsaufkommen bei den verschiedenen Strecken sehr unterschiedlich. Bei der Beurteilung der Entwicklung der einzelnen Testbeläge wird dies gebührend berücksichtigt.

Verkehrsbelastung

Bei der Festlegung der Standorte für die Pilotstrecken wurde dem Einbezug möglichst vieler Beteiligter ein hohes Gewicht gegeben. Dies führte dazu, dass die Strecken in der gesamten Schweiz verteilt sind. Für die Realisierung des Forschungsprojektes hatte dies nicht nur Vorteile; so mussten die neuartigen Testbeläge für verschiedene Aufbereitungsanlagen neu rezeptiert werden, mehrere Unternehmungen instruiert und geschult werden. Bei der Beurteilung der Untersuchungsergebnisse ist zu beachten, dass der Einfluss dieser Parameter nicht bekannt ist (unterschiedliche Aufbereitungsanlagen, Geräte, Fertiger, Walzen, Walzenspiele; unterschiedliche Gesteinskörnungen; unterschiedliches Klima; usw.). Dem steht der Vorteil gegenüber, dass die Testbeläge unter realen, praxisnahen Bedingungen eingebaut wurden.

Unterschiedliche
Rahmenbedingungen

3.2 Bauliche Aspekte

3.2.1 Baustoffe

Die Verwendung spezieller Baustoffe (Gummigranulat, EOS, spezielle Gesteinskörnungen) stellte bei entsprechender Planung kein Problem dar. Sehr wichtig war in diesem Zusammenhang die Durchführung von Probemischungen und Probeeinbauten für jeden Testbelag.

Verwendete Baustoffe

Die verwendeten Gummigranulate brechen im Verlauf der Zeit zwar aus, doch bilden sich dadurch kleine, konkave Hohlräume, die grundsätzlich lärmtechnisch günstig sind. Dieser theoretische Vorteil konnte auf den Teststrecken nicht nachgewiesen werden.

Gummigranulate

Zudem ist zu vermerken, dass sich Beläge mit Gummigranulaten im Winter ungünstig verhalten. Bei tiefen Temperaturen verhält sich das Bitumen spröde und vermag die Bewegungen der elastischen Gummikörner nicht rissfrei zu überbrücken. Dadurch wird der Verbund innerhalb des Belages aufgelockert, was zu Kornausbrüchen führt.

EOS-Körner haben einen günstigen Einfluss auf das akustische Langzeitverhalten des Belages. Der «Gewinn» liegt jedoch unterhalb von einem dBA und liegt somit unterhalb der Messgenauigkeit. Möglicherweise werden die weitergehenden Beobachtungen über einen längeren Zeitraum in dieser Frage Klarheit schaffen.

EOS

Basierend auf ausländische Erfahrungen wurden für alle Teststrecken Gesteinskörnungen mit einem PSV-Wert gewählt, der deutlich über den in der Norm festgelegten Anforderungen liegt. Es ist daher nicht möglich den Einfluss des PSV-Wertes auf die Entwicklung der akustischen Eigenschaften zu beurteilen.

Gesteinskörnungen

3.2.2 **Aufbereitung**

Die Aufbereitung von sehr feinkörnigen Belägen mit Ausfallkörnung wie ACMR 0/4 oder sogar PA 0/4 ist heikel, aber machbar. Es sind hohe Anforderungen an die Regelmässigkeit der Korngrössenverteilung des Splittes 2/4 zu stellen.

Aufbereitung 4er-Beläge

3.2.3 **Einbau**

Die Oberflächenstruktur der Beläge kann beim Belageeinbau durch die Art der Walze, dessen Gewicht und Vibration wesentlich beeinflusst werden. Die Untersuchung dieser Faktoren ist nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsprojektes, das sich ausschliesslich auf die möglichen Zusammenhänge zwischen Texturparameter und Lärmgüte konzentriert. Eine genaue Untersuchung dieser Verdichtungsfaktoren ist aber wünschbar.

Verdichtungsfaktoren

Die Verwendung von Thermosilos für Transporter ist nicht nur bei grossen Distanzen zu empfehlen. 4er-Beläge kühlen sehr rasch ab. Sie müssen in Thermosilos transportiert und unmittelbar hinter dem Fertiger sofort verdichtet werden. Konventionelle Verdichtungskontrollen beispielsweise mittels Isotopensonde sind infolge der geringen Schichtdicken der Beläge nicht anwendbar.

Thermosilos

Da die Textur der Oberfläche des neu eingebauten Belages eine sehr grosse Rolle spielt, sollte die Verdichtung des Belages mit möglichst wenigen Überrollungen der Walzen erreicht werden. In einem Vorversuch wurde daher ein Fertiger mit einer sogenannten Hochverdichtungsbohle verwendet in der Hoffnung, der Belag müsse anschliessend nicht mehr mit Walzen verdichtet werden. Diese Hochverdichtungsbohlen erreichen tatsächlich hohe Verdichtungsgrade, diese bedürfen jedoch einer gewissen Schichtdicke. Der Einsatz dieser Bohlen auf dünnen Schichten bewirkte eine zu starke Reflektion an der bereits abgekühlten und somit harten Unterlage. Das Resultat der Ebenheit und Gleichmässigkeit der Oberfläche befriedigte in keiner Art und Weise. Deshalb musste diese Idee leider verworfen werden.

Hochverdichtungsfertiger

Twinlayer-Beläge

In Deutschland wurden neue Deckenfertiger entwickelt, bei denen heiss in heiss zwei unterschiedliche PA-Mischgutsorten eingebaut werden können. Die Erfahrungen mit diesen Kompaktfertigern mit Doppelbohle sind nicht nur positiv. So besteht die Gefahr, dass die zweite, feinkörnige Schicht allzu stark in die erste grobkörnigere Schicht eingepresst wird. Auf diese Weise entsteht in der Kontaktzone beider Schichten eine kompakte, dichte Zone. Selbstverständlich behindert ein solches ineinander schachteln des feinkörnigen in den grobkörnigen Belag den Durchfluss und reduziert damit die Wirkungsweise des Twinlayers.

Der Einbau zweischichtiger offenporiger Beläge ist sehr anspruchsvoll und witterungsempfindlich. Infolge der dünnen Schichten besteht die Gefahr, dass die untere PA-Schicht zu stark verdichtet wird. Die Anforderungen an Logistik und Planung der Baustelle sind gross, da die zweite Schicht auf die noch warme erste Schicht eingebaut werden muss (Schichtenverbund). Von Vorteil sind Einbauten in kleineren Etappen von zirka 200m.

Auf dem Twinlayer in Sargans (PA 8 auf PA 16) wurden die Verdichtungswerte, die beim Probeeinbau erreicht wurden, auf dem Haupteinbau nicht mehr erreicht. Der Haupteinbau erfolgte etwas später im September und die Witterungsverhältnisse waren etwas ungünstiger. Obwohl die gleiche Unternehmung mit gleicher Sorgfalt die Arbeiten ausführte, musste festgestellt werden, dass die Verdichtungsgrade der oberen PA-Schicht völlig ungenügend waren (93,1%). Dies führte zu einem frühzeitigen Ausbruch derart vieler Körner, dass die Versuchsstrecke aus dem Messprogramm eliminiert werden musste.

In der oberen Schicht des «Twinlayer fein» in Kreuzlingen wurde mit 91% ein noch tieferer Verdichtungsgrad angegeben. Die Bestimmung dieses Wertes bei einer Schichtdicke von nur 12 mm ist äusserst unsicher. Auch andere Forschungsstellen wie z. B. das Danish Road Institute stossen hier auf Schwierigkeiten [13]. Ein Anzeichen für eine mögliche Überschätzung des Hohlraumgehalts liegt in der mangelnden Korrelation mit der relativ geringen Wasserdurchlässigkeit. Von diesem allzu hohen Wert ausgehend, wurde ein zu tiefer Verdichtungsgrad berechnet (Tab.8). Dies könnte der Grund dafür sein, dass im Gegensatz zu dem PA 8 in Sargans, in Kreuzlingen nach dem Einbau keine Schäden entstanden sind.

Tab. 8 > Wasserdurchlässigkeit, Hohlraum und Verdichtungsgrad

Deckschicht und Schichtdicke	Durchfluss l/min	Marshall HR %	Bohrkern HR %	Verdichtungsgrad %
Sargans PA 8 27 mm	17,2	20	26	93
Kreuzlingen PA 4 12 mm	7,4	20	27	91

Auf der Pilotstrecke in Altendorf wurden Beläge eingebaut, die dem Konzept eines ACVTL (Asphalt Concrete Very Thin Layer) gemäss EN 13108–2 entsprechen. Derartige Beläge werden in sehr dünnen Schichten eingebaut, wobei sich das Wort «dünn» auf das Verhältnis Schichtdicke zum Grösstkorn bezieht. Die ACVTL-Technik ist in der Schweiz wenig verbreitet; so traten auch entsprechende Schwierigkeiten auf, einen 8er-Belag in einer Schichtdicke von 15 mm einzubauen.

Dünnschicht-Beläge ACVTL

3.3 Textur

3.3.1 Mittlere Profiltiefe

In Tab 9 und im Anhang 7 (Übersichtsgrafik) ist die mittlere Profiltiefe MPD für verschiedene Zeitpunkte aufgeführt. Diese Werte geben Aufschluss über die Veränderung der Strukturtiefe und können in dieser Hinsicht als Abnutzungs- und Verschmutzungsindikatoren betrachtet werden. Es wird im Allgemeinen beobachtet, dass die Profiltiefe der SPA und ACMR Beläge im Laufe der Zeit abnimmt. Eine solche Abnahme kann durch die Veränderungen der Gesteinskörnung an der Oberfläche (Polieren) wie auch durch die Verschmutzung des Belags interpretiert werden. Es sind jedoch drei Ausnahmen zu bemerken:

Strukturtiefe

- > Der ACMR 4 Belag in Sargans zeichnet sich durch eine geringfügige Abnahme des MPD-Wertes aus. Diese nur kleinen Veränderungen sind auf das niedrige Verkehrsaufkommen zurückzuführen (ganz besonders im Vergleich zu den AC MR 4-Belägen in Turtmann. (Anhang 11))
- > Der ACMR 8 Belag in Sargans zeigt eine starke Zunahme der mittleren Profiltiefe. Aus dem Makrotextur-Profil ist Kornausbruch ersichtlich. Eine visuelle Begutachtung im Herbst 2007 bestätigt Gummigranulat- sowie 8er-Kornausbrüche (Anhang 9).
- > Der SPA 8 Belag in Leuggern hat ab Herbst 2006 eine deutliche Zunahme der mittleren Profiltiefe erfahren. Eine visuelle Begutachtung deutet auf Kornausbrüche (Anhang 11).

Tab. 9 > Mittlere Profiltiefe der Testbeläge

Messungen 2004–2007

Mittlere Profiltiefen

Teststrecke und Mischgutsorte		Mittlere Profiltiefe [mm]				
		Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007
Neue Testbeläge						
Kreuzlingen	PA 4 auf PA 8	0,87	0,80	0,91	0,88	1,05
Sargans	PA 8 auf PA 16	1,20	1,60	1,49	1,54	~
Turtmann	SPA 4 Famsa	1,25	0,67	~	0,63	0,58
Turtmann	ACMR 4 EOS Gummigranulat	0,89	0,53	~	0,51	0,55
	ACMR 4 EOS	1,06	0,55	~	0,61	0,54
	ACMR 4 Famsa	0,82	0,61	~	0,58	0,55
Sargans	ACMR 4 Gasperini	0,84	0,84	0,81	0,79	0,76
	ACMR 8 EOS Gummigranulat	0,76	1,15	0,96	1,20	1,13
Zuchwil	ACMR 8 EOS	0,82	0,78	0,68	0,61	0,66
Luzern	Epoxy 1/3	1,24	1,03	~	~	~
Altendorf	SPA 8 Gasperini 15 mm			1,34	1,13	~
	SPA 8 Gasperini 20 mm			1,42	1,25	~
Bestehende Testbeläge						
Leuggern	PA 8	1,13	~	1,27	1,47	1,37
Leuggern	SPA 8	1,05	~	1,08	1,30	1,22
Leuggern	MA 8 2/4	0,79	~	0,54	0,56	0,58
	MA 8 3/6	1,12	~	1,18	1,15	1,14
Sargans	AC 11	0,55	0,62	0,51	~	0,59
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	0,59	0,51	~	0,65	0,63
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	1,22	0,96	~	1,05	1,04
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa	0,70	0,60	~	0,61	0,62
Les Evouettes	Colsoft 8	0,76	0,93	~	1,00	1,04

Auf Grund von nur zwei offenporigen Belägen kann für diese Mischgutsorte keine allgemeingültige Bemerkung gemacht werden. Die mittlere Profiltiefe des PA 4 in Kreuzlingen ist zwei Jahre konstant geblieben und hat im 3. Jahr leicht zugenommen. Der PA 8 in Leuggern hingegen erfährt sofort eine Erhöhung seiner Strukturtiefe. Ähnlich wie beim SPA 8 wurden Kornausbrüche beobachtet (Anhang 11). Die Veränderung der Texturtiefe in der 3-jährigen Beobachtungsphase verlaufen für beide Beläge parallel. Dies könnte einen Hinweis dafür sein, dass die Messergebnisse Leuggern durch wetterbedingte Selbstreinigung beeinflusst sind.

Die AC 11 Beläge in Sargans und Sessa verhalten sich sehr ähnlich: ihre Oberflächenstruktur hat sich dank dem geringen Verkehr kaum verändert. Vergleicht man aber die beiden Testbelägen in Sessa und in Bellinzona, so stellt man einen grossen Unterschied fest: in Bellinzona haben zuerst in grossem Masse Leca-Ausbrüche stattgefunden (Anhang 11). Diese Schädigung widerspiegelt sich einerseits im fast zweimal höheren MPD-Wert des Belags und andererseits in der Abnahme der Profiltiefe in Bellinzona.

3.3.2 Oberflächentextur

Die Veränderung der Makrotextur wurde durch Laser-Textur-Messungen drei Jahre lang verfolgt. Die Ergebnisse sind in Tab. 10 angegeben und im Anhang 7 graphisch dargestellt.

Makrotextur

Die geltende empirische Mindestanforderung von 60% für den Gestaltfaktor soll sicherstellen, dass der Belag eine konkave Textur besitzt und weniger Lärm verursacht. Die Mehrheit der untersuchten Beläge erfüllt diese Bedingung deutlich. Der PA 4 in Kreuzlingen bildet jedoch eine auffallende Ausnahme: er erreicht eine beachtliche Lärminderung von -6 dBA mit einem Gestaltfaktor knapp um die 60%.

Eine gesamte Betrachtung der Gestaltfaktoren zeigt einen Unterschied zwischen 4er- und 8er-Belägen. Bei 4er-Belägen liegen die Mittelwerte über die ganze Messperiode hinweg zwischen 54 und 66%; für 8er-Beläge (mit Ausnahme des MA 8) liegt der mittlere Gestaltfaktor zwischen 71 und 86%. Diese Beobachtungen hinterfragen die Aussagekraft der Mindestanforderung von 60%. Möglicherweise müsste die Mindestanforderung an die Korngrösse angepasst werden.

Auffallend ist auch, dass während des Beobachtungszeitraumes von drei Jahren Lärmzunahmen von 3 bis 4 dBA stattgefunden haben, ohne dass diese Entwicklung mit dem Gestaltfaktor nachzuweisen wäre. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Aussagekraft des Gestaltfaktors in Bezug auf die allgemeine Belagsakustik schwach ist.

Zwischen der maximalen Rauigkeitstiefe A_{\max} und der mittleren Profiltiefe MPD (Tab. 8) besteht eine gute positive Korrelation (Anhang 7). Eine Zunahme der maximalen Rauigkeitstiefe deutet auf Belagsschäden, eine Abnahme ist der Normalfall. Es gelten ähnliche Bemerkungen wie für die mittlere Profiltiefe.

Tab. 10 > Texturparameter in Abhängigkeit der Zeit

Maximale Rauigkeitstiefe A_{max} , Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe $\lambda(A_{max})$ und Gestaltfaktor g

Teststrecke und Mischgutsorte		A_{max} [μ m]					$\lambda(A_{max})$ [mm]					g [%]				
		Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007	Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007	Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007
Pilotbeläge																
Kreuzlingen	PA 4 auf PA 8	305	308	310	296	337	5	12	10	10	8	56	73	53	59	64
Sargans	PA 8 auf PA 16	522	531	670	532	~	12	25	20	20	~	84	71	68	59	~
Turtmann	SPA 4 Famsa	493	243	~	244	189	4	6	~	8	16	62	68	~	67	41
Turtmann	ACMR 4 EOS Gummigr.	451	190	~	165	173	3	5	~	10	8	64	63	~	69	21
	ACMR 4 EOS	481	177	~	190	187	3	5	~	12	8	82	67	~	48	67
	ACMR 4 Famsa	329	160	~	156	185	3	8	~	6	5	72	54	~	44	50
Sargans	ACMR 4 Gasperini	289	248	259	252	247	8	10	12	20	50	53	69	64	69	60
	ACMR 8 EOS Gummigr.	311	439	430	465	451	10	16	12	20	20	92	54	79	73	74
Zuchwil	ACMR 8 EOS	350	334	295	252	266	12	12	12	10	10	88	83	79	81	
Luzern	Epoxy 1/3	413	354	~	~	~	20	16	~	~	~	39	85	~	~	~
Altendorf	SPA 8 Gasperini 15 mm			637	564	~			10	12	~			89	81	~
	SPA 8 Gasperini 20 mm			603	526	~			10	16	~			82	86	~
Bestehende Beläge																
Leuggern	PA 8	543	~	687	646	668	10	~	20	10	16	90	~	85	85	84
Leuggern	SPA 8	583	~	507	515	545	12	~	12	10	16	89	~	82	87	78
Leuggern	MA 8 2/4	318	~	134	144	163	25	~	6	25	20	85	~	62	35	61
	MA 8 3/6	325	~	410	356	374	12	~	25	40	16	45	~	53	59	62
Sargans	AC 11	229	200	204	~	189	3	20	16	~	16	85	75	76	~	71
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	322	252	~	230	212	12	12	~	10	10	82	76	~	69	68
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	466	312	~	380	330	12	12	~	32	16	91	74	~	75	80
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa	303	298	~	261	301	8	12	~	10	12	70	85	~	88	81
Les Evouettes	Colsoft 8	361	400	~	369	417	12	12	~	10	10	89	85	~	81	81

Die Bedeutung der Farben ist wie folgt definiert:

	Zielvorstellungen erfüllt
	Zielvorstellungen teilweise erfüllt
	Zielvorstellungen nicht erfüllt

Die Wellenlänge welche der maximalen Rauigkeitstiefe entspricht, sollte möglichst unterhalb 12,5 mm liegen. Diese Anforderung, ähnlich wie die Konkavität, steht für eine geringe mechanische Anregung der Reifen. Falls ein Texturspektrum einen deutlichen Höhepunkt bei einer Wellenlänge über 12,5 mm anzeigt, müsste daher der Belag eine besonders schlechte Akustik aufweisen: eine solche Korrelation findet zum Beispiel in Sargans (PA 8, AC MR 4 und AC MR 8, Anhang 8) statt. Bei Texturspektren die keinen eindeutigen Höhepunkt aufweisen, also bei flachen Texturspektren, liefert die Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe überhaupt keine brauchbare Information über das Lärmverhalten des Belags. Wenn schon sollte dieser Parameter nur zusammen mit dem Texturspektrum interpretiert werden. Ausserdem gibt es mehrere Beispiele (AC MR in Turtmann) in denen der Lärm Jahr für Jahr zunimmt ohne entsprechende «Verschlechterung» des Texturspektrums. Es wird vermutet, dass das von Sandberg postulierte Modell [8], eine grobe Vereinfachung widerspiegelt. Neuste Forschungsergebnisse aus dem Projekt Silvia [14] führen zu einem etwas präziseren Modell: Ausschlaggebend für die Berechnungen sind alle Wellenlängenbänder zwischen 200 und 2,5 mm sowie die Rauigkeitstiefe bei der 5 mm Wellenlänge.

3.4 Akustik

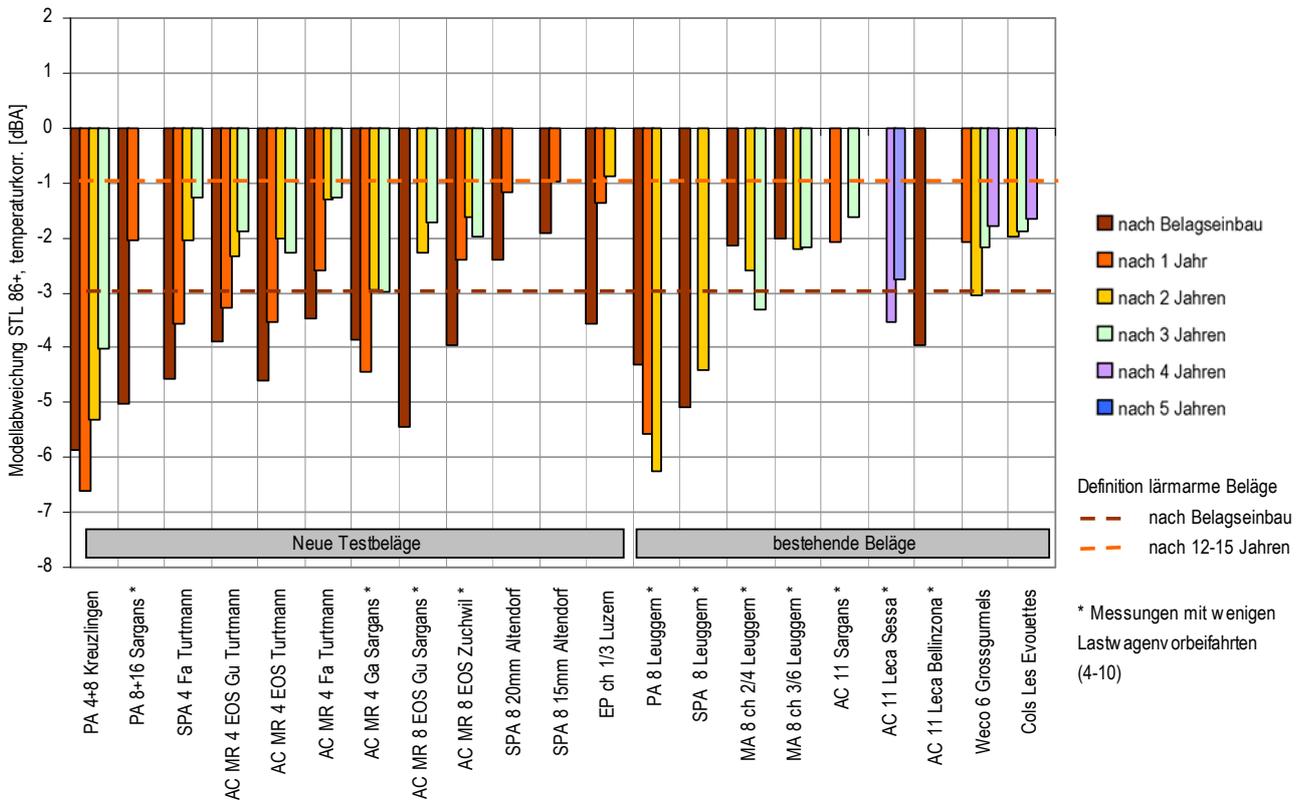
3.4.1 Vergleich der Belagsakustik der Teststrecken

Für die Berechnung der akustischen Belagsgüte wurde einheitlich ein Lastwagenanteil von 8% am Gesamtverkehr angenommen, was einem mittleren Wert für den Verkehr im Innerortsbereich entspricht. Diese Resultate erlauben Aussagen über die Lärmemission des durchschnittlichen Verkehrsmixes auf den Testbelägen und sind somit mit der Lärmschutzverordnung und dem Leitfaden Strassenlärm kompatibel.

Die akustischen Belagsgütewerte, die nur auf Personenwagen-Vorbeifahrten beruhen, sind im Anhang 8 abgebildet.

Abb. 9 > Akustische Belagsgüte bei Mischverkehr

Resultate der Messkampagnen 2004 bis 2007. Die Werte zeigen die Abweichung vom Modell StL-86+, welches von einem durchschnittlichen, akustisch neutralen Asphaltbelag ausgeht. Berechnet wurden die Abweichungen für einen Verkehrsmix mit einem Anteil von 8% Lastwagen am Gesamtverkehr. Messungen mit weniger als 4 Lastwagenvorbeifahrten sind nicht dargestellt.



* Messungen mit wenigen Lastwagenvorbeifahrten (4-10)

Bei den meisten neuen Testbelägen wurde eine Anfangslärminderung von -3 dBA erreicht oder deutlich übertroffen, wie sie gemäss Definition für lärmarme Beläge im Innerortsbereich (Abb. 1) gefordert wird. Der Twinlayer-Belag in Kreuzlingen erzielte sogar eine Anfangslärminderung von -6 dBA, was akustisch gleichbedeutend ist mit einer Reduktion des Verkehrs um 75 %.

Anfangslärminderung

Die geforderte Anfangslärminderung nicht erfüllt haben die zwei nachträglich in Altendorf eingebauten SPA 8-Beläge sowie die zwei Abstreuerungen 2/4 und 3/6 auf Gussasphalt in Leuggern.

Die bestehenden Beläge in Sessa (AC 11 Leca), Grossgurmel (Wecophone) und Evoettes (Colsoft) wurden bereits vor dem Jahr 2004 eingebaut, weshalb keine Aussage zu den Anfangslärminderungen gemacht werden können.

Der entscheidende Faktor bei der Entwicklung lärmarmen Beläge ist die akustische Dauerhaftigkeit. Diese kann nach der bisherigen Beobachtungsperiode von 3 Jahren noch nicht schlüssig beurteilt werden. Die Messwerte zeigen aber tendenziell folgendes Verhalten:

Akustische Dauerhaftigkeit

- > Bei allen neu eingebauten Testbelägen und bei den meisten bestehenden Belägen nahm die akustische Belagsgüte mehr oder weniger stark ab. Die Abnahme betrug in den ersten 3 Jahren zwischen 1 und 3 dBA.
- > Die Abnahme der akustischen Belagsgüte verlangsamte sich im dritten Jahr. Die akustische Alterung der Beläge verläuft somit – wie erwartet – in einer asymptotischen Kurve.
- > Beläge auf wenig befahrenen Strecken (Leuggern, Sessa) konnten ihre akustisch günstigen Eigenschaften wesentlich besser behalten als die Testbeläge auf Strassen mit hohem Verkehrsaufkommen.
- > Das beste akustische Langzeitverhalten über 3 Jahre wiesen bisher die offenporigen Beläge in Kreuzlingen (Twinlayer) und Leuggern (PA 8) mit Hohlraumgehalten von ca. 25 Vol% auf. Die anfänglich sehr gute akustische Eigenschaft des Twinlayers in Kreuzlingen nahm in den letzten 2 Jahren deutlich ab, gleichzeitig musste festgestellt werden, dass die Poren weitgehend verstopft sind, was auch durch eine intensive Reinigung nicht geändert werden konnte. Trotz verstopfter Poren weist der Belag nach 3 Jahren noch eine Lärminderung von -4 dBA auf.
- > Beim offenporigen Twinlayer-Belag in Sargans wurde die Textur – bedingt durch Einbaumängel (ungenügende Verdichtung) und durch Scherbeanspruchung auf der Strasse – zerstört. Er büsste dadurch seine sehr günstige Anfangslärminderung weitgehend ein und wurde deshalb nicht mehr weiter untersucht.
- > Von den neu eingebauten, semi-dichten Belägen zeigt der AC MR 4-Belag in Sargans das beste akustische Verhalten nach 3 Jahren. Gleichzeitig weist er mit einem Hohlraumgehalt von 16 Vol% den höchsten Wert der semi-dichten Beläge auf.

Bei den bestehenden Belägen in Leuggern ist festzustellen, dass ihre akustische Belagsgüte annähernd gleich geblieben ist oder sich sogar verbessert hat. Dazu kann folgendes gesagt werden:

Spezialfall Leuggern

- > Grundsätzlich sind die Werte für den Mischverkehr in Leuggern mit Vorsicht zu interpretieren, da sie auf weniger als 10 Lastwagen-Vorbeifahrten beruhen. Es kann aber darauf verwiesen werden, dass die Werte für Personenwagen ein vergleichbares Bild liefern. Die Werte für die akustische Belagsgüte von Personenwagen-Vorbeifahrten finden sich im Anhang 8.
- > Die Versuchsstrecke hat wenig Verkehr (ca. 2000 Fahrzeuge pro Tag), wodurch die akustische Belagsalterung stark verzögert ist.
- > Die Testbeläge liegen im Ausserortsbereich mit einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Bei diesen Geschwindigkeiten kann man bei offenporigen Belägen – wie auf den Autobahnen – einen gewissen Selbstreinigungseffekt erwarten.
- > Beim PA 8-Belag in Leuggern wurde eine deutliche Verbesserung der akustischen Belagsgüte in den ersten 2 Jahren beobachtet. Auch beim Twinlayer in Kreuzlingen trat eine anfängliche Verbesserung im ersten Jahr ein. Dieser Effekt einer Anfangsverbesserung wurde auch bei anderen Versuchen mit offenporigen Belägen festgestellt. Eine mögliche Erklärung wäre darin zu suchen, dass durch das Abfahren des Bindemittelfilms in den ersten Monaten mehr kommunizierende Poren an der Oberfläche freigelegt werden und somit die Absorptionseigenschaft vergrössert wird.
- > Auch bei der feinkörnigen Abstreuerung 2/4 in Leuggern konnte eine Verbesserung der Belagsgüte festgestellt werden. Sie kann darauf zurückgeführt werden, dass v.a. bei hohen Belagstemperaturen die vorstehenden Körner in den Belag eingedrückt wurden, wodurch die Reifenanregung vermindert wird.

Von den 12 neu eingebauten Testbelägen weisen nach 3 Jahren noch 8 Beläge eine Lärminderung von mindestens –1 dBA auf. Es wird sich in den nächsten Jahren zeigen, ob diese Beläge auch nach 12 bis 15 Jahren noch eine Chance haben um 1 dBA leiser zu bleiben als der vom Modell angenommene durchschnittliche Schwarzbelag, und ob sie damit die Anforderungen für lärmarme Beläge innerorts noch erfüllen werden.

Definition lärmarme Beläge erfüllt?

Testbeläge mit wenig Verkehrsaufkommen verlieren ihre akustischen Eigenschaften weniger schnell als solche mit einem hohen Verkehrsaufkommen. Um diesen Zusammenhang genauer darzustellen, wurde in Abbildung 10 die akustische Belagsgüte in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung aufgetragen. Als Mass wurden die Anzahl Vorbeifahrten auf dem jeweiligen Fahrstreifen seit Einbau des Belags aufgrund des DTV berechnet. Auf eine Gewichtung zwischen Personenwagen und Lastwagen wurde verzichtet. Die Darstellung erlaubt folgende Schlüsse:

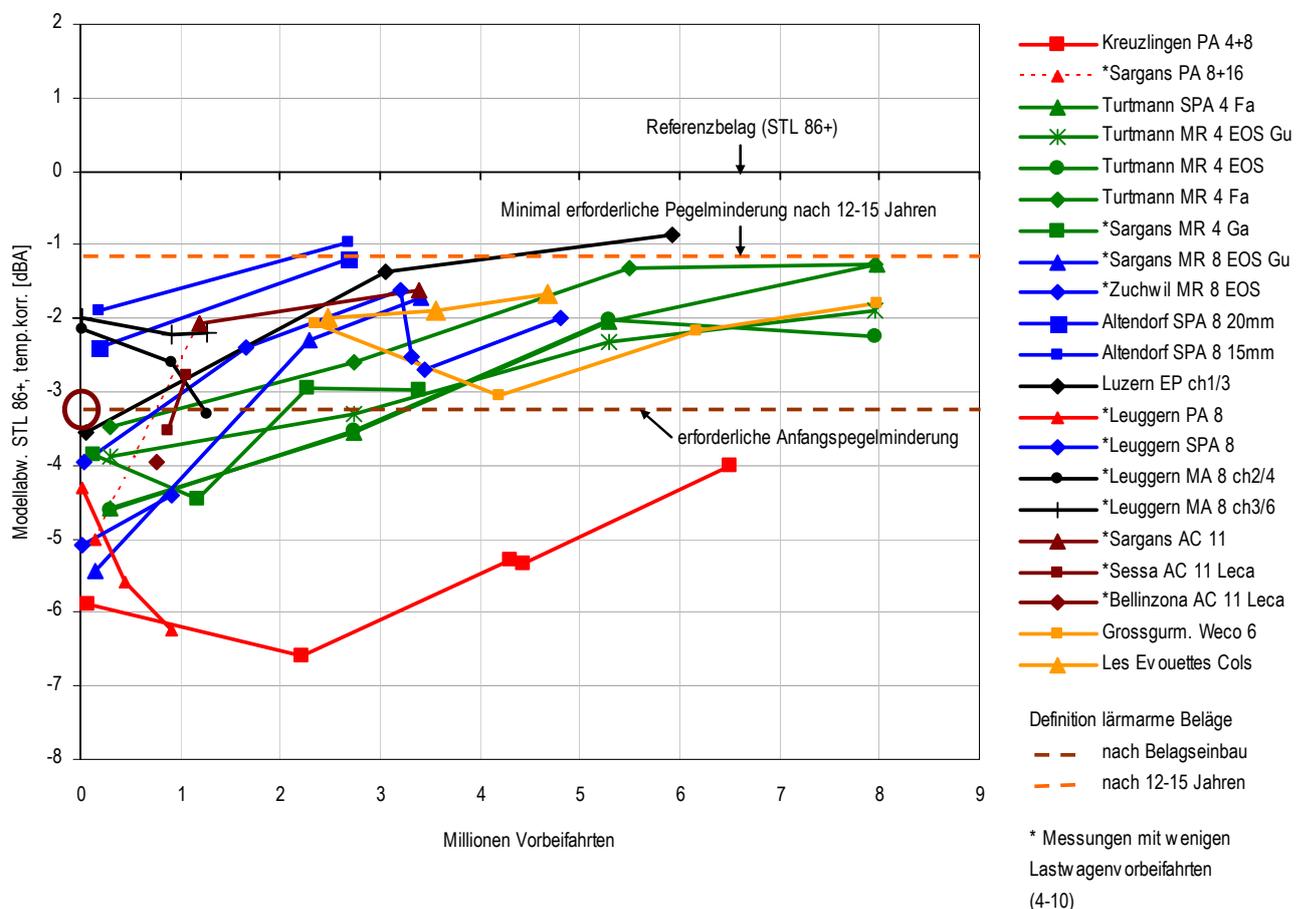
Verkehrsbelastung

- > Die durch die Verkehrsbelastung dargestellten «Alterungskurven» verlaufen ungefähr parallel und weisen den postulierten asymptotischen Alterungsverlauf auf. Dies zeigt, dass bei den Testbelägen die Verkehrsbelastung der wichtigste Faktor für die akustische Alterung der Beläge darstellt.

- > Das günstigste akustische Langzeitverhalten weisen die offenporigen Beläge (rot) auf, gefolgt von den feinkörnigen 4er-Belägen (grün). Die grobkörnigeren 8er-Beläge (blau) und 11er-Beläge (braun) sowie die Abstreuerungen (schwarz) zeigen über die ganze Spanne ein weniger günstiges akustisches Langzeitverhalten.
- > Der Wecophone-Belag mit einem 6er-Korn weist ein ähnlich günstiges Langzeitverhalten bezüglich Verkehrsbelastung auf wie die untersuchten 4er-Beläge.
- > Der AC MR 8-Belag in Zuchwil wurde nach gut 3 Mio. Vorbeifahrten gereinigt. Die durch die Reinigung erzielte kurzfristige Verbesserung der akustischen Belagsgüte kann aus der Grafik abgelesen werden.
- > Beim offenporigen PA 8-Belag in Leuggern bleibt abzuwarten, ob er sich mit zunehmender Verkehrsbelastung ähnlich verhält wie der offenporige PA 4+8-Belag in Kreuzlingen, oder ob die höhere gefahrene Geschwindigkeit von 80 km/h in Leuggern dazu führt, dass die Poren auch langfristig nicht verstopfen.

Abb. 10 > Akustischen Belagsgüte für Mischverkehr 8 % in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung

Zur Berechnung der Anzahl Vorbeifahrten seit Belagseinbau wurde der durchschnittliche tägliche Verkehr zugrunde gelegt.
 Rot: Offenporige Beläge, Grün: 4er-Beläge, Blau: 8er-Beläge, Braun: 11er-Beläge, Schwarz: Abstreuerungen,
 Orange: Spezialbeläge.



3.4.2 Analyse der Lärm-Frequenzspektren

Die Veränderungen der Lärm-Frequenzspektren während der ersten drei Jahre seit Einbau der Beläge können Auskunft darüber geben, welche Lärmentstehungsmechanismen für die Zunahme (oder Abnahme) der akustischen Belagsgüte verantwortlich sind. Als Beispiele werden in Abb. 11 bis 13 die Frequenzdiagramme von 3 Testbelägen dargestellt, im Anhang 11 sind die Frequenzspektren aller Beläge abgebildet. Die Frequenz wird beim maximalen Vorbeifahrtspegel aufgezeichnet, dargestellt sind die A-bewerteten Mittelwerte der Personenwagen.

Abb. 11 > Frequenzdiagramm: PA 4+8
Teststrecke Kreuzlingen, nur PW's

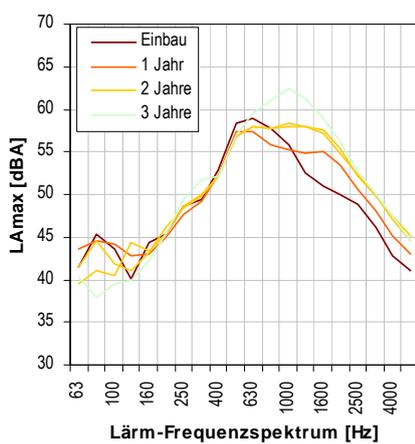


Abb. 12 > Frequenzdiagramm: SPA 4
Teststrecke Turtmann, nur PW's

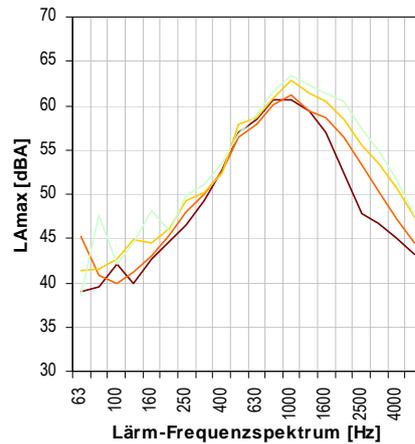
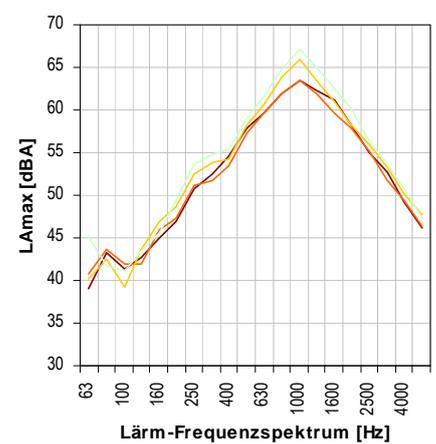


Abb. 13 > Frequenzdiagramm: AC 11 Leca
Teststrecke Bellinzona, nur PW's



Beim Twinlayer-Belag in Kreuzlingen (Abb. 11) ist zu erkennen, dass im ersten Jahr die Pegel im tiefen Frequenzbereich zwischen 630 und 1000 Hz abgenommen und im Frequenzbereich über 1000 Hz zugenommen haben. Insgesamt wurde der Belag im ersten Jahr geringfügig leiser, was möglicherweise auf eine Zunahme der Absorptionseigenschaft im ersten Jahr durch das Abfahren des Bindemittelfilms zurückgeführt werden kann. Anschliessend nahm der Lärmpegel im Bereich um 1000 Hz markant zu. Die Ursache ist bei der Abnahme der Absorptionseigenschaften (Verstopfung) ebenso wie bei einer Zunahme der Rauigkeit des Belags zu suchen, was zu einer erhöhten mechanischen Anregung der Reifen führte.

Beispiel Twinlayer

Beim SPA 4-Belag in Turtmann (Abb. 12) zeigt das Lärm-Frequenzspektrum, dass die Pegel im hohen Frequenzbereich markant zugenommen haben, d.h. das Zischen bei den Vorbeifahrten hat sich in den letzten 3 Jahren verstärkt. Dies lässt sich mit einem Verlust an Makrotextur erklären. Die im Pneu eingepresste Luft kann nicht mehr durch die Belagstextur entweichen, was zu einem verstärkten «Air-Pumping»-Effekt, also zum genannten Zischen führt.

Beispiel SPA 4

Im dritten Beispiel, dem AC 11-Belag in Bellinzona (Abb. 13) kann am Frequenzspektrum abgelesen werden, dass ab dem 2. Jahr der Lärmpegel über alle Frequenzen hinweg zugenommen hat. Die visuelle Beurteilung zeigt, dass massive Kornausbrüche, vor allem der Leca-Körner – welche zu Beginn möglicherweise noch eine absorbierende Wirkung hatten – stattgefunden haben und deshalb die mechanische Anregung der Pneus deutlich zugenommen hat und der Belag dadurch seine lärmindernde Wirkung vollständig verloren hat.

Beispiel AC 11 Leca

3.5 Zusammenhänge Belagseigenschaften / Lärm

3.5.1 Allgemeine Bemerkung

Zwischen der anfänglichen Lärminderung und den belagstechnischen Eigenschaften – Hohlraumgehalt, SRT, Ausflusszeit, MTD – lassen sich einzig für den Hohlraumgehalt Zusammenhänge feststellen. Dies zeigen die im Anhang 6 aufgeführten Gegenüberstellungen.

Aus den charakteristischen Grössen des Oberflächenprofils – MPD, Gestaltfaktor, Texturwellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe – wurden einige zusätzliche Zusammenhänge identifiziert. Besprochen wurde schon die Bedeutung des Gestaltfaktors in Bezug auf die Reifen/Fahrbahn-Geräusche: es wurde festgestellt, dass ein Gestaltfaktor von über 60 % weder eine notwendige noch eine genügende Voraussetzung für das Erlangen eines lärmarmen Belages ist. Die im Anhang 7 aufgeführten Gegenüberstellungen und im Anhang 11 dargelegten Texturspektren zeigen die gesamten Messergebnisse.

Es folgen einige Erläuterungen zum Potential des Hohlraumgehalts, der mittleren Profiltiefe und der Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe die Belagsakustik zu beeinflussen.

3.5.2 Hohlraumgehalt

Die in Abb. 14 dargestellte Kurve der anfänglichen Lärminderung aller untersuchten Belagssorten in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts zeigt eine positive Korrelation zwischen den beiden Messwerten. Ausreisser nach einer Nutzungsdauer von drei Jahren bilden die abgestreuten MA Beläge in Leuggern.

Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erfahrungen mehrerer anderer Forschungsprojekte im Ausland und führte in verschiedenen Ländern zur Entwicklung von hohlraumreicheren Dünnschichtbelägen mit Hohlraumgehalten zwischen 10 und 15 %, so genannte feinkörnige, halbdichte Dünnschichtdecken.

Wichtig ist auch die Unterscheidung zwischen zusammenhängenden und nicht zusammenhängenden Hohlräumen. Zusammenhängende Poren sind für die Reduktion des

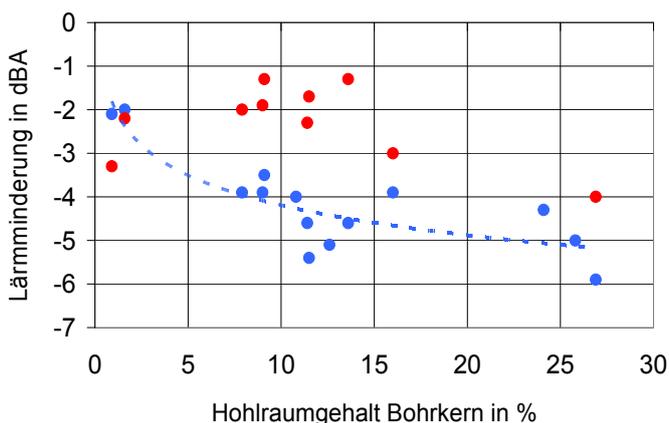
Air-Pumping-Geräuschs sowie für die Schallabsorption von Bedeutung. Dass die Poren bereits bei tiefen Hohlraumgehalten (3...4 Vol.-%) nicht als einzelne in sich abgeschlossene Poren auftreten, sondern – wenn auch in geringem Masse – zusammenhängen, ist aus [10] bekannt.

Dies bedeutet, dass es keinen «Grenzhohlraumgehalt» gibt, ab welchem die Poren als zusammenhängendes System betrachtet werden müssen. Entscheidend ist der Anteil «akustisch wirksamer» Poren; d. h. der Anteil an Poren, die mit der Belagsoberfläche kommunizieren.

Bei der Betrachtung der Hohlräume ist auch zu beachten, dass der gleiche Hohlraumgehalt sowohl aus vielen kleinen, als auch aus wenigen grossen Poren bestehen kann. Diesbezügliche wissenschaftliche Untersuchungen sind im Hinblick auf das akustische Verhalten nicht bekannt. Immerhin ist die Aussage von Serfass [16] interessant, dass Kaltmischbeläge kurz nach dem Einbau – bei gleichem Hohlraumgehalt – etwa 20 Mal mehr Poren enthalten als Heissmischbeläge. Auch in [15] wurde aufgezeigt, dass die Art der Verdichtung eines Belages einen Einfluss auf die Grössenverteilung der Poren hat, selbst bei gleichem Gesamtgehalt an Hohlräumen. Beläge mit vielen feinen Poren könnten im Vergleich zu Belägen mit wenigen grossen Poren bessere Lärmeigenschaften aufweisen da die Schallabsorption durch eine höhere spezifische Porenoberfläche begünstigt wird.

Abb. 14 > Akustische Alterung und Hohlraumgehalt am Bohrkern

Die Lärminderung für Mischverkehr 8 % nimmt mit dem Hohlraumgehalt tendenziell zu.
Blaue Punkte: nach Einbau; rote Punkte: nach 3 Jahren.



3.5.3 PA Beläge

Der PA 4 / PA 8 Twinlayer Belag in Kreuzlingen hat im ersten Jahr (unter einer Verkehrsmenge von 2,2 Millionen Fahrzeuge) seine ausgezeichneten Ausgangslärmeigenschaften um noch 0,7 dBA verbessert. Während dieser Zeit blieb der Belag wasserundurchlässig (Tab. 12). Es folgte ab dem zweiten Nutzungsjahr eine Abnahme der akustischen Belagsgüte. Gleichzeitig wurde der Belag wasserundurchlässig. Die visuelle Beobachtung eines gespaltenen Bohrkerns (Abb. 15) zeigt, wie sich die obere Schicht mit einem sandigen Material verstopft hat, während die Hohlräume der unteren Schicht leer geblieben sind (Bohrkernentnahme vom September 2006).

Während der Beobachtungszeit von drei Jahren beträgt die Lärmzunahmerate im Schnitt 0,3 dBA pro Million Vorbeifahrten (Abb. 8). Dies entspricht ungefähr 0,7 dBA pro Jahr und ist vergleichbar mit den Ergebnissen eines Projektes in der Stadt Kopenhagen in dem für doppelschichtige PA-Beläge mit unterschiedlichen Schichtdicken Lärmzunahmeraten von 0,4 dBA, 1,0 dBA und 1,3 dBA gemessen wurden.

Abb. 15 > Gespaltener Bohrkern des 4+8 PA Belags in Kreuzlingen

Die obere 0/4 Schicht (12 mm) ist verstopft, der Hohlraum der unteren 0/8 Schicht (30 mm) ist weitgehend frei von Schmutz



Der Schmutz in der oberen Schicht verhindert die Schallabsorption weitgehend. Gleichzeitig ist eine gewisse Selbstreinigung zu beobachten (Anhang 11), da im Vergleich zu der unbefahrenen Belagsoberfläche, der Bereich der Radspur durch zahlreiche Poren gekennzeichnet ist. Diese Poren tragen zur Reduktion des «air pumping»-Effektes, sodass im Endeffekt der verstopfte PA 4 akustisch wirksam bleibt.

Verschmutzung

Der PA 8 Belag in Leuggern besitzt auffallend stabile Lärmeigenschaften (Abb. 7 und Anhang 9). Er hat sich ähnlich wie der junge PA 4 in Kreuzlingen akustisch verbessert (von -4,3 dBA auf -6,3 dBA). Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtungen könnte Selbstreinigung sein (siehe 3.3.1). Diese ist auf dem Texturspektrum mit einer allgemeinen Zunahme der Rauigkeitstiefe zwischen 2 und 10 mm Wellenlänge ersichtlich. Im Herbst 2007 wurden 8er-Kornausbrüche beobachtet, die sehr wahrschein-

lich bereits im Jahr 2005 begonnen hatten, wie dies die Erhöhung der mittleren Profiltiefe von 1,1 mm zu 1,4 mm vermuten lässt (Tab. 9).

Es wurde schon angedeutet (siehe 3.4.1), dass bei den PA Belägen im jungen Alter die Tendenz einer Verbesserung ihrer Lärmeigenschaften auftritt. Dabei handelt es sich keinesfalls um Zufälle. Auch Messergebnisse aus Dänemark und Schweden [17] zeugen vom selben Phänomen. Eine gesicherte Erklärung liegt nicht vor; sie wäre aber ein nützliches Indiz im Hinblick auf die Verlängerung der akustischen Lebensdauer der PA Beläge.

Wir haben mit lediglich 3 PA Belägen keinen Hinweis darauf, ob Twinlayer-Beläge im Vergleich zu einschichtigen Belägen vorteilhaft für Luftströmung und Schallabsorption sind. Der Belag PA 8 in Leuggern verhält sich deutlich dauerhafter als der Belag PA 4+8 in Kreuzlingen aber seine Anfangslärminderung im Vergleich zu den beiden doppelschichtigen PA's liegt klar tiefer. Die Randbedingungen unterscheiden sich sehr, da in Leuggern kaum 400'000 Fahrzeuge pro Jahr zirkulieren und deren Geschwindigkeit relativ hoch ist. Dazu kommt noch, dass die Schichtdicke eine wesentliche Rolle bei der Lärmabsorption spielt. Daher müsste man, um zuverlässige Vergleiche zu ziehen, ähnliche Schichtdicken und Verkehrsaufkommen beabsichtigen.

3.5.4 AC MR und SPA-Beläge

Für AC MR und SPA Beläge konnte ein Zusammenhang zwischen der Texturtiefe (hier der MPD Wert) und der Belagsakustik festgestellt werden (Abb. 16). Eine Reduktion der mittleren Texturtiefe hat unmittelbar eine Zunahme des Lärms zur Folge. Die Reduktion der Texturtiefe kann entweder durch Verschmutzung erfolgen – das Beispiel der Reinigung des AC MR 8 EOS Belags in Zuchwil bewirkte eine Zunahme des MPD Wert und folglich eine Abnahme des Lärms – oder durch eine irreversible, beanspruchungsbedingte Veränderung der Oberflächentextur. Da im Rahmen des Projektes nur Mineralien mit hohem Polierwiderstand (PSV) verwendet wurden, kann der Einfluss des Polierwiderstandes auf die Texturveränderungen nicht evaluiert werden. Es zeigt sich jedoch, dass andere, wichtige Faktoren im Spiel sind. Es ist anzunehmen, dass die Verkehrsbeanspruchung bei hohen Temperaturen die Ursache dieser Veränderungen der Oberflächentextur ist.

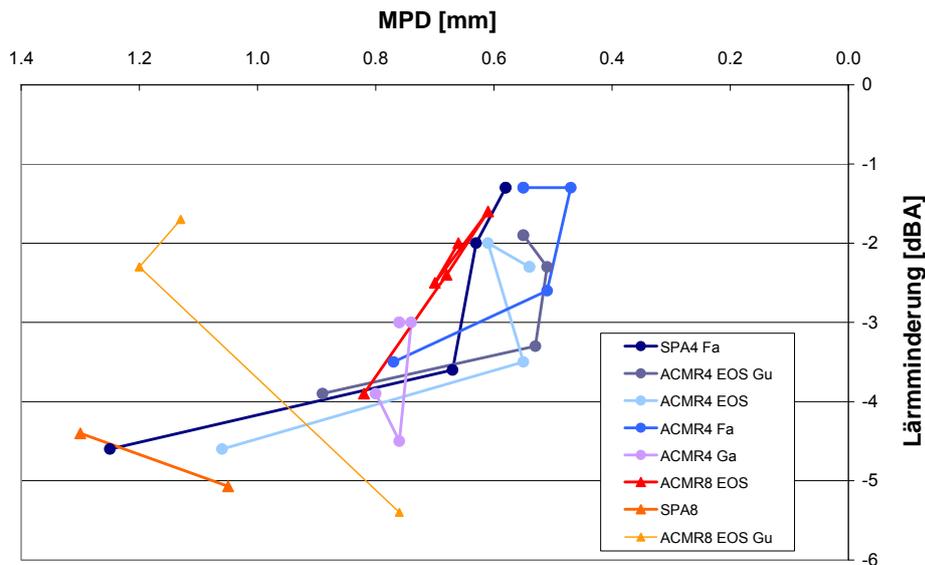
Der AC MR 8 Belag mit EOS und Gummigranulate in Sargans ist ein Beispiel für die entgegen gesetzte Tendenz: der Belag wird nicht durch das Abflachen der Textur lauter, sondern wegen einer Zunahme seiner Rauigkeit durch Gummigranulat- und Kornausbrüche.

Im Rahmen des SILVIA-Projektes [14] wird davon ausgegangen, dass für einen leisen Belag eine Texturtiefe von mindestens 0,5 mm notwendig ist. Die vorliegenden Messergebnisse für SPA und AC MR Beläge bestätigen diese Grundregel. Bei einem MPD Wert von $0,6 \pm 0,1$ mm findet eine Wende des Lärmverhaltens statt. Oberhalb von $MPD \cong 0,8$ mm erreichen die meisten Beläge eine Lärmreduktion von 3 dBA und mehr; unterhalb dieses Wertes werden tiefere Lärmreduktionen beobachtet.

Profiltiefe / Lärm
ACMR und SPA – Beläge

Abb. 16 > Modellabweichung in Abhängigkeit der mittlere Profiltiefe MPD der AC MR und SPA Beläge

Eine grobe Einteilung der Messergebnisse führt zum Schluss, dass Beläge mit einem MPD Wert über 0,8 mm die -3 dBA Anforderung erfüllen können. Ausserdem hat die Reinigung des AC MR 8 EOS in Zuchwil (rote Dreiecke) dazu geführt, dass MPD und Modellabweichung kurzfristig zugenommen haben.



Die Veränderung der Textur der in Abb. 16 aufgeführten Beläge kann auf den Texturspektren im Anhang 9 verfolgt werden. In der Regel ist die Korrelation zwischen den Lärmessungen und den Texturspektren im Fall von dichten Belägen befriedigend, weil die Schallabsorption vernachlässigbar ist. Die Belagsakustik wird bei diesen Belägen fast ausschliesslich durch die Oberflächentextur geprägt. Der bekannte positive Einfluss der Rauigkeitstiefen der Wellenlängen kleiner 12 mm ist deutlich erkennbar. Eine solche Korrelation ist im Fall von offenporigen Belägen wegen der Schallabsorption im Porenvolumen nicht gegeben [19].

3.6 Ergänzende Untersuchungen

3.6.1 Temperaturkorrektur (ergänzende Untersuchungen)

Gemäss ISO 11819–1 wird empfohlen, die Vorbeifahrtsmessungen auf 20 °C zu korrigieren. In der Norm wird aber offen gelassen, wie und mit welchem Faktor diese Temperaturkorrektur erfolgen soll. Für das Forschungsprojekt wurde anfänglich ein Korrekturfaktor aus der Literatur von 0,06 dBA/°C verwendet. Im Rahmen einer Zusatzuntersuchung wurde dieser Wert überprüft.

Verifizierung

Temperaturkorrektur-Faktoren

An einem sonnigen und heissen Sommertag mit grossen Belagstemperatur-Differenzen wurde von 6:00 morgens bis 19:00 abends an der Hauptstrasse zwischen Rubigen und Allmendingen bei Bern auf einem SPA 8-Belag sämtliche Vorbeifahrten gemessen und

gleichzeitig die Belags- wie auch die Lufttemperatur fortlaufend registriert (Abb. 17 und Abb. 18). Daraus wird ersichtlich, dass ein deutlicher Zusammenhang mit der Belagstemperatur besteht. Dies gilt sowohl für die Personenwagen als auch für Lastwagen. Die Korrelation mit der Belagstemperatur ergibt einen höheren Korrelationskoeffizienten als mit der Lufttemperatur.

Abb. 17 > Personenwagen-Vorbeifahrtspegel mit Belags- und Lufttemperaturen

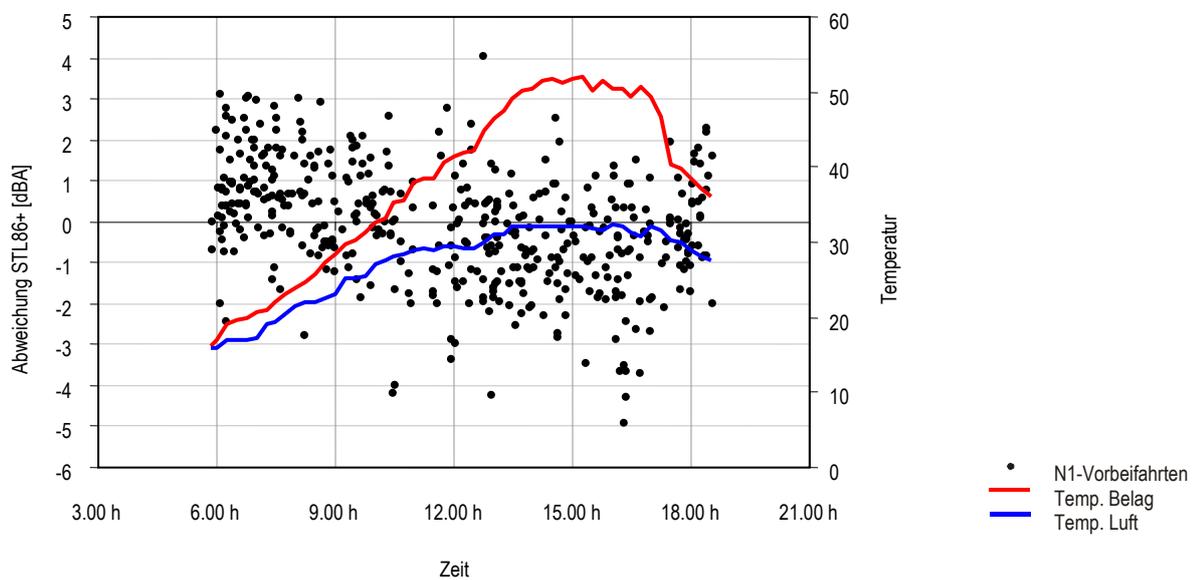


Abb. 18 > Lastwagen-Vorbeifahrtspegel mit Belags- und Lufttemperaturen

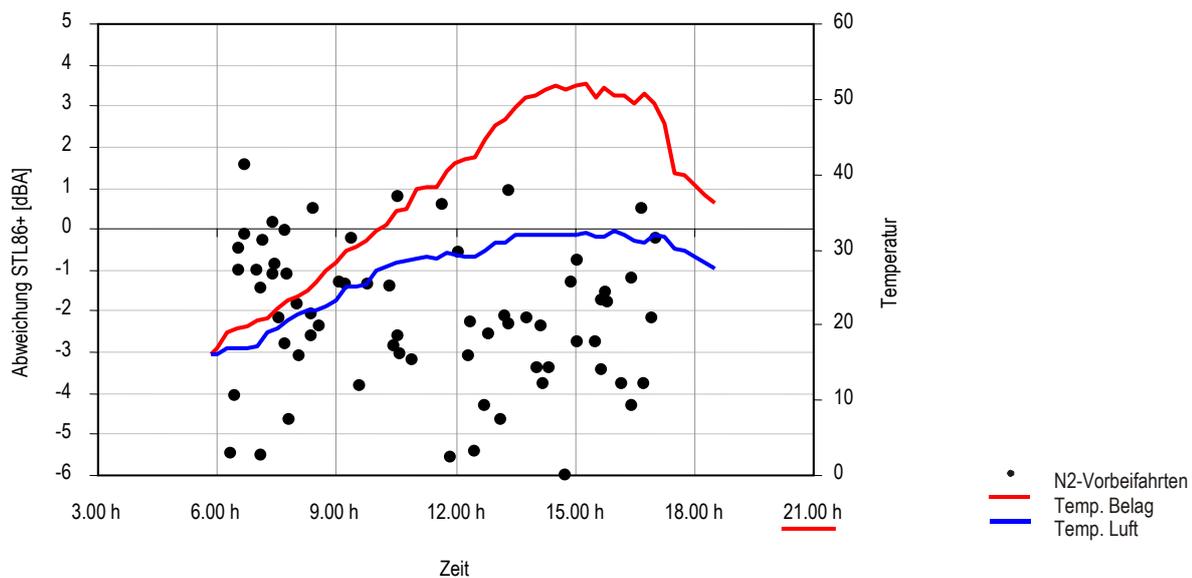


Abb. 19 > Korrelation Personenwagen-Vorbeifahrten mit Belagstemperatur

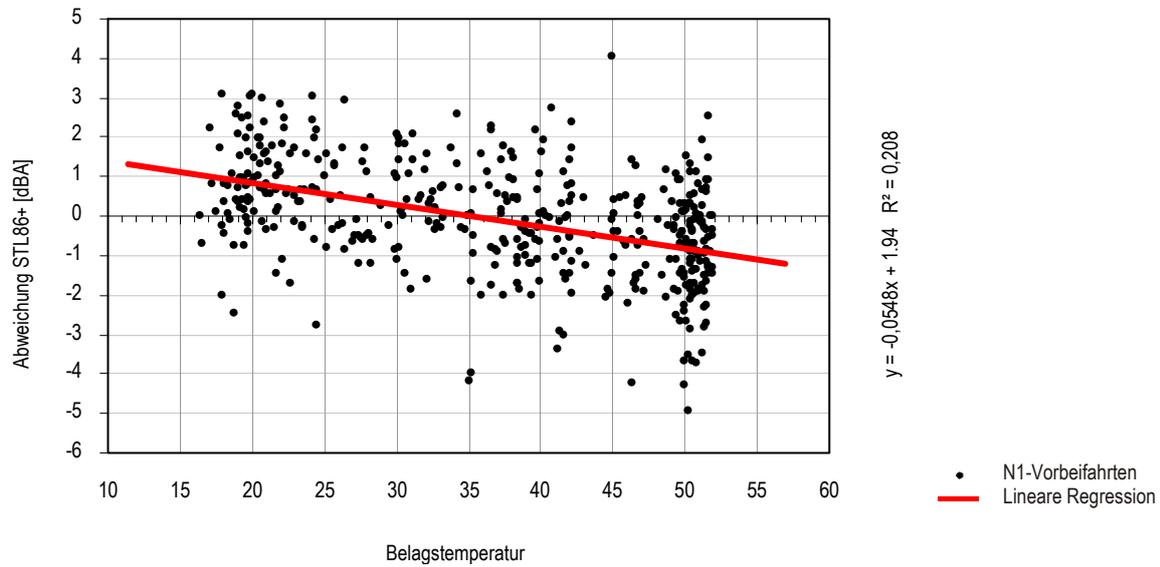
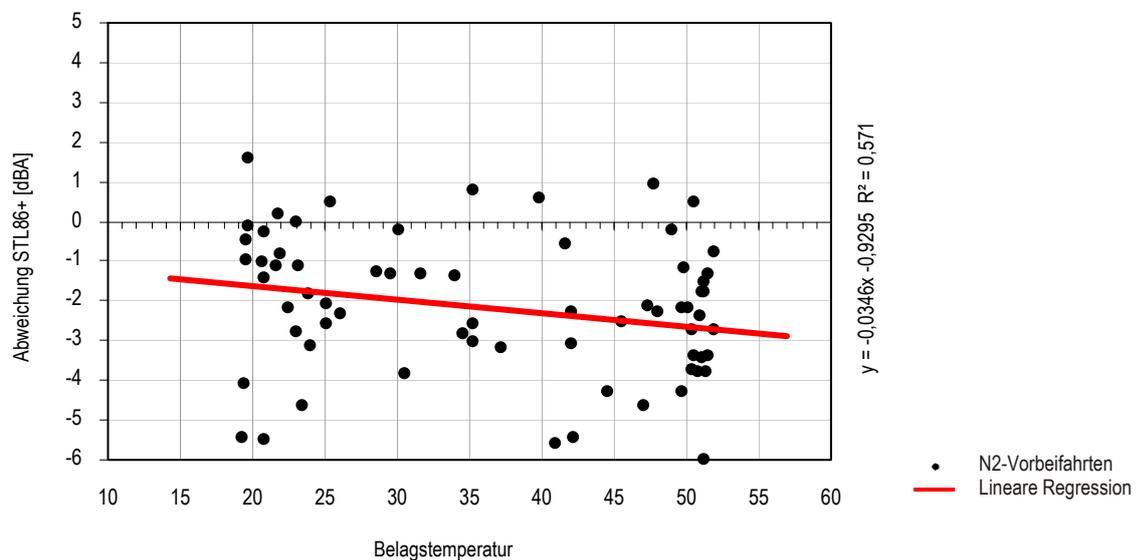


Abb. 20 > Korrelation Lastwagen-Vorbeifahrten mit Belagstemperatur



Werden die Vorbeifahrten mit der Belagstemperatur korreliert (siehe Abb21 und 22), so ergibt die lineare Regression einen Wert von $-0,055 \text{ dBA}/^\circ\text{C}$ für Personenwagen und von $-0,035 \text{ dBA}/^\circ\text{C}$ für Lastwagen. Im vorliegenden Bericht werden alle Werte der akustischen Belagsgüte mit den in Tab.11 angegebenen Werten temperaturkorrigiert.

Tab. 11 > Verwendete Temperaturkorrekturen für Personenwagen und Lastwagen

	Personenwagen N1	Lastwagen N2
dichte Beläge	-0,06 dBA/°C	-0,03 dBA/°C
offenporige Beläge	-0,04 dBA/°C	-0,03 dBA/°C

3.6.2 Einfluss der Belagsreinigung auf Textur und Lärm (ergänzende Untersuchungen)

Twinlayer PA 4 / PA 8

An einem Bohrkern nach der Reinigung erkennt man an der Oberfläche eine 2 bis 3 mm dicke Schicht, die effektiv vom Schmutz befreit wurde. Die restlichen 8 mm der oberen 0/4 Schicht bleiben verstopft, so dass keine Besserung der Wasserdurchlässigkeit festzustellen war (Tab. 12).

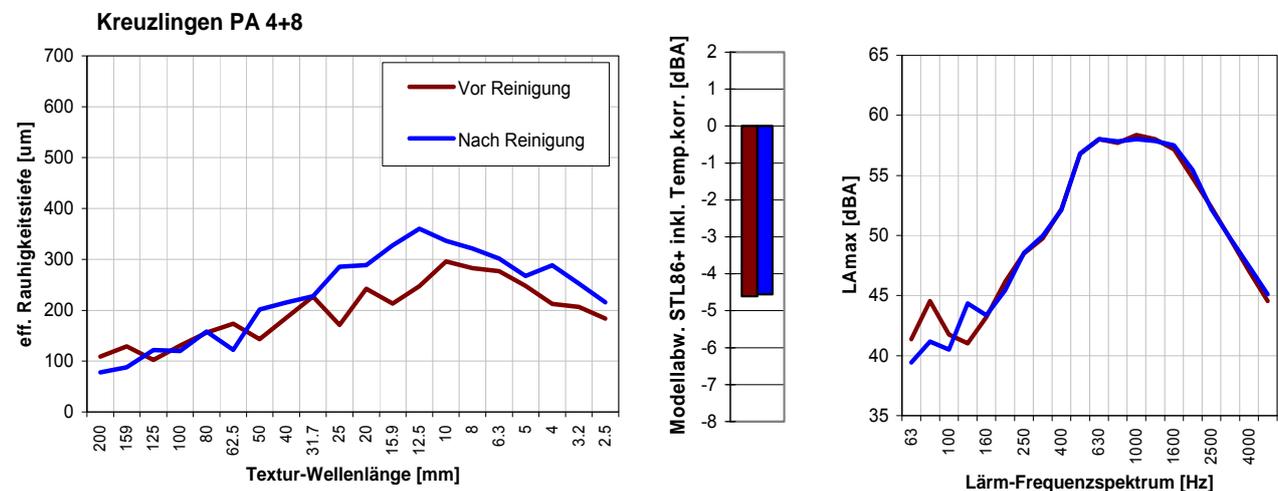
Einfluss Reinigung auf PA

Tab. 12 > Wasserdurchlässigkeit im Laufe der Zeit

l/min	Einbau	7,4	4,8	0	Reinigung	0
Datum	4.8.04	12.8.04	10.8.05	23.8.06	5.9.06	12.9.06

Die Ergebnisse der Makrotextur- und Lärmmessungen sind in Abb. 21 dargestellt. Das Wellenlänge-Spektrum zeigt eine deutliche Zunahme der Rauigkeitstiefe nach der Reinigung. Die Zunahme der Rauigkeitstiefe wird durch die parallele Zunahme des MPD-Werts bestätigt. Nach der Reinigung hat sich die mittlere Profiltiefe von 0,88 zu 1,02 mm verbessert. Das Lärm-Frequenzspektrum auf der rechten Seite der Abb. 22 hingegen wurde durch die Reinigung im für die Lärmimmission wichtigen Frequenzbereich um 1000 Hz nicht beeinflusst. Die akustische Belagsgüte hat sich nicht verändert.

Abb. 21 > Einfluss der Reinigung auf Makrotextur und Lärm, AC MR 8 EOS



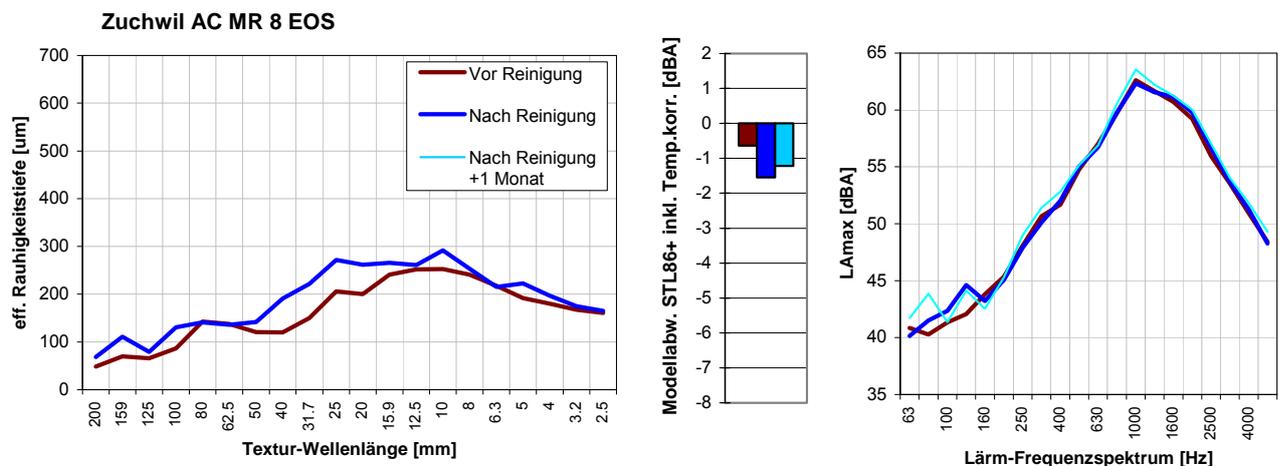
Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass sich entgegengesetzte Phänomene kompensieren. Auf der einen Seite ist die Zunahme der Rauigkeitstiefe im Wellenlängebereich 10 bis 50 mm für eine Erhöhung der Reifenvibrationen verantwortlich, auf der anderen Seite sind effizientere Luftentspannung und Schallabsorption in den Vertiefungen zu erwarten. Die Überlagerung beider Effekte führt dazu, dass die Reinigung keinen Einfluss auf den Lärmpegel hat. Wird der Pic der Schallabsorption bei 1000 Hz vermutet kann davon ausgegangen werden, dass die Schmutzbefreiung der 2–3 mm dicken Schicht die Absorption nicht beeinflusst hat.

AC MR 8 EOS

Der AC MR 8 Belag in Zuchwil wurde mit einer EOS Gesteinskörnung erstellt. Die Reinigung bewirkte eine Verbesserung um knapp 1 dBA. Ein Monat später hatte sich die akustische Belagsgüte wiederum verschlechtert.

Einfluss Reinigung auf AC MR 8

Abb. 22 > Einfluss der Reinigung auf Makrotextur und Lärm, AC MR 8 EOS



Das Wellenlängenspektrum zeigt eine Zunahme der Rauigkeitstiefe nach der Reinigung. Die mittlere Profiltiefe MPD erhöht sich von 0,61 zu 0,70 mm. Die Besserung der Lärmeigenschaften von $-0,7$ dBA auf $-1,6$ dBA ist im Lärm-Frequenzspektrum nicht wiedergegeben weil ungleiche akustische Energien einen identischen L_{max} Wert besitzen können.

Ähnlich wie beim vorherigen Beispiel, überlagern sich zwei entgegen gesetzte Phänomene. Die Zunahme der Rauigkeitstiefe im Wellenlängenbereich 5 bis 10 mm führt bei einem AC MR Belag zur Schwächung der aerodynamischen Lärmquelle («air-pumping»). Andererseits verursacht die Zunahme der Rauigkeitstiefe im Wellenlängenbereich 10 bis 50 mm eine Steigerung der Reifenvibrationen. Im Endeffekt überwiegen die günstigen Einflüsse, so dass die Reinigung einen geringfügigen positiven Effekt erzielt.

3.6.3 Zeitfenster der Abnahmemessung (ergänzende Untersuchungen)

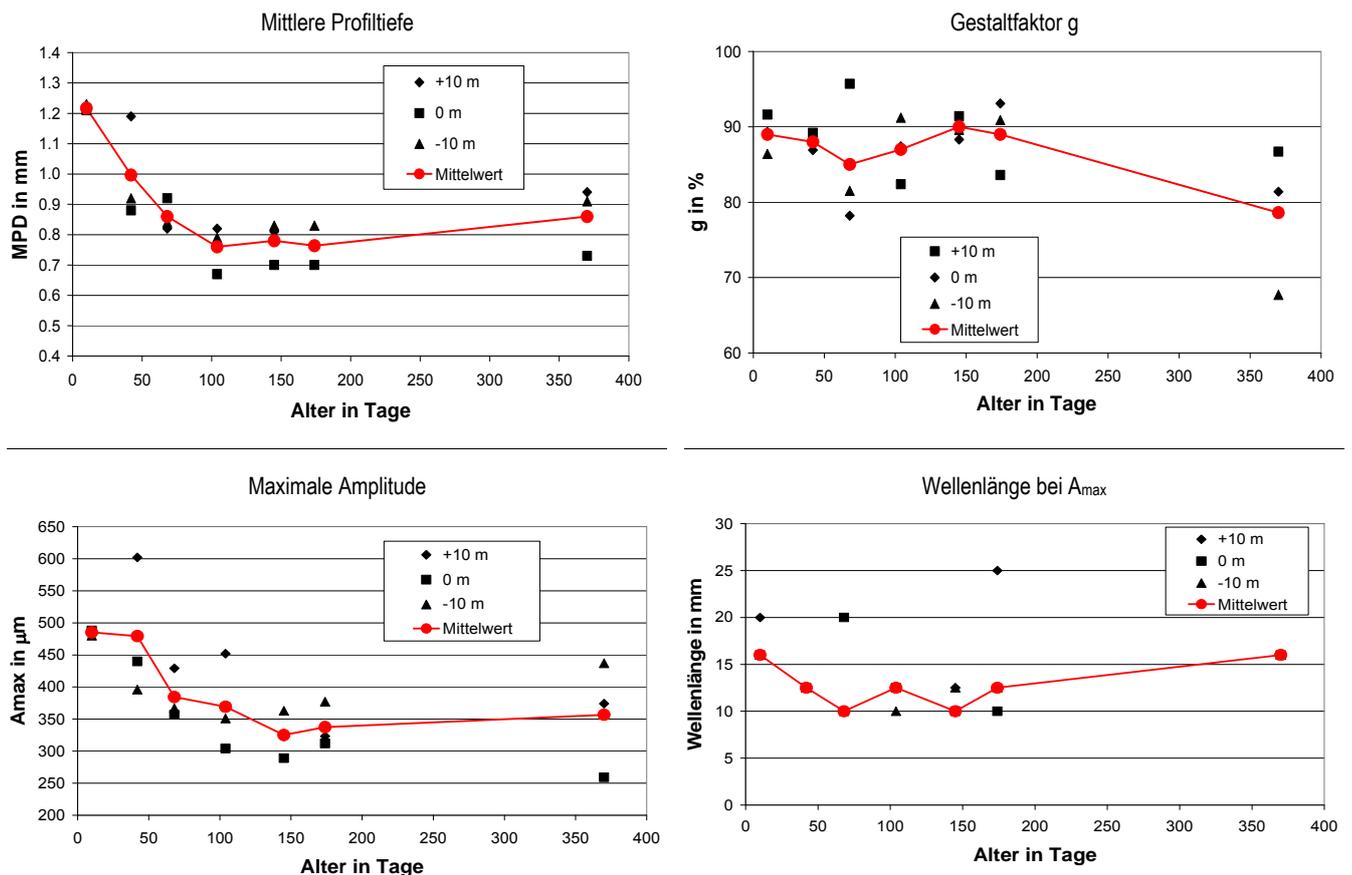
Die Belagsoberfläche erfährt vor allem während der ersten Wochen nach dem Einbau Veränderungen, die unter anderem auf Verschmutzung und Bitumenabrieb zurückzuführen sind. Zugleich muss in Betracht gezogen werden, dass das frische Bitumen durch eine glänzende Oberfläche gekennzeichnet ist. Diese Tatsache beeinflusst die Laserstrahlreflexion, so dass für die Profiltiefe systematisch ein zu hoher Wert gemessen wird. Der Glanz an der Oberfläche geht durch Abrieb rasch verloren. Die Bitumenoberfläche in den Hohlräumen hingegen braucht eine gewisse Zeit bis sie matt wird und somit die Messung nicht mehr verfälscht.

Ergebnisse Makrotextur

Abb. 23 > Zeitliche Entwicklung der Makrotexturparameter

Die vier Diagramme zeigen:

a) Mittlere Profiltiefe MPD; b) Gestaltfaktor g; c) Maximale Rauigkeitstiefe A_{max} ; d) Wellenlänge bei A_{max} .



An den Messresultaten zeigt sich folgendes

- > Die mittlere Profiltiefe MPD der Belagsoberfläche unmittelbar nach dem Einbau beträgt 1,2 mm. Im Laufe der Zeit nimmt dieser Wert deutlich ab und erreicht erst nach etwa drei Monaten einen stabilen Wert von 0,8 mm. Zwischen 6 und 12 Mona-

te erhöht sich die mittlere Profiltiefe geringfügig. Die Abnahme beruht auf einem systematischen Messfehler und entspricht keineswegs der wirklichen Rauigkeit der Oberfläche. Parallele Messungen der Texturtiefe mit Hilfe der Sandfleckmethode zeigen, dass sich die Oberflächenrauigkeit nicht verändert: MTD im Juni = 0,79 mm und MTD im August = 0,80 mm.

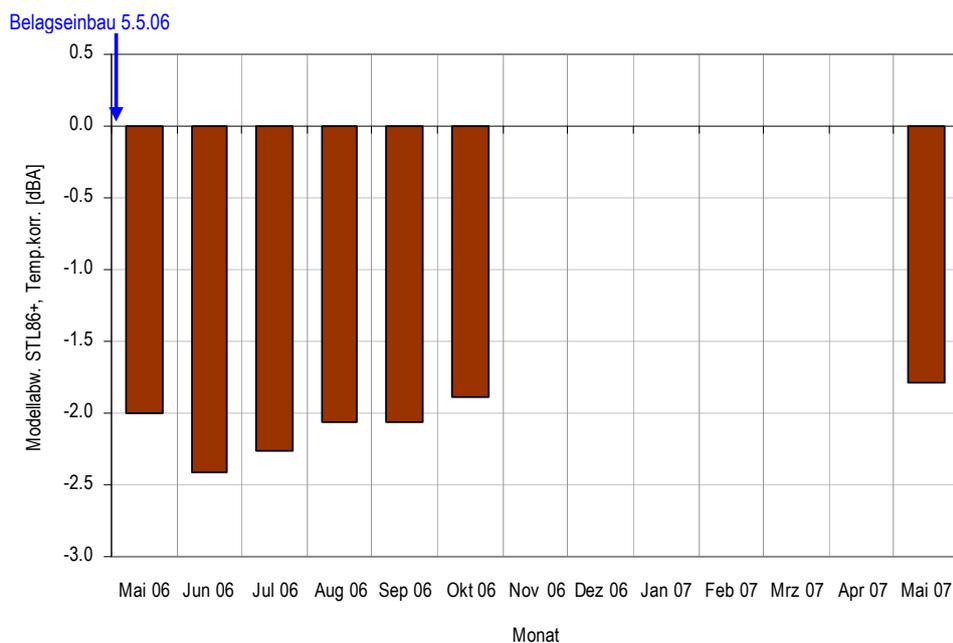
- > Der Gestaltfaktor g bleibt während den ersten 6 Monaten relativ konstant. Seine Werte schwanken im Schnitt zwischen 85 % und 90 %. Diese Abweichung liegt innerhalb der Präzision (± 5 %) der Messung. Während den 6 folgenden Monaten nimmt der Gestaltfaktor deutlich ab.
- > Die zeitliche Entwicklung des Texturspektrums zeigt, dass sich die maximale Rauigkeitstiefe A_{\max} , ähnlich wie die mittlere Profiltiefe MPD, erst nach drei Monaten stabilisiert. Der Ausgangswert liegt bei 480 μm und reduziert sich allmählich auf 350 μm nach etwa 100 Tage.
- > Die Wellenlänge bei A_{\max} schwankt während der ganzen Untersuchungsperiode, ohne dass eine Tendenz erkennbar wird. Am häufigsten liegt der Wert bei 10,0 mm und 12,5 mm; in Ausnahmefällen auch bei 15,9 mm, 20,0 mm und 25,0 mm.

Direkt nach dem Belagseinbau wurde eine akustische Belagsgüte für PW's von -2 dBA gemessen. Während des ersten Monats konnte eine leichte Verbesserung der Belagsgüte festgestellt werden, nahm denn aber kontinuierlich ab, wie das aufgrund der üblichen Belagsalterung erwartet werden konnte.

Ergebnisse der Lärmmessungen

Abb. 24 > Akustische Belagsgüte für Personenwagen nach Belagseinbau

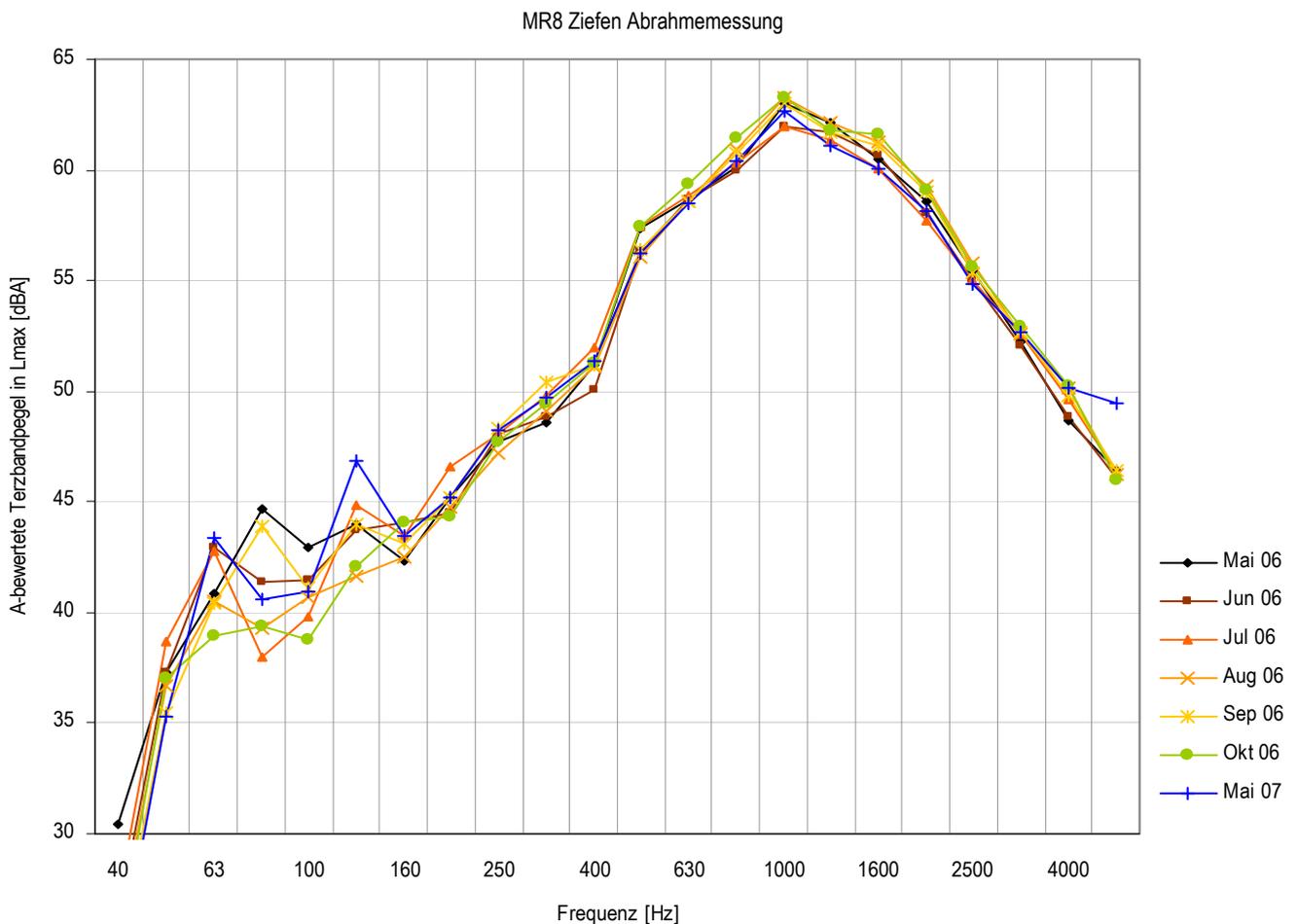
Nach dem Belagseinbau des AC MR 8 in Ziefen wurde während eines Jahres monatlich die akustische Belagsgüte gemessen, mit Ausnahme der Wintermonate. Dargestellt sind nur die Werte für Personenwagen.



Nach einem Jahr lag die Belagsgüte leicht unter dem – unmittelbar nach dem Einbau gemessenen – Ausgangswert. Zwischen der letzten Messung im Herbst und der ersten Messung im Frühling wurde nur eine geringfügige Abnahme gemessen, die innerhalb der Messungenauigkeit liegt. Somit konnte im (milden) Winter 2006/2007 keine signifikante Verschlechterung der akustischen Belagsgüte festgestellt werden.

Das Lärm-Frequenzdiagramm in Abb. 25 zeigt, dass sich keine auffälligen Veränderungen der akustischen Belagsgüte im ersten Jahr bei den massgeblichen Frequenzen über 500 Hz ergeben haben.

Abb. 25 > Lärmfrequenzdiagramme der Messungen AC MR 8 in Ziefen



Aus den vorliegenden Messresultaten lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- > Mit dem Laser-Profilometer liegen erst nach einem gewissen Belagsalter realistische Werte der Texturtiefe (MPD und A_{\max}) vor. Im Fall von Ziefen – bei einer Verkehrsbelastung von 1 Million Vorbeifahrten pro Jahr – beträgt das Mindestalter ca. 3 Monate. Diese Zeitspanne muss je nach Verkehrsaufkommen angepasst werden.
- > Der Gestaltfaktor ist von dem Glanz der Oberfläche nicht beeinflusst.
- > Die Lärminderung nimmt während der ersten Nutzungstage leicht zu.
- > Die akustisch ungünstige Oberflächenveränderung verläuft in den Sommermonaten beschleunigt.

Eine erste Texturbeurteilung und eine erste akustische Abnahmemessung eines Belags dürfen frühestens 3 Monate nach dem Einbau erfolgen.

Fazit Abnahmemessungen

4 > Folgerungen

4.1 Ausgangslage

Das Forschungsziel eines akustischen *Belagsgüte-Anfangswertes* von -3 dBA für den Mischverkehr konnte bei praktisch allen neu eingebauten Teststrecken erreicht bzw. zum Teil deutlich übertroffen werden. Bezüglich des geforderten *Belagsgüte-Endwertes* nach 12–15 Jahren von mindestens -1 dBA lässt der nun 3-jährige Beobachtungszeitraum nur erste, aber noch keine schlüssigen Aussagen zu. Dies gilt sowohl für die neu erstellten Teststrecken als auch für die untersuchten bestehenden Beläge.

Monitoring gemäss Leitfaden
BAFU / ASTRA

Die Planung und Projektierung der Lärmsanierung ist aber bereits heute auf konkrete und verlässliche Empfehlungen für lärmarme Beläge innerorts angewiesen, auch wenn deren Langzeitverhalten noch nicht hinreichend bekannt ist. Die Sanierungen der Haupt- und übrigen Strassen sind gemäss den gesetzlichen Vorgaben bis 2018 abzuschliessen. Für die Innerortsstrecken, wo ein grosser Vollzugsrückstand besteht, stellen die lärmarmen Beläge eine der wesentlichen, überall einsetzbaren Sanierungsmassnahmen dar.

Diese Ausgangslage impliziert eine zeitliche Staffelung in 3 Schritten:

Zeitliche Staffelung
der Empfehlungen

> *Heute:*

Sofort umsetzbare Empfehlungen aufgrund der heutigen Untersuchungsergebnisse

> *Heute + 3 bis 5 Jahre:*

Weiterführung der bisherigen Untersuchungen, insbesondere bezüglich Langzeitverhalten. Umsetzung der durch die Forschungsarbeiten gewonnenen, praxisreifen neuen Erkenntnisse.

> *Heute + 5 bis 10 Jahre:*

Iniziiierung und Untersuchungen neuer Techniken, Verfahren und Entwicklungsrichtungen zur Förderung der belagsseitigen Lärminderungsmöglichkeiten.

4.2 Empfehlungen für lärmarme Beläge

Die unten aufgeführten Empfehlungen wurden aus den Ergebnissen der beobachteten Testbeläge abgeleitet. Sie gelten für Strassen in Ortschaften mit Höchstgeschwindigkeiten bis 60 km/h. Eine Anwendung der Empfehlungen für Strassen mit höheren Geschwindigkeiten ist fallweise zu prüfen.

4.2.1 Semidichte Beläge

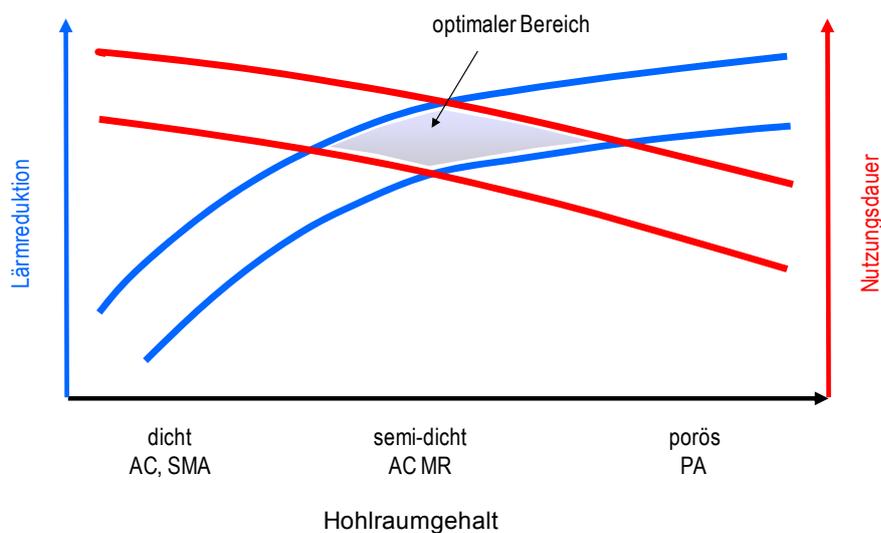
Die Testbeläge mit einem Grösstkorn von 4 mm weisen das beste akustische Verhalten auf. Beläge mit einem grösseren Grösstkorn sind tendentiell lauter. In allen eingebauten SPA- und AC MR-Belägen sind hohe Qualitäten der Zuschlagstoffe verwendet worden.

Auf den Pilotstrecken konnten positive Erfahrungen mit Mischgutttypen mit einem Hohlraumgehalt von ca. 8 ... 16 Vol.-% gemacht werden. Diese Belagssorten werden als «semi-dichte» Beläge bezeichnet. In Deutschland und Österreich werden SMA-Beläge mit erhöhtem Hohlraumgehalt verwendet; in der Schweiz liegt die Tendenz eher bei einem hohlraumreichen AC MR-Belag. Bei der Wahl der Mischgutsorte ist ein Kompromiss zwischen optimalen akustischen Eigenschaften (grosser Hohlraumgehalt) und der Gebrauchsdauer (kleiner Hohlraumgehalt) zu finden. Die Abb. 26 stellt die gegenläufigen Trends schematisch dar. Die mit «optimaler Bereich» gekennzeichnete Spanne des Hohlraumgehaltes ist anzustreben.

Die rasche Überarbeitung der SN-Norm 640 431-1b-NA «Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen» hat die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes bereits berücksichtigt: Neu werden AC MR-Beläge mit einem Hohlraumgehalt von 6,0 ... 10,0 Vol.-% normiert.

Abb. 26 > Hohlraumgehalt, Lärmreduktion und technischer Nutzungsdauer

Schematische Darstellung des möglichen Einflusses des Hohlraumgehalts auf Lärmreduktion (blaue Kurve) und technische Lebensdauer (rote Kurve) eines Asphaltbelages. Aus der Schnittstelle der beiden Kurven ergibt sich ein optimaler Hohlraumbereich. Die Darstellung der Lärmreduktion beruht auf eigenen Ergebnissen (Abb. 14); die Nutzungsdauer beruht auf niederländischen Erfahrungswerten [18].



Gemessene Pegelminderungen
Belagstyp

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich folgende Empfehlungen für die Wahl der Mischgutsorte ableiten:

Bewährte Lösung ohne Risiko und guten akustischen Eigenschaften:

Normiertes Mischgut:

AC MR 4 oder AC MR 8 gemäss SN 640 431-1b-NA

(gültig ab 01.02.2008) mit einem Hohlraumgehalt von 6 ... 10 Vol.-%

Erfolgversprechende Lösung mit hohem Potential für sehr gute akustische Eigenschaften:

Nicht normiertes Mischgut:

AC MR 4 oder AC MR 8 mit erhöhtem Hohlraumgehalt von 10 ... 13 Vol.-%.

Empfohlene Beläge

In der untenstehenden Tab.13 werden Empfehlungen zu den beiden Mischgutsorten AC MR 4 und AC MR 8 aufgeführt. Gleichzeitig erlaubt diese Tabelle einen direkten Vergleich der beiden Mischgutsorten und erleichtert somit die Wahl des Belages.

Belagskonzept

Tab. 13 > Mischgutsorten AC MR 4 und AC MR 8

Beurteilung der Eigenschaften

	AC MR 4	AC MR 8
Akustik	sehr gut	gut
Aufbereitung	Hohe Anforderung an die Gleichmässigkeit der Gesteinskörnung 2/4	Standard-Mischgut
Probeaufbereitung	erforderlich	Empfohlen bei AC MR mit erhöhtem Hohlraumgehalt erforderlich
Probearbeit	erforderlich	Empfohlen bei AC MR mit erhöhtem Hohlraumgehalt erforderlich
Anforderungen an die Unterlage	Hohe Anforderungen an die Ebenheit der Unterlage. Empfehlenswert ist – zur Erreichung einer genügenden Ebenheit der Unterlage – der Einbau einer Binderschicht (beispielsweise ACB 16 S; 55 mm).	weniger heikel
Schichtdicke	15 ... 20 mm	20 ... 30 mm
Akustische Dauerhaftigkeit	Der Beobachtungszeitraum von 3 Jahren reicht noch nicht aus, um diese Frage zuverlässig zu beantworten.	
Mechanische Dauerhaftigkeit	gut	gut
Griffigkeit, Verkehrssicherheit	Feinkörnige Beläge haben bei niedrigen Geschwindigkeiten Vorteile gegenüber Grobkörnige.	

Dünnschichtbeläge wie ein AC MR 4 erfordern eine stabile und ebene Unterlage. Dies kann mit einer Binderschicht von ca. 60 mm gewährleistet werden. Damit bestehen auch gute Voraussetzungen für den periodischen Ersatz des Dünnschichtbelags.

Binderschicht für
Dünnschichtbeläge

Zusätzlich zu den in SN 640 430 «Walzasphalt; Konzeption, Ausführung, Anforderungen an die eingebauten Beläge» aufgeführten Hinweise sind folgende Empfehlungen zu beachten:

Praktische Empfehlungen

- > Die konsequente Verwendung von Thermosilos für Transporter wird empfohlen. Dünn eingebaute Beläge kühlen rasch ab und müssen daher auch mit Thermosilos transportiert werden. Nur so können sie mit optimaler Temperatur in den Fertiger gekippt werden. Die Verdichtung muss unmittelbar hinter dem Fertiger mit Glattmantelwalzen ohne Vibration erfolgen.
- > Verdichtungskontrollen mit Isotopsonden können bei Schichtdicken unterhalb 25 mm zur Überwachung der Verdichtung nicht verwendet werden.
- > Da der Hohlraumgehalt der Bohrkerne oberhalb von 10 Vol.-% zu liegen kommt, wird zur Bestimmung der Raumdichte das Verfahren D gemäss SN 670 406 empfohlen. Dieses Verfahren ist auch bei der Bestimmung der Raumdichte der Marshall-Prüfkörper anzuwenden.

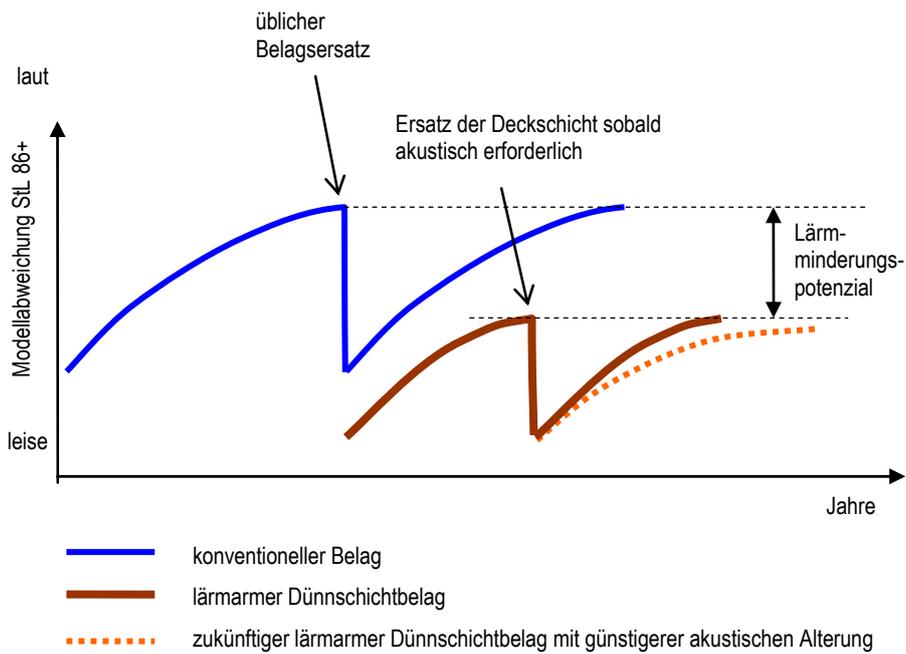
Im Vergleich mit konventionellen Belägen werden für lärmarme Beläge sowohl ein besserer akustischer Anfangswert als auch ein günstigeres akustisches Alterungsverhalten angestrebt. Ersteres ist für die beiden empfohlenen Beläge mit den durchgeführten Messungen nachgewiesen. Über das Alterungsverhalten jedoch können heute noch keine gesicherten Aussagen gemacht werden. Zudem hängt dieses nicht nur vom Belag, sondern auch von der Verkehrsbelastung ab.

Beim Einsatz eines lärmarmen Belags als Sanierungsmassnahme ist gemäss Leitfaden BAFU/ASTRA ein akustisches Monitoring obligatorisch. Falls damit eine zu rasche akustische Alterung nachgewiesen werden sollte, trifft die Vollzugsbehörde gemäss [1] Art. 37 die notwendigen Massnahmen. Im Vordergrund steht dabei ein frühzeitiger Ersatz des Dünnschichtbelags, was mit dem empfohlenen Belagskonzept auch einfach und kostengünstig machbar ist.

Monitoring

Abb. 27 > Unterhaltsstrategie für lärmarme Dünnschichtbeläge

Die periodischen Belagserneuerungen für lärmarme Dünnschichtbeläge erfolgt aufgrund des akustischen Monitorings gemäss Leitfaden BAFU/ASTRA (2006). Dadurch lässt sich mit den bekannten Belägen eine beträchtliche Lärmreduktion erreichen. Zukünftige Entwicklungen werden die akustische Dauerhaftigkeit von lärmarmen Dünnschichtbelägen erhöhen.



4.2.2 PA-Beläge

Erwartungsgemäss sind die untersuchten PA-Beläge – auch innerorts – den dichten Belägen aus akustischer Sicht deutlich überlegen.

Hohe Anforderungen und Risiken

PA-Beläge stellen aber hohe Anforderungen an den Einbau und sind teurer als dichte/semidichte Beläge. Sie reagieren empfindlich auf Scherbeanspruchungen (Ketten, Kreuzungen, intensive Ein- und Ausfahrten, Kreisel), weisen daher ein erhöhtes Risiko in Bezug auf die Nutzungsdauer auf (Kornverluste) und bedürfen auch eines speziellen Unterhalts (Winterdienst, Reinigung).

Abb. 28 > PA (Twinlayer) in Holland

Grasbewuchs im Randbereich



Abb. 29 > PA (Twinlayer) in Holland

Kornausbrüche im Kreuzungsbereich



Schäden bei ungeeigneten Strecken

In Einzelfällen, beispielsweise bei Umfahrungsstrassen mit homogen fließendem Verkehr oder bei besonders hohen akustischen Anforderungen können PA-Beläge in Betrachtung gezogen werden. Für die breite Anwendung im Innerortsbereich sind PA-Beläge zurzeit nicht zu empfehlen. Eine weitere Optimierung dieser Bauweise im Hinblick auf eine längere Gebrauchsdauer ist sinnvoll.

4.2.3 Wirtschaftlichkeit

Die durchgeführten Untersuchungen basieren auf der Schriftenreihe 301 «Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen» [20] und der «Umfrage zum Sanierungsstand an Strassen» (UZ-0729) des BAFU [2], sowie auf statistischen Daten zur Struktur des Wohnungsbestandes des Bundesamtes für Statistik BFS.

Lärmarme Beläge reduzieren das Bedürfnis an anderen Lärmschutzmassnahmen, erhöhen aber die belagsseitigen Kosten. Die Wirtschaftlichkeit eines lärmarmen Belags ist deshalb im Zusammenhang mit den gesamten Kosten einer Lärmsanierung zu betrachten.

Lärmarme Beläge reduzieren die Lärmschutzkosten

Die Intervalle des Belagsersatzes sind abhängig von der Verkehrsbelastung. Für die konventionellen Beläge wurde eine Nutzungsdauer von 15 Jahren angenommen. Bei lärmarmen Belägen ist die akustische Nutzungsdauer noch nicht erhärtet. Für den Kostenvergleich wurde ein Belagsersatz alle 10 Jahre angenommen.

Nutzungsdauer

	Nutzungsdauer belagstechnisch	Nutzungsdauer akustisch	Ersatz des Belages
AC MR 4	12–15 Jahre	min. 8 Jahre	alle 10 Jahre
Normalbelag AC 8	15 Jahre	(ev. 2 Jahre)	alle 15 Jahre

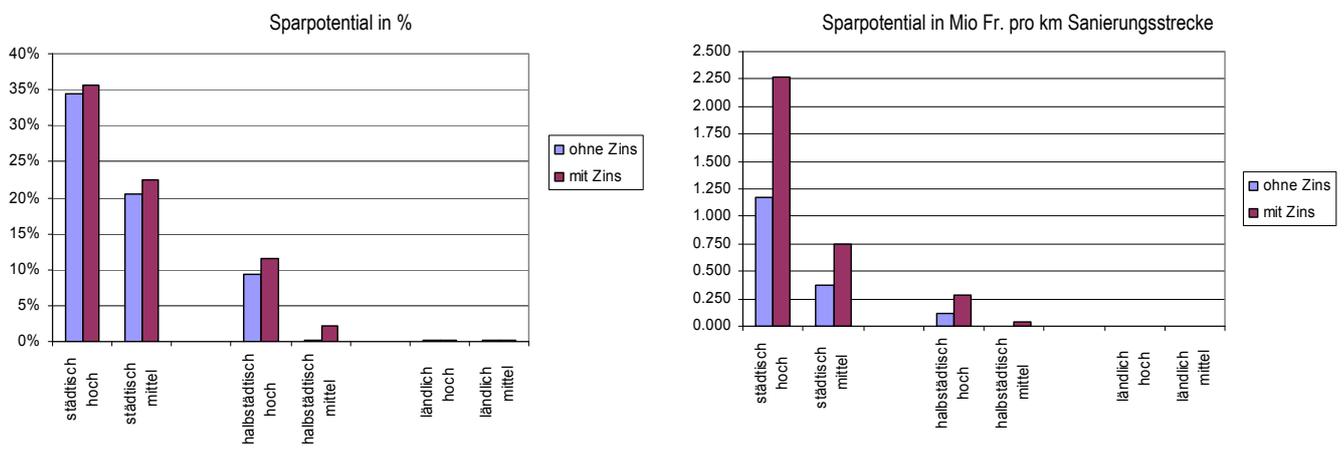
Es wurde ein Life-Cycle-Kostenvergleich des vorgeschlagenen lärmarmen Belags AC MR 4 mit einem konventionellen Belag AC MR 8 vorgenommen und den Kostenvergleichen zu Grunde gelegt. Die Annahmen und die durchgeführten Berechnungen sind in Anhang 10 dokumentiert.

In der folgenden Abbildung ist das Sparpotenzial aufgrund des Einbaues eines lärmarmen Belages dargestellt. Für die einzelnen Strassenkategorien sind die Berechnungen und Grafiken im Anhang 10 enthalten.

Sparpotenzial

Abb. 30 > Sparpotenzial in % und in CHF / km Sanierungsstrecke

Durch den Einbau lärmarmen Belägen können, vor allem in dichter bebauten Gebieten, beträchtliche Kosten der Lärmsanierung eingespart werden.



Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass das Sparpotential bei den Lärmsanierungskosten in städtischen Gebieten mit einem hohen Anteil an Schallschutzfenstern (>städtisch hoch) mit ca. 35 % am grössten ist. Aber auch in städtischen Gebieten mit einem durchschnittlichen Anteil an Schallschutzfenstern (> städtisch mittel) ist das Potential mit 20 % bis 25 % ist noch sehr hoch. Selbst in halbstädtischen Gebieten ist die Wirtschaftlichkeit lärmarmen Beläge gegeben.

hohe Sparpotenziale
in städtischen und
halbstädtischen Gebieten

Die Berechnungen stellen einen rein monetären Vergleich der Massnahmenkosten mit/ohne lärmarmen Belag dar. Lärmarme Beläge reduzieren aber nicht nur die Kosten der baulichen Sanierungsmassnahmen, sie generieren auch einen volkswirtschaftlichen Nutzen.

Die Berechnungen des volkswirtschaftlichen Nutzens gehen von bekannten Zusammenhängen zwischen Mietpreis und Lärmbelastung aus. Bei sonst gleichem Angebot sind die Mietpreise in nicht verlärmten Gebieten höher als in verlärmten Gebieten. Gemäss statistischen Erhebungen steigen/fallen die Mietzinsen pro dBA um ca. 1 %. Mit diesem Ansatz kann der volkswirtschaftliche Nutzen einer Massnahme als Mietpreisveränderung berechnet und kapitalisiert werden.

Volkswirtschaftlicher Nutzen

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass bei den an Haupt- und übrigen Strassen verbleibenden Sanierungsstrecken der maximal mögliche volkswirtschaftliche Nutzen lärmarmen Beläge im Bereich zwischen 2,5 und 4,2 Mia. Franken liegt. Auch wenn vom unteren Wert dieser Bandbreite ausgegangen wird und nur die Hälfte der verbleibenden Sanierungsstrecken mit einem lärmarmen Belag versehen würde, ergibt sich noch immer ein Zusatznutzen von über einer Milliarde Franken. Der volkswirtschaftliche Nutzen lärmarmen Beläge ist dann immer noch deutlich grösser als die Gesamtkosten aller baulichen Massnahmen an diesen Sanierungsstrecken.

4.3 Empfehlungen für weitere Untersuchungen

Aufgrund der Erfahrungen und Erkenntnisse der vorliegenden Resultate stehen folgende weitere Untersuchungen im Vordergrund:

- > Verlängerung der Beobachtungszeit der eingebauten Testbeläge
- > Ergänzung der Untersuchungen mit neuen Teststrecken
- > Untersuchungen zur Optimierung einzelner Parameter
- > Untersuchung von Belägen mit extremem Verhalten

4.3.1 Verlängerung der Beobachtungszeit der eingebauten Testbeläge

- > Weiterführung der messtechnischen Begleitung der eingebauten Testbeläge über weitere 5 Jahre, insbesondere zur Bestimmung des Langzeitverhaltens (Einfluss Grösstkorn, verwendete Zuschlagstoffe, Texturveränderungen, etc.)
- > Periodische Berichterstattung über die Messresultate und deren Interpretation.

Weiter beobachten

4.3.2 Ergänzung der Untersuchungen mit neuen Strecken

- > Einbau semidichter Beläge mit Hohlraumgehalten von 10 bis 13 % auf neuen Strecken. Sowohl eigene Erfahrungen im Rahmen der Forschungsarbeiten als auch ausländische Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass solche Beläge bezüglich Lebensdauer *und* Lärmreduktion optimal sind und innerorts gute Resultate erwarten lassen (siehe Abb. 26). Es sollten diejenigen semi-porösen Beläge, die ohnehin eingebaut werden (inner- und ausserorts, ASTRA, Kantone), systematisch erfasst und begleitet werden. Für die Untersuchung von weiteren Testbelägen ist es von Vorteil, wenn diese hintereinander auf der gleichen Strecke durchgeführt werden können. Gegenüber der Verteilung mehrerer Testbeläge auf ein grösseres geographisches Gebiet hat die Konzentration auf einer einzigen Strecke folgende Vorteile:
- Sämtliche Testbeläge können mit identischen Baustoffen erstellt werden (Füller, Gesteinskörnungen, Bindemittel)
 - Sämtliche Mischgutsorten werden in der gleichen Aufbereitungsanlage mit dem gleichen Prozess (Temperaturverlauf, Mischerart und -grösse, Reihenfolge der Zugabe, Mischzeiten, etc.) aufbereitet
 - Sämtliche Beläge werden von der gleichen Bauunternehmung eingebaut (gleicher Einbau-Fertiger, gleiche Walzen sowie gleiches Walzenspiel)
 - Die Verkehrsbeanspruchung und Verschmutzung sämtlicher Testbeläge ist identisch
 - Die klimatischen Bedingungen sowie der Winterdienst sind identisch.

Versuchsanlage
Semi-dichte Beläge

Weiter zu verfolgen sind auch die einschichtigen PA-Beläge, wobei auch grobkörnige PA 16 zu untersuchen sind [21].

4.3.3 Untersuchungen zur Optimierung einzelner Parameter:

Laborverfahren zur Beurteilung des Langzeitverhaltens

Die bisherigen Arbeiten haben gezeigt, dass es mittels der gewählten Pilotstrecken sehr schwierig ist, die verschiedenen Parameter der Mischgutzusammensetzung (z. B. mit/ohne Gummigranulat etc) miteinander zu vergleichen. Auch sind die Testbeläge von verschiedenen Strassenbau-Unternehmungen ausgeführt und stark variierenden Verkehrsbelastungen ausgesetzt worden. Idealerweise sollten im Labor Parameterstudien unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden.

Langzeitverhalten im Labor

Im Zusammenhang mit der aktuellen Frage der erhöhten Anforderungen an den PSV-Wert der Mineralstoffe für lärmindernde Beläge wurden eine Idee entwickelt, wie ein Laborprüfverfahren gestaltet werden sollte. Diese Idee wurde im Rahmen der VSS-Kommission FK5 kurz diskutiert. Es ist vorgesehen, dieses Laborverfahren in einem kleinen Forschungsauftrag zu evaluieren.

Parameterstudie Baustoffe / Mischgutzusammensetzung normennaher Beläge

Gelingt es ein aussagekräftiges Laborverfahren zu entwickeln, können folgende Parameterstudien durchgeführt werden:

Parameter für Baustoffe

- > Verschiedene Baustoffe in Bezug auf das Langzeitverhalten der akustischen Eigenschaften vergleichen (Einfluss des PSV-Wertes, offeneporige Gesteinskörnungen wie Leca, mit/ohne PmB, Einfluss des hochversteifenden Füllers etc.)
- > Verschiedene Mischungen vergleichen (Hohlraumgehalt variieren bei PA, AC MR; Vergleich SMA / AC MR / SPA, etc)
- > Neue Ideen der Belagszusammensetzung im kleinen Rahmen unter kontrollierten Bedingungen – und somit kleineren Gesamtkosten – testen.

Parameterstudie Haupteinflussfaktoren

Die in der Praxis festgestellte Abnahme der akustischen Eigenschaften wird auf Veränderungen der Oberflächentextur zurückgeführt. Auf einer Pilotstrecke ist es praktisch unmöglich, den Einfluss der massgeblichen Parameter (Temperatur, Verkehrsbelastung, Lastwagenanteil, Verschmutzung) zu verfolgen. Im Labor könnten die Haupteinflussfaktoren einzeln ermittelt werden; im Vordergrund stehen die mechanische Beanspruchung durch den Verkehr, temperaturbedingte Einwirkungen, sowie deren Kombination (thermomechanische Einwirkungen).

Parameter Einflussfaktoren

4.3.4 Untersuchung von Belägen mit extremem Verhalten

Eine Untersuchung von Belägen mit extrem gutem und solche mit extrem schlechtem Langzeitverhalten kann Aufschluss über die entscheidenden Einflussfaktoren geben. Die Untersuchung alter Beläge (> 10–15 jährig) mit überdurchschnittlichen Langzeitwerten und neuen Belägen (< 1–3 jährig) mit voraussehbar schlechten Langzeitverhalten werden aufschlussreich sein.

4.4 Neue Verfahren und Baustoffe

Das bisherige Forschungsprojekt wurde auf bewilligte Lärmsanierungsmassnahmen an exponierten Abschnitten des lärmsanierungsbedürftigen Kantonstrassennetzes durchgeführt. Um das Risiko eines frühzeitigen Schadens zu minimieren, wurden Beläge gewählt die bezüglich der Nutzungsdauer mehr oder weniger risikolos waren.

Dies bedeutet, dass die Wahl der Beläge entweder auf normierte oder bekannte Beläge eingeschränkt wurde. Neue, innovative Bauweisen wurden nicht untersucht.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit denken wir an folgende Verfahren:

Innovative Bauweisen

- > Poroelastische Beläge (Entwicklungen aus Schweden und Japan)
- > Industriell hergestellte Beläge (Rollpave, Holland)
- > Sportplatz-Belagstechnik kombiniert mit der Asphalttechnologie für Strassenbeläge zugänglich machen (weiche, elastische und doch griffige Beläge)

- > Gummi-Modifikation (Wet- und dry-Verfahren evtl. kombinieren) weiter entwickeln (Texas, USA)

Solche innovativen Ideen der Belagstechnik könnten im Labor entwickelt und auf einer wenig exponierten Pilotstrecke erprobt werden.

4.5 Grundlagenforschung

Entscheidend für das akustische Verhalten eines Belages sind offenbar die Struktur und die Menge an Hohlräume. Viele Fragen sind noch offen und sollten geklärt werden:

Erforschung der Hohlraum-
Funktion für die Lärminderung

- > Ist der Hohlraumgehalt entscheidend oder ist es der Gehalt an miteinander verbundenen Poren (kommunizierender Hohlraumgehalt)?
- > Bei gleichem Hohlraumgehalt können wenige grosse Poren oder viele kleine Poren im Belag vorhanden sein [15]; welche Struktur ist für die Akustik günstig? Wie lassen sich Beläge mit vielen kleinen Poren herstellen?
- > Sind feinkörnige Beläge nur deshalb akustisch günstiger weil sie viele kleine Poren enthalten?
- > Es bestehen Methoden und Verfahren, um die Struktur der Hohlräume im Belag zu untersuchen [15,22]. Eine Anwendung dieser Methoden im Hinblick auf die akustischen Eigenschaften können wertvolle Hinweise liefern.

4.6 Ergebnis / Zielerreichung

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnten die verschiedenen Einflussgrößen lärmarmen Innerortsbeläge untersucht werden. Die Erkenntnisse daraus führen zu einer Empfehlung eines hohlraumreichen AC MR 4-Dünnschichtbelags, der in Intervallen von 8–10 Jahren ersetzt wird. Der Belag ist auf einer Binderschicht von ca. 50–60 mm einzubauen.

Erkenntnisse

Der vorgeschlagene Belag weist eine Anfangspegelminderung von über –3 dBA. Der Ersatz des Belags nach 8–10 Jahren soll eine permanente minimale Pegelminderung von –1 dBA gewährleisten. Der asymptotische Verhaltensverlauf der Lärminderung unter Verkehrsbelastung weist auf die mögliche Erreichung dieses Zieles hin.

Die Wirtschaftlichkeit des Belagskonzepts ist gegeben. In der Regel ergeben sich mit dem vorgeschlagenen Konzept erhebliche Einsparungen bei den Gesamtkosten für die Lärmsanierung.

Die Zielsetzung im Sinne des Forschungsauftrags konnte erfüllt werden. Das akustische Verhalten der Testbeläge in den nächsten Jahren bedarf einer Bestätigung. Mit einer Weiterführung der messtechnischen Begleitung der eingebauten Testbeläge können hier die nötigen Erkenntnisse gewonnen werden.

Forschungsziel erreicht

> Anhang

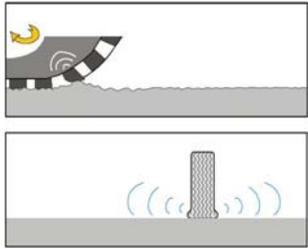
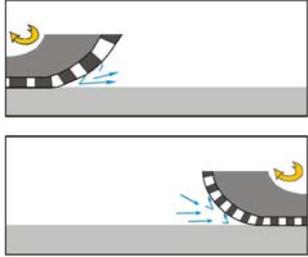
A1 Statusbericht, wichtigste Aussagen und Ergebnisse

Entstehung Reifen-Fahrbahn-Geräusch

Die physikalischen Vorgänge beim Kontakt Reifen–Fahrbahn sind sehr komplex. Tab. 14 zeigt die wichtigsten Schallentstehungsmechanismen und deren Modifizierung auf dem Ausbreitungsweg. Die Darstellung und Gewichtung der einzelnen Effekte ist je nach Autor unterschiedlich (Sandberg und Ejsmont 2002 [10], Beckenbauer et al. 2002 [23], Brosseaud et al. 2001[24]).

Entstehung der
Reifen-Fahrbahn-Geräusche

Tab. 14 > Effekte der Schallentstehung und -Ausbreitung beim Strassenlärm

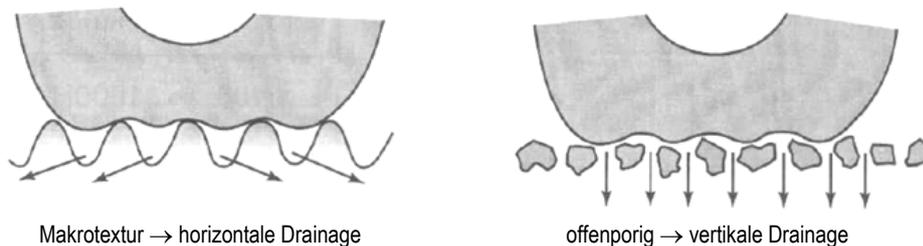
		Effekt	Frequenzbereich	Bedeutung	
Schallentstehung	Mechanische Anregung	Anregung des Reifens durch die Belagstextur und die Profilklötze.	je nach Geschwindigkeit, aber kleiner als 1250 Hz.	+++	
		Stick-slip: Ruckartiges Bewegen der Profilklötze, im Extremfall als «Quietschen» hörbar in den Kurven.	hoch > 1250 Hz	+	
		Stick-Snap: Adhäsion zwischen Reifenprofil und Fahrbahn.	hoch > 1250 Hz	+	
	Aerodynamische Anregung	Air-Pumping: Ein- und Auspressen der Luft in geschlossene Hohlräumen zwischen Reifen und Fahrbahn.	hoch > 1250 Hz	++	
Schallausbreitung	Schallverstärkung	Horn-Effect: Die Begrenzungsflächen von Reifen und Asphalt ergeben einen Trichter, der wie ein Lautsprecher wirkt und die Reifen-Fahrbahn-Geräusche verstärkt.	1–3 kHz	+ ?	
	Schallabsorption (akustisch)	Die kommunizierenden Poren im Belag wirken als schallschluckende Oberfläche. Je grösser die Durchlässigkeit des Belags, desto grösser ist dieser Effekt. Ein Belag mit hoher Schallabsorption reduziert nicht nur das Reifen-Fahrbahn-Geräusch, sondern auch das Motorengeräusch.	Absorptionsmaximum ist abhängig von Schichtdicke	+++	
	Schallabsorption (mechanisch)	Weiche, elastische Beläge und solche mit einer hohen «inneren» Dämpfung sind leiser. Die mechanische Schallanregung des Reifens und/oder die Schallausbreitung im Belag werden reduziert.	Absorptionsmaximum bei 1 kHz	++	

Quelle: Statusbericht 2003, BUWAL/ASTRA 2004, erweitert

Bei der Schallentstehung sind es hauptsächlich zwei Effekte, die durch den Belag beeinflusst werden können. Einerseits gilt es, die mechanische Anregung der Reifen möglichst gering zu halten. Dies ist insbesondere bei gewalzten, konkaven Belägen der Fall, wo eine relativ plane Oberfläche von kleinen, tiefen «Spalten» durchsetzt ist. Auf der anderen Seite muss das Air-pumping vermindert werden. Dieses entsteht, wenn sich die in das Reifenprofil eingepresste Luft nicht direkt über den Belag entspannen kann, sondern wenn im Reifenprofil ein Luftdruck aufgebaut wird, der sich beim Auslaufen des Rads mit zischenden Geräuschen entspannt. Das Air-pumping verursacht hochfrequente Geräusche. Es kann durch eine gute Luftdrainage, sei es mit einer gut ausgebildeten Textur (horizontale Drainage) oder mittels luftdurchlässiger, offenporiger Beläge (vertikale Drainage) vermindert oder eliminiert werden (Abb. 30).

Abb. 31 > Verhinderung von Air-pumping

Mittels einer gut ausgebildeten Makrotextur bei dichten Belägen oder durch offenporige Beläge kann das Air-pumping verhindert werden. Im Reifenprofil kann sich dadurch kein Luftdruck aufbauen, womit die hochfrequenten Zischgeräusche beim Auspressen der Luft vermindert werden.



Die Reifen-Fahrbahn-Geräusche werden durch den zwischen Reifen und Belagsoberfläche gebildeten Schalltrichter verstärkt (Horneffekt). Die Wirksamkeit dieser Verstärkung hängt von der Schallabsorptionsfähigkeit der Fahrbahn ab. Die offenporigen Deckschichten wirken schallabsorbierend und weisen aus diesem Grund einen deutlich geringeren Horneffekt auf [25,26]. Dieser Vorteil erklärt die besseren Anfangswerte von über 6 dBA Abweichung zum Modell im Vergleich zu den dichten Belägen.

Um die maximale lärmreduzierende Wirkung zu erreichen, müssen die offenporigen Beläge mit Hohlräumen über 22% konzipiert werden. Eine Kompromisslösung, um die Gebrauchsdauer (mechanische Schäden) zu verlängern, könnte darin bestehen, den Hohlraumgehalt auf 17 bis 20% zu reduzieren. Neben den Reifen-Fahrbahn-Geräuschen mindern offenporige Beläge auch die Motoren- und Strömungsgeräusche.

Der in der Tabelle 14 aufgeführte Effekt der «inneren Dämpfung» wird aus der Beobachtung abgeleitet, dass beim Vergleich von Betonbelägen und Asphaltbelägen mit identischer Oberfläche die Asphaltbeläge deutlich leiser sind. Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch von Asphaltbelägen weist – im Gegensatz zu Betonbelägen – eine deutliche Temperaturabhängigkeit auf, da Asphalt bei höheren Temperaturen «weicher» wird und damit das Reifen-Fahrbahn-Geräusch mindert.

Die folgenden Faktoren bei der Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Geräuschs können nicht oder nur sehr beschränkt durch den Belag beeinflusst werden:

- > Reifen
- > Fahrverhalten
- > Nässe

In den Kantonen wurden verschiedene lärmarme Beläge im Innerortsbereich eingebaut. Die häufig verwendeten Belagstypen sind SMA, AC MR, SPA, Colsoft, Colrug, Wecophone u.a. mit Gesteinskörnungen 11, 8 und 6. Offenporige Beläge wurden bisher im Innerortsbereich nicht eingesetzt. Bei der Gesteinskörnung werden vermehrt feinkörnige Beläge getestet. Mit den bisher eingebauten lärmarmen Belägen wurden durchwegs hohe Anfangslärminderungen erzielt, wobei in den allermeisten Fällen nach 3–5 Jahren die lärmindernde Wirkung fast vollständig verloren ging.

Erfahrungen der Kantone

Im Statusbericht 2003 wurden 344 akustischen Belagsgütemessungen aus der ganzen Schweiz nach den Kriterien «Belagstyp» und «Belagsalter» ausgewertet. Die Resultate bestätigen die Erfahrungen der Kantone:

Auswertung bisheriger akustischer Belagsmessungen

- > Die eingebauten lärmarmen Beläge erreichten Anfangslärminderungen bis –5 dBA.
- > Sehr wenige der gemessenen Beläge wiesen nach einigen Jahren noch eine Lärminderung von mindestens –1 dBA auf.
- > Die gemessenen AC 10/11 Beläge wiesen zwar nur moderate Anfangslärminderungen auf, vereinzelte Beläge zeigten aber ein günstiges akustisches Langzeitverhalten.

Aufgrund umfangreicher Literaturrecherchen und Erfahrungen wurden im Statusbericht 2003 folgende Parameter zur Erstellung eines lärmarmen Belages im Innerortsbereich identifiziert, die zu einem lärmarmen Belag führen (Tab.13).

Akustische Parameter für dauerhaft lärmarme Beläge

Tab. 15 > Parameter für die Erstellung von lärmarmen Belägen im Innerortsbereich

Bei den beschriebenen Parametern und den entsprechenden Lärminderungspotenzialen handelt es sich um Angaben aus der Literatur. Die Lärminderungspotenziale können in den meisten Fällen nicht kumuliert werden.

Parameter	Beschreibung, Massnahmen	Lärminderungspotential (nicht kumulierbar)
Mikrotextur	Keine glatten Oberflächen, Verwendung von scharfkantigen Mineralstoffen	1–3 dBA glatte gegenüber sehr feinen SMA-Belägen
Makrotextur	Beläge so dimensionieren, dass hohe Amplituden der Texturwellenlängen zwischen 1–10 mm, tiefe Amplituden der Wellenlängen 16–50 mm erreicht werden Die optimale Korngrösse liegt bei 3 mm für PKW's und 5 mm für LKW's	2–3 dBA Grösstkorn 3 mm gegenüber 8 mm
Megatextur	Möglichst niedrigere Amplituden	?
poröse Mineralstoffe	Verwendung von Blähton (Leca), Elektroofenschlacke etc. bessere gegenseitige Verzahnung der Körner, verbesserte Makrotextur, Schallabsorption der Poren.	3–5 dBA (?) gegenüber AB
Konkave Oberfläche	Gewalzte, konkave Oberflächen sind leiser als abgestreute, konvexe Oberflächen	3–5 dBA gewalzte gegenüber abgestreuten Oberflächen
Durchlässigkeit, Porosität	Offenporige Beläge sind schallabsorbierend. Sie dämpfen neben dem Roll- auch das Motorengeräusch.	ca. 4 dBA gegenüber leisen dichten Oberflächen
Elastizität / innere Dämpfung	Elastischere Beläge mit hohen Werten für innere Dämpfung sind leiser. Verwendung von Gummizusätzen.	2 dBA Abstreu auf Asphalt gegenüber Abstreu auf Beton
Poroelastizität	Poroelastische Beläge im Versuchsstadium mit 40–95 % Gummibeimischung und Hohlraumgehalt von 25–40 %. Offenporige, schallabsorbierende Beläge, deren Elastizität das Festsetzen von Schmutzteilen verhindert.	7–10 dBA

Quelle: Statusbericht 2003, BUWAL/ASTRA 2004

Damit die Lärmbelastung im Innerortsbereich nachhaltig an der Quelle reduziert werden kann, ist die Dauerhaftigkeit der erzielten Lärminderung von zentraler Bedeutung. Es müssen Beläge gefunden werden, die die anfangs günstigen akustischen Eigenschaften auch mit zunehmendem Alter und hoher Belastung des Belags beibehalten. Im Statusbericht wurden deshalb ebenfalls Parameter für die Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge identifiziert (Tab.16).

Dauerhaftigkeit
als Herausforderung

Tab. 16 > Parameter für die Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge im Innerortsbereich

Parameter	Beschreibung, Massnahmen
thermisch bedingte Texturveränderungen	Texturveränderungen bei hohen Temperaturen Gegenmassnahme: Verwendung von polymermodifizierten Bindemitteln und hochversteifenden Spezialfiller
Partikelverlust	Gegenmassnahme: Bindemittel mit hoher Klebkraft, gute Verzahnung der Körner sicherstellen
Polierresistente Mineralstoffe	Erhalten einer günstigen Mikro- und Makrotextur
Poröse Mineralstoffe	+Erhöhung der Luftzirkulation und der Schallabsorption
Schichtdicke	In Dünnschichtbelägen können sich die Körner weniger verschieben, die Textur bleibt stabiler.
Reinigung offenporiger Beläge	Erhalten der Durchlässigkeit und Porosität von offenporigen Belägen durch die periodische Reinigung mit speziellen Geräten.

Quelle: Statusbericht 2003, BUWAL/ASTRA 2004

A2 Mischgutzusammensetzung

In den folgenden Tabellen sind pro Pilotstrecke die Mischgutzusammensetzungen angegeben. Die Mischgutkomponenten und der lösliche Bindemittelanteil sind in Massen-% angegeben. Es handelt sich also nicht um den dosierten, sondern um den löslichen Bindemittelanteil. Es wird allgemein mit einem unlöslichen Anteil von etwa 0,2 % gerechnet. Der Fülleranteil des Mischgutes besteht sowohl aus dem beigemischten Füller wie auch aus den Feinanteilen des Brechsandes und des Splittes.

Tab. 17 > **Turtmann** Mischgutzusammensetzungen in Massen-%

Mischgutsorte	Füller	0,09/2	2/4	Zusatz 1	Zusatz 2	Bindemittel
SPA 4	Famsa, Choëx	Famsa, Choëx	Famsa, Choëx	Fasern Viatop		PmB E 50/70–65 Styrelf E 60
	11,9	9,5	71,4	0,4		6,8
AC MR 4 EOS Gummigranulat	Famsa, Choëx	Famsa, Choëx	EOS Stahl Gerlafingen	Fasern Viatop	Gummigranulat 0,4/2	PmB E 50/70–65 Styrelf E 60
	10,1	20,5	61,7	0,4	0,5	6,8
AC MR 4 EOS	Famsa, Choëx	Famsa, Choëx	EOS Stahl Gerlafingen	Fasern Viatop		PmB E 50/70–65 Styrelf E 60
	9,9	21,5	61,5	0,4		6,7
AC MR 4	Famsa, Choëx	Famsa, Choëx	Famsa, Choëx	Fasern Viatop		PmB E 50/70–65 Styrelf E 60
	9,1	35,9	47,9	0,4		6,7

Tab. 18 > **Zuchwil** Mischgutzusammensetzung in Massen-%

Mischgutsorte	Füller	0,09/2	2/4	4/8	Bindemittel
AC MR 8 EOS	Fremdfüller		EOS Stahl Gerlafingen		PmB C 50/70–53 Caribit 65
	9,1	15,3	16,5	53,4	5,7

Tab. 19 > **Kreuzlingen** Mischgutzusammensetzungen in Massen-%

Mischgutsorte	Füller	0,09/2	2/4	4/8	Bindemittel
Twinlayer PA 4+8 PA 0/4 PA 0/8		Marti, Walliswil			PmB E 40/50–65 Olexobit SMA
	6,4 Eigenfüller	14,7	73,3		5,6
	4,7 Zeofill	7,4	15,4	67,3	5,2

Tab. 20 > **Sargans** Mischgutzusammensetzungen in Massen-%

Mischgutsorte	Füller	0,09/2	2/4	4/8	8/16	Zusatz	Bindemittel
Twinlayer 8+16	Hagerbach						PmB E 40/50-65 Olexobit SMA
PA 0/8	3,2	6,6	11,4	73,8			5,0
PA 0/16	4,2	4,5	2,3	12,9	72,2		3,9
AC MR 4	Zeofill	Gasperini					PmB E 40/50-65 Olexobit SMA
	10,7	23,3	59,7				6,3
AC MR 8 EOS Gummigranulat	Zeofill		EOS Stahl Gerlafingen			Gummigranulat 0.4/2	PmB E 40/50-65 Olexobit SMA
	8,9	11,8	13,7	59,0		1,0	5,6

Tab. 21 > **Altendorf** Mischgutzusammensetzung in Massen-%

Mischgutsorte	Füller	0,063/2	2/4	4/8	Bindemittel
SPA 0/8	Zeobit	Gasperini			PmB E 40/50-65 Olexobit SMA
	12,6	5,9	3,2	71,9	6,4

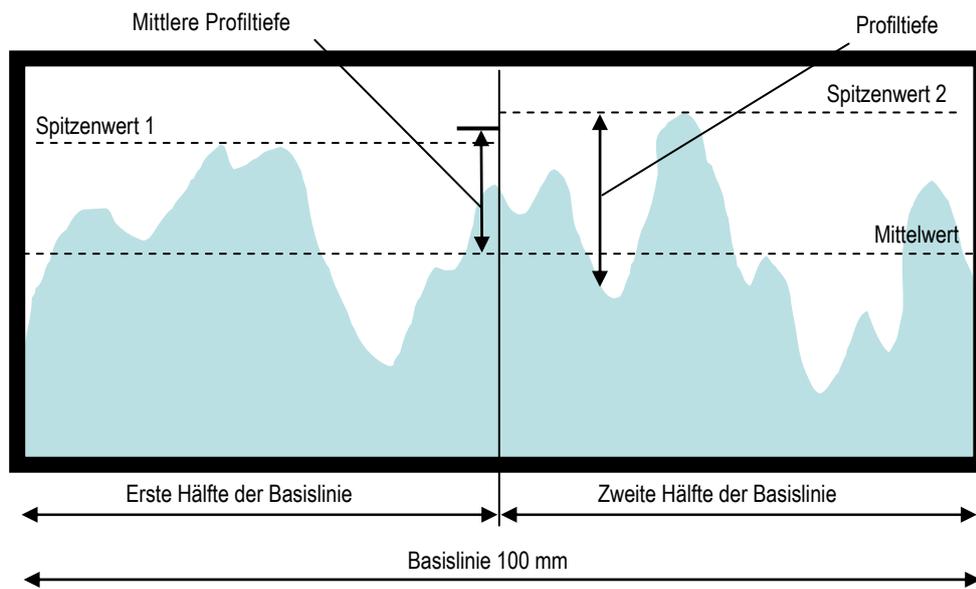
Tab. 22 > **Luzern** Zusammensetzung

Beschichtung	Abstreumaterial	Reaktionsharz
Whisper-Grip®	Chromerzschlacke 1/3	Epoxy MC-Dur-VK-Grip 1200
		900 g/m ²

A3 Definition der mittleren Profiltiefe

Die Berechnungsmethode der mittleren Profiltiefe MPD ist in Abb. 32 dargestellt.

Abb. 32 > Darstellung eines Belagsprofils und Prinzip der Ermittlung von MPD



Quelle: SN 640 511-11

Die mittlere Profiltiefe MPD wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$MPD = 0,5 \cdot (\text{Spitzenwert 1} + \text{Spitzenwert 2}) - \text{Mittelwert} \quad [\text{mm}]$$

Die mittlere Texturtiefe MTD (gemessen mit dem volumetrischen Verfahren) und die mittlere Profiltiefe MPD (gemessen durch Abtastung der Oberfläche) sind nur bedingt vergleichbar. Bei offenporigen Belägen ist die MTD deutlich kleiner als die MPD, da der Laserstrahl nicht alle Hohlräume erreichen kann.

Anmerkung: In der Norm SN 640 511-11 wurde eine geschätzte Texturtiefe eingeführt (Estimated Texture Depth ETD). Es handelt sich um eine Annäherung, aus der Profilkurve eine mittlere Texturtiefe die möglichst gut mit der Sandfleck-Methode korreliert zu bestimmen. Die ETD wird aus der MPD wie folgt berechnet:

$$ETD = 0,2 + 0,8 \cdot MPD \quad [\text{mm}]$$

A4 Definition des Gestaltfaktors

Ermittlung des Gestaltfaktors: durch eine statistische Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen (siehe Abb. 34) entsteht ein Parameter zur Kennzeichnung der Gestalt der Textur, der als Gestaltfaktor g bezeichnet wird. Hohe g -Werte kennzeichnen dabei tendenziell konkave Texturen, niedrige g -Werte dagegen tendenziell konvexe.

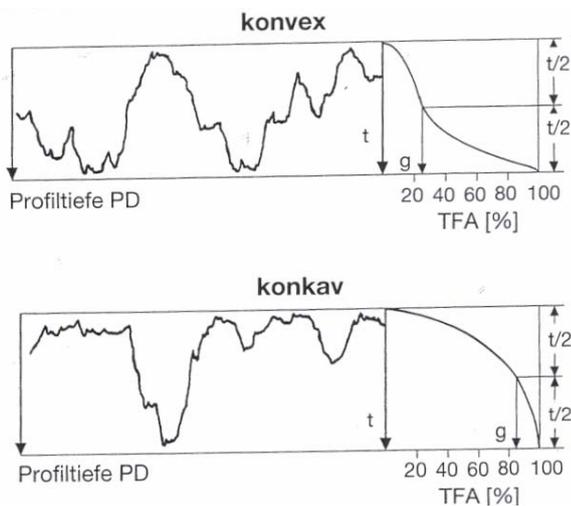
Die Kennzeichnung der unterschiedlichen Gestalten von Texturen wird wie folgt bewertet [23]:

- > $g < 60\%$ konvexe Texturen
- > $g > 60\%$ konkave Texturen

Konkave Texturen gelten als lärmarm, da sie die Reifen weniger stark anregen und trotzdem für eine gute Entlüftung der in den Reifen eingepressten Luft sorgen und damit den Air-pumping-Effekt reduzieren.

Abb. 33 > Der Gestaltfaktor g

Der Gestaltfaktor dient der Kennzeichnung der unterschiedlichen Gestalt der Textur. Der Gestaltfaktor g ist gleich dem Tragflächenanteil (TFA) bei einer Profiltiefe von $t/2$; t ist der Maximalwert der Profiltiefe.



A5 Belageigenschaften

Tab. 23 > Analyse des rückgewonnenen Bindemittels

Penetration, Erweichungstemperatur Ring & Kugel und elastische Rückstellung der drei verwendeten polymermodifizierten Bitumen

Bezeichnung			Penetration 25 °C [1/10 mm]	ET RuK [°C]	Elast. Rückstellung [%]
offene Beläge	PA 4 + 8	PmB E 40/50-65	27	77,5	82
	PA 8 + 16	PmB E 40/50-65	27	76,4	75
4 ^{er} Beläge	SPA 4 Fa	PmB E 50/70-65	47	69,4	90
	AC MR 4 EOS Gu	PmB E 50/70-65	50	61,8	83
	AC MR 4 EOS	PmB E 50/70-65	54	67,1	90
	AC MR 4 Fa	PmB E 50/70-65	46	68,2	89
	AC MR 4 Ga	PmB E 40/50-65	36	74,7	83
8 ^{er} Beläge	SPA 8 Ga	PmB E 40/50-65	50	57,9	75
	AC MR 8 EOS Gu	PmB E 40/50-65	40	65,4	-
	AC MR 8 EOS	PmB C 50/70-53	43	66,0	-

Tab. 24 > Marshall-Hohlraumgehalt

Marshall-Hohlraumgehalt der neuen und bestehenden Testbeläge

Teststrecke und Mischgutsorte		Hohlraumgehalt Marshall [Vol. %]	Hohlraumgehalt Bohrkern [Vol. %]
Neue Testbeläge			
Kreuzlingen	PA 4	19,7	26,9
	PA 8	20,0	17,2
Sargans	PA 8	20,3	25,8
	PA 16	23,2	24,4
Turtmann	SPA 4 Famsa	8,9	13,6
Turtmann	AC MR 4 EOS Gummigranulat	4,7	9,0
	AC MR 4 EOS	5,3	11,4
	AC MR 4 Famsa	3,8	9,1
Sargans	AC MR 4 Gasperini	8,9	16,0
	AC MR 8 EOS Gummigranulat	8,6	11,5
Zuchwil	AC MR 8 EOS	3,7	7,9
Luzern	Epoxy 1/3	-	
Altendorf	SPA 8 Gasperini 15 mm	5,3	8,1
	SPA 8 Gasperini 20 mm	5,3	8,8
Bestehende Testbeläge			
Leuggern	PA 8	18,3	24,1
Leuggern	SPA 8	10,1	12,6
Leuggern	MA 8 2/4	1,3	
	MA 8 3/6	1,3	
Sargans	AC 11	-	
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	7,5	
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	9,5	10,8
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa	7,1	
Les Evouettes	Colsoft 8	12,0	8,6

Tab. 25 > Ebenheit

Abnahmewerte der Längsebenheit und Querebenheit der neuen und bestehenden Testbeläge; für Hauptverkehrsstrassen gelten gemäss SN 640 521 die Anforderungen $W < 14 \text{ ‰}$, $s_W < 1,8 \text{ ‰}$ und $T < 5 \text{ mm}$.

Teststrecke und Mischgutsorte		W [‰]	Längsebenheit sW [‰]	Querebenheit T [mm]
Neue Testbeläge				
Kreuzlingen	PA 4 + 8	3,2	0,9	1,7
Sargans	PA 8 + 16	5,9	1,4	1,3
Turtmann	SPA 4 Famsa	3,5	0,8	2,3
Turtmann	AC MR 4 EOS Gummigranulat	3,3	0,5	2,3
	AC MR 4 EOS	3,0	0,5	1,9
	AC MR 4 Famsa	2,9	0,5	1,8
Sargans	AC MR 4 Gasperini	5,7	1,4	1,3
	AC MR 8 EOS Gummigranulat	9,7	1,7	0,9
Zuchwil	AC MR 8 EOS	3,4	0,9	1,0
Luzern	Epoxy 1/3	4,4	1,1	5,2
Altendorf	SPA 8 Gasperini 15 mm	1,4	0,5	1,0
	SPA 8 Gasperini 20 mm	21,0	6,0	2,0
Bestehende Testbeläge				
Leuggern	PA 8	-	-	-
Leuggern	SPA 8	-	-	-
Leuggern	MA 8 2/4	-	-	-
	MA 8 3/6	-	-	-
Sargans	AC 11	-	-	-
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	5,8	1,6	1,8
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	4,7	1,2	2,0
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa	5,6	1,2	1,9
Les Evouettes	Colsoft 8	7,9	1,7	1,7

> **Längsebenheit:**

Für die Prüfung der Ebenheit in Längsrichtung dienen zwei Kennwerte. Der W-Wert stellt eine Neigungsänderung dar und wird als Winkel zweier benachbarter 1 m Sehnen definiert. Er gibt Auskunft über lokale Unebenheiten. Der s_W -Wert ist die Standardabweichung der W-Werte über eine Anzahl von mindestens 250 Messpunkten. Er dient der Gesamtbeurteilung grösserer Abschnitte.

> **Querebenheit:**

Für die Prüfung der Ebenheit in Querrichtung wird die Profilaabweichung unter einer 4 m Latte gemessen. Zur Beurteilung der Querebenheit dient der T-Wert. Er stellt die Muldentiefe unterhalb der Verbindungslinie der zwei höchsten Punkte dar.

Tab. 26 > Griffigkeit und Texturtiefe

Abnahmewerte des Pendelwerts PTV, der Ausflusszeit nach Moore und der mittleren Texturtiefe (Sandfleck Verfahren) der neuen und bestehenden Testbeläge; für eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h gelten gemäss SN 640 511 die Richtwerte PTV > 65, Ausflusszeit < 150 s und 0,6 mm < MTD < 1,0 mm.

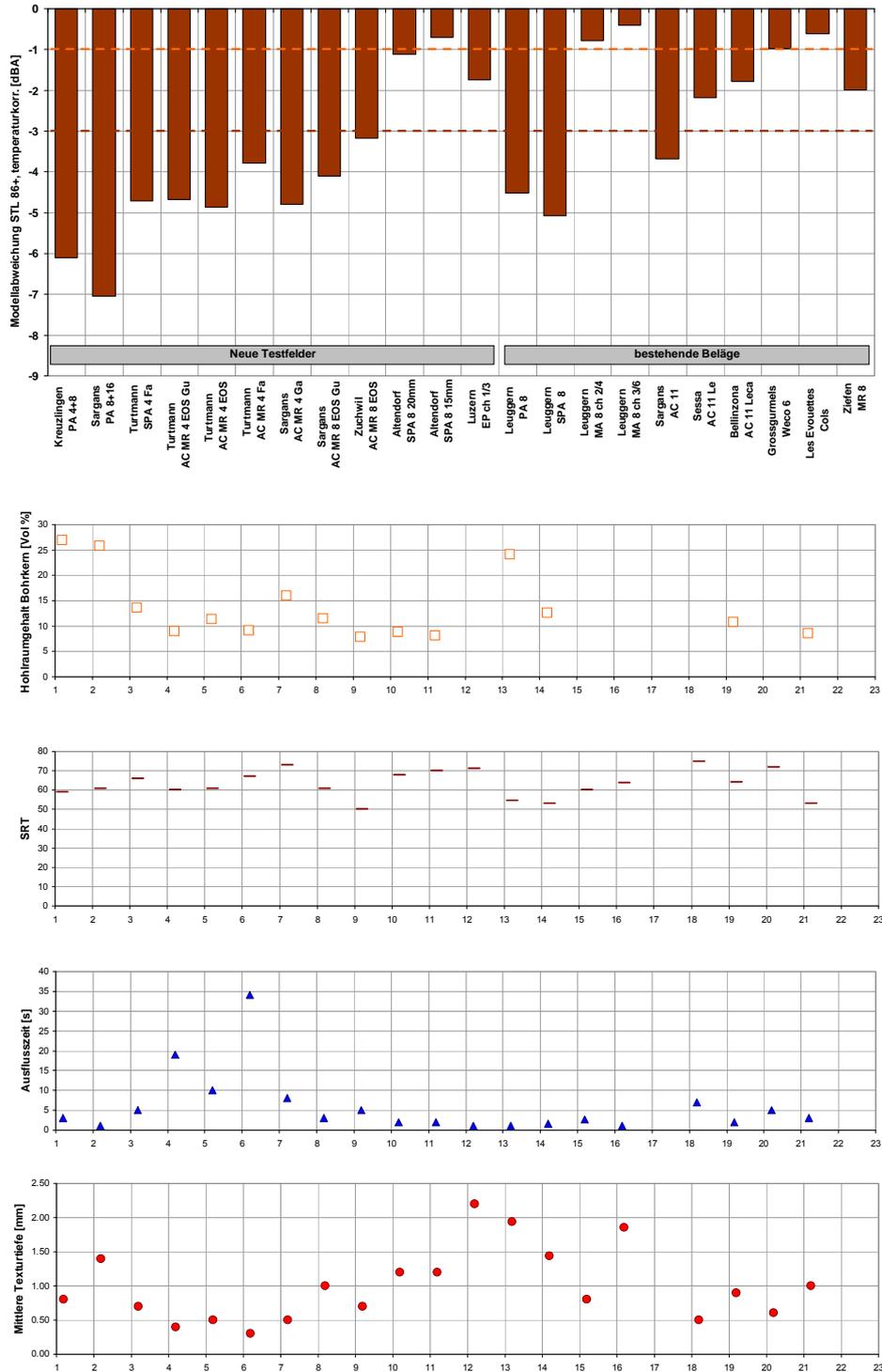
Teststrecke und Mischgutsorte		PTV [-]	Ausfluss [s]	MTD [mm]
Neue Testbeläge				
Kreuzlingen	PA 4 + 8	59	3	0,8
Sargans	PA 8 + 16	61	1	1,4
Turtmann	SPA 4 Famsa	66	5	0,7
Turtmann	AC MR 4 EOS Gummigranulat	60	19	0,4
	AC MR 4 EOS	61	10	0,5
	AC MR 4 Famsa	67	34	0,3
Sargans	AC MR 4 Gasperini	73	8	0,5
	AC MR 8 EOS Gummigranulat	61	3	1,0
Zuchwil	AC MR 8 EOS	50	5	0,7
Luzern	Epoxy 1/3	71	1	2,2
Altendorf	SPA 8 Gasperini 15 mm	70	2	1,2
	SPA 8 Gasperini 20 mm	68	2	1,2
Bestehende Testbeläge				
Leuggern	PA 8	55	1	1,9
Leuggern	SPA 8	53	2	1,4
Leuggern	MA 8 2/4	60	3	0,8
	MA 8 3/6	64	1	1,9
Sargans	AC 11	-	-	-
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	75	7	0,5
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	64	2	0,9
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa	72	5	0,6
Les Evouettes	Colsoft 8	53	3	0,9

Die Kombinierte Messmethode PTV-Pendel/Ausflussmesser gibt Auskunft, ob die Griffigkeit genügt. Der Pendelwert PTV misst den Energieverlust, wenn ein Gleitkörper aus Gummi über die Belagsoberfläche gleitet. Der Ausfluss nach Moore misst das Vermögen der Fahrbahnoberfläche, durchgehende Poren auszubilden, über die das Wasser durch den Reifenkontakt herausgedrückt werden kann. Richtwerte für eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h: PTV-Wert > 65, Ausflussmesszeit < 150 s.

Sandfleck: volumetrisches Verfahren zur Messung der mittleren Makrotexturtiefe (Mean Texture Depth, MTD) der Fahrbahnoberfläche gemäss SN 640 511-1. Richtwert: 0,6 bis 1,0 mm ist anzustreben für alle Strassen mit schnellem Verkehr (HLS).

A6 Anfängliche Lärminderung / belagstechnische Eigenschaften

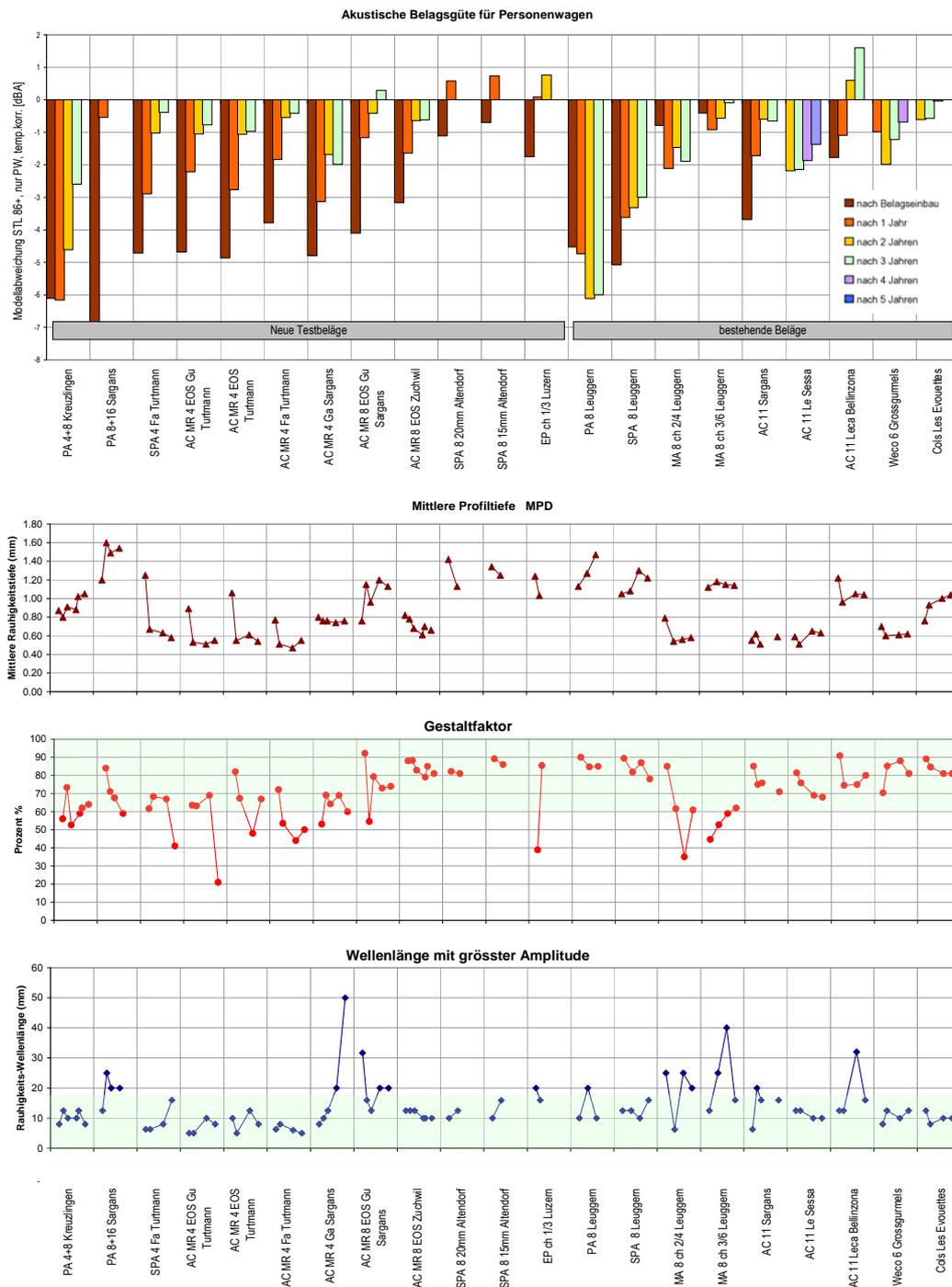
Abb. 34 > Anfängliche Lärminderung für Personenwagen / belagstechnische Eigenschaften



A7 Lärminderung / Oberflächenprofil

Abb. 35 > Lärminderung / Oberflächenprofil

Akustische Belagsgüte, mittlere Profiltiefen, Gestaltfaktoren und Wellenlängen aller Beläge



A8 Akustische Belagsgüte für Mischverkehr und für Personenwagen

Abb. 36 > Akustische Belagsgüte für Mischverkehr mit 8 % Lastwagenanteil am Gesamtverkehr

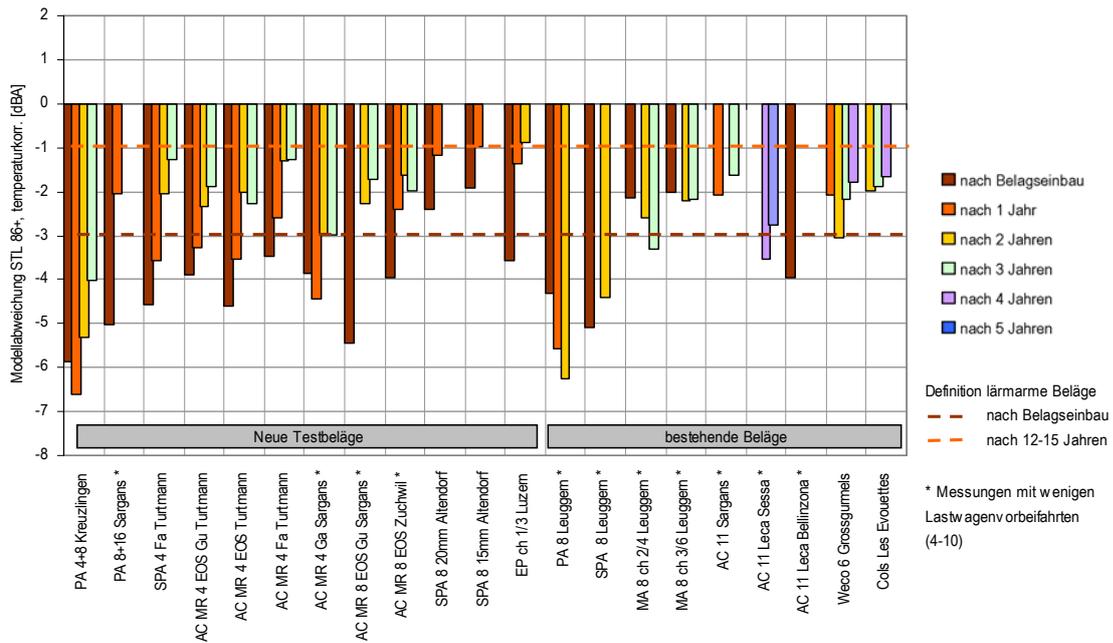


Abb. 37 > Akustische Belagsgüte nur für Personenwagen

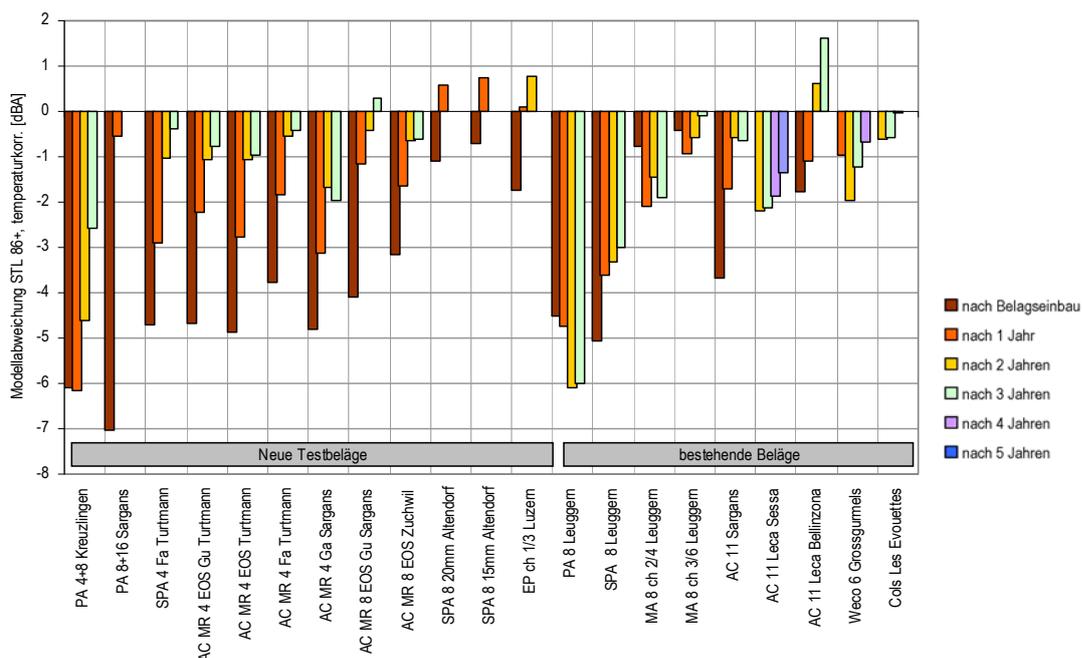


Abb. 38 > Akustische Belagsgüte für Mischverkehr 8 % Lastwagenanteil in Funktion der Verkehrsbelastung

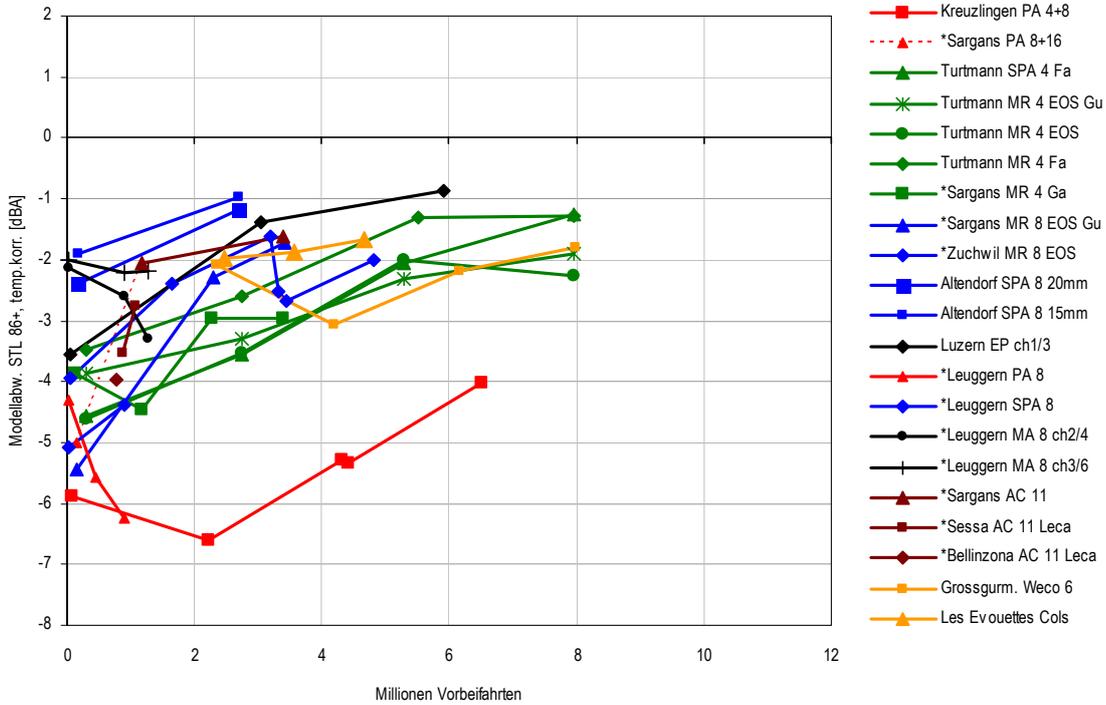
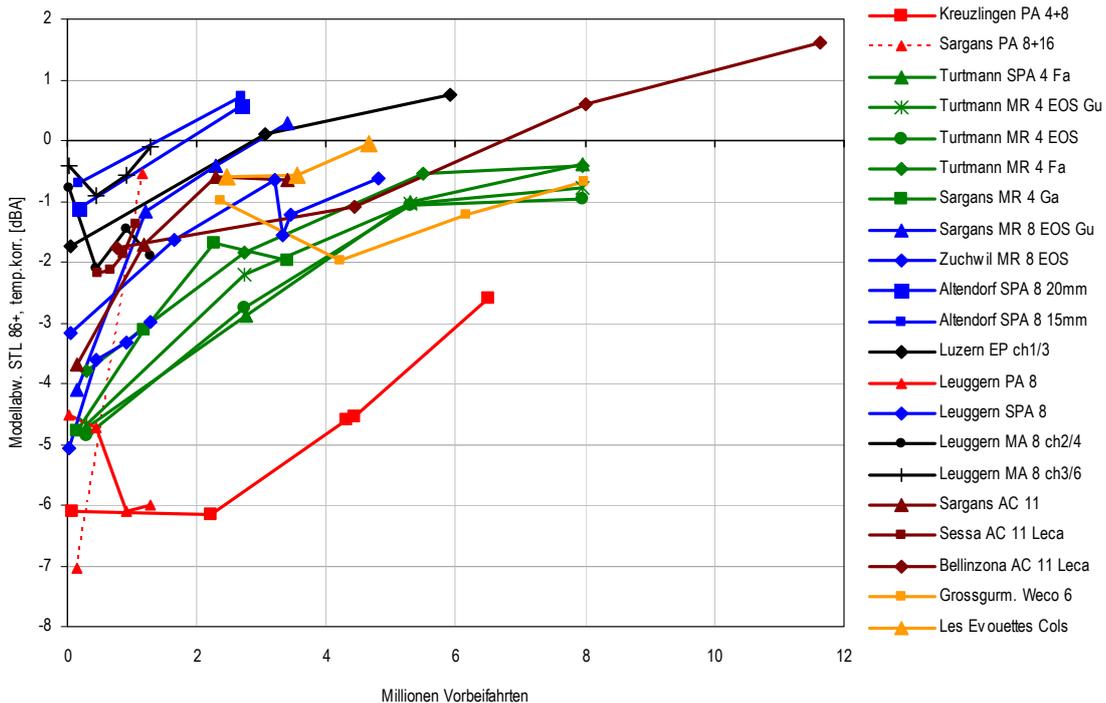


Abb. 39 > Akustische Belagsgüte nur für Personenwagen in Funktion der Verkehrsbelastung



A9 Hydrovac Reinigungsmaschine

Die ASTRA Ergebnisse zeigen, dass die Reinigung in der Regel keine Besserung der Durchlässigkeit bewirkt (Tab. 27). Eine Ausnahme bildet jedoch die Reinigung nach einem Niederschlag mittlerer Intensität (Tagessumme = 14 l/m²): vorherige Schmutzaufweichung hat möglicherweise dazu geführt, dass ausgehend von einem durchaus undurchlässigen PA 11 eine Wasserdurchlässigkeit von 5 l/min zurück gewonnen wurde (Tab. 28).

Tab. 27 > Hydrovac Reinigung A1 und A2 Aargau

Durchfluss Ergebnisse in l/min; Messungen haben bei trockener Witterung stattgefunden. Die Reinigung bewirkt keine Steigerung des Drainvermögens.

	2005	2006 vor Reinigung	2006 nach Reinigung	km
A1 Suhr		6,8	5,5	76,0
PA 11		5,4	5,1	75,5
2004		4,9	4,8	75,0
		8,0	6,8	74,5
A2 Zofingen	8,2	5,1	4,2	53,0
PA 11	6,2	5,3	4,5 / 6,1*	53,5
2005	5,7	0	0 / 0*	54,0
	8,6	6,4	4,3 / 5,1*	54,5

* 2. Messung am 26.10.2006

Tab. 28 > Hydrovac Reinigung A2 Basellandschaft

Durchfluss Ergebnisse in l/min; Messungen haben nach einem Niederschlag mittlerer Intensität stattgefunden. Die Reinigung bewirkt eine Wiederherstellung des Drainvermögens.

	2000	2006 vor Reinigung	2006 nach Reinigung	km
A2 Sissach		5,4	5,1	27,9
PA 11		0	9,0	27,0
FB > Basel	17,7	0	6,6	26,0
1998	15,2	0	4,8	25,0
A2 Sissach		0	4,2	25,0
PA 11	3,0	0	3,7	26,0
FB > Luzern		0	4,3	27,0
1998	6,3	0	4,6	28,0

Abb. 40 > Schematische Darstellung der Funktionsweise der Hydrovac Maschine

Die Reinigungsmaschine besitzt die besondere Eigenschaft, dass sie mit einem geschlossenen Wasserkreislauf arbeitet.

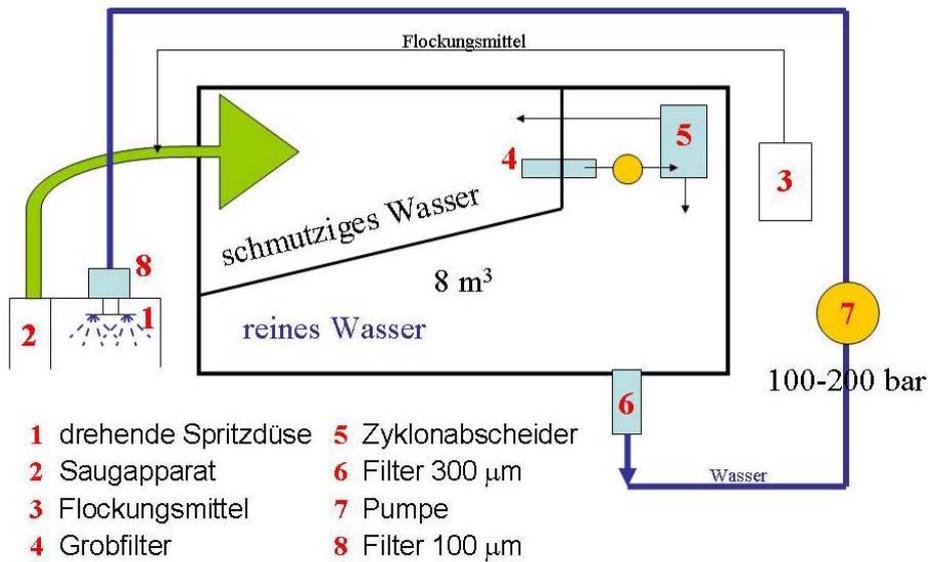


Abb. 41 > Detailaufnahmen der Reinigungsmaschine



A10 Wirtschaftlichkeit

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit müssen gewisse Annahmen der Belags- und Sanierungskosten getroffen werden.

In Abb. 42 sind die Kosten für einen lärmarmen Belag AC MR 4, wie er in den Empfehlungen beschrieben ist, in einem Nutzungs-Zyklus von 30 Jahren dargestellt.

Abb. 42 > Life-cycle-cost von lärmarmen und Normalbelägen

Als mögliches Beispiel sind die Kosten für Strassen von 10 bzw. 8 m Breite erfasst.

Kosten eines Nutzungszyklus von 30 Jahren

		Belag		Belagskosten kumuliert nach Jahren in Fr.					
		to / m2	Fr. / to	inital	10	15	20	30	
Belagsaufbau AC MR 4		Leistungen:							
	Fräsen 20 mm, Reinigung				4.00		8.00	12.00	
	Fräsen 70 mm, Reinigung			7.00	7.00		7.00	7.00	
	AC MR 4, 15 bis 20 mm	0.05	230.00	11.50	23.00		34.50	46.00	
	AC B 16, 50 bis 60 mm	0.15	160.00	24.00	24.00		24.00	24.00	
	<i>Kosten pro m2:</i>				42.50	58.00		73.50	89.00
Kosten für 10 m breite Strasse:				425.00	580.00		735.00	890.00	
Kosten für 8 m breite Strasse:				340.00	464.00		588.00	712.00	
konventioneller Belagsaufbau AC 8									
	Fräsen 35 mm			5.00			10.00	15.00	
	AC 8, 35 mm	0.09	170.00	15.30			30.60	45.90	
	<i>Kosten pro m2:</i>				20.30			40.60	60.90
	Kosten für 10 m breite Strasse:				203.00			406.00	609.00
	Kosten für 8 m breite Strasse:				162.40			324.80	487.20

Die Kosten eines lärmarmen Belages mit dem Belagsaufbau AC MR 4 liegen höher als jene eines konventionellen Belages. Sie sind allen Kostenberechnungen und wirtschaftlichen Überlegungen sowie den Kostenvergleichen und den Berechnungen des Sparpotenzials zu Grunde gelegt.

Wirtschaftlichkeit der lärmarmen Beläge bei Lärmsanierungen

Bei den bisher in der Schweiz realisierten Strassenlärmsanierungen betragen gemäss Erhebungen des BAFU die mittleren Streckenkosten für Lärmschutzwände und Schallschutzfenster (ohne Belagssanierung)

Kosten Lärmsanierung

- > bei städtischen Verhältnissen (sehr dicht bebauten Stadtstrassen) ca. 1400 Fr/m¹
- > bei halbstädtischen Verhältnissen (Agglomeration, Ortskerne) ca. 650 Fr/m¹
- > bei ländlichen Verhältnissen (Dorfcharakter, lockere Bebauung) ca. 300 Fr/m¹

Bei einem hohen Anteil an Lärmschutzwänden oder hohen denkmalpflegerischen Anforderungen an Schallschutzfenster liegen diese Werte deutlich höher.

Ein lärmarmen Belag ergibt eine Reduzierung dieser Massnahmenkosten. Geht man von einer mittleren Pegelminderung durch den lärmarmen Belag von -3 dBA gegenüber den bestehenden Belägen aus, so darf erfahrungsgemäss angenommen werden, dass sich die obigen Kostenangaben für Lärmschutzwände und Schallschutzfenster auf ca. die Hälfte vermindern. Dem stehen die Mehrkosten des oben beschriebenen lärmarmen Belags im Vergleich zu einem konventionellen Belag gegenüber. Sie betragen im Mittel ca. 200 Fr/m.

Reduktion Lärmsanierungskosten

Tab. 29 > Kostenvergleich der Lärmsanierung an Strassen mit und ohne lärmarmem Belag

Kostenschätzung
Lärmsanierung

Bei den Lärmsanierungskosten handelt es sich um Erfahrungswerte welche vom BAFU in der ganzen Schweiz 2006 erhoben worden sind. Die Kosteneinsparungen durch den Einbau von lärmarmen Belägen sind erste Schätzungen

Kostenart	Strassenkategorie	städtisch		halbstädtisch		ländlich	
		Stadtstrassen, sehr dicht bebaut, Häuserschluchten, über 3–4 Geschosse, Strassenbreite 10 m		Agglomeration, dichte, strassennahe Bebauung, Ortskerne, 3–4 Geschosse, Strassenbreite 8 m		Dorfcharakter, Ortsdurchfahrten, lockere Bebauung, 2–3 Geschosse, Strassenbreite 8 m	
		hoch ²	Mittel ¹	hoch ²	Mittel ¹	hoch ²	Mittel ¹
Sanierungskosten bei konventioneller Lärmsanierung	Fr./m	über 3000	1400	über 900	650	über 600	300
Geschätzte Kosteneinsparung der Lärmsanierung mit einem lärmarmen Belag (-3 dBA)	Fr./m	min. -1500	-700	min. -450	-325	min. -300	-150
Restkosten konventionelle Lärmsanierung	Fr./m	1500	700	450	325	300	150
Mehrkosten des lärmarmen Belages (in 30 Jahren)	Fr./m	281	281	225	225	225	225
Total Sanierungskosten inkl. lärmarmem Belag	Fr./m	1781	981	675	550	525	375
Kosteneinsparungen der Sanierung mit lärmarmem Belag	Fr./m	über 1219	419	über 225	100	über 75	-75
	in %	über 41 %	30 %	über 25 %	14 %	über 12 %	-25 %

Erhebungen BAFU zum Stand der Lärmsanierung in der Schweiz, 2006

¹ Mittlere Kosten der Lärmsanierung

² Hoher Anteil Lärmschutzwände (> 40 %) oder Fenster mit Denkmalschutzauflagen

Der Einsatz des vorgeschlagenen lärmarmen Belags ermöglicht somit erhebliche Kosteneinsparungen bei den Strassenlärmsanierungen, und zwar

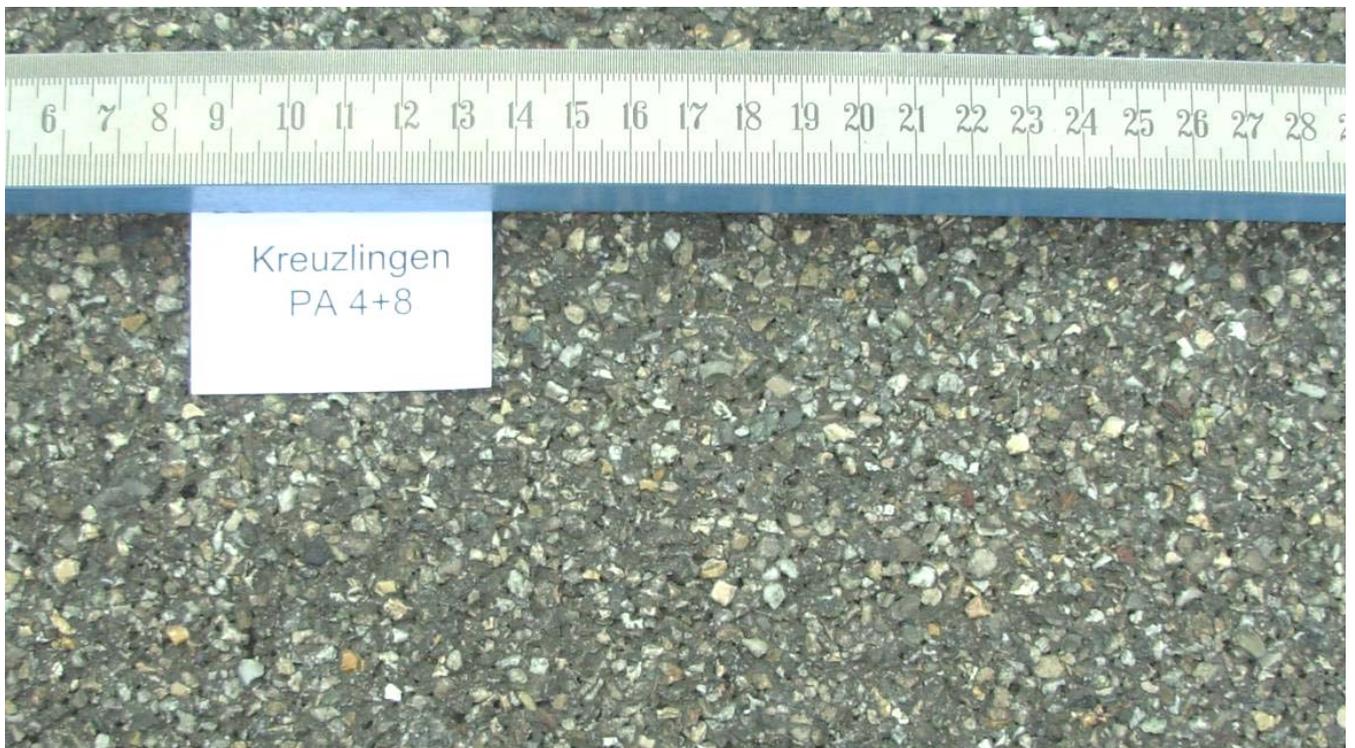
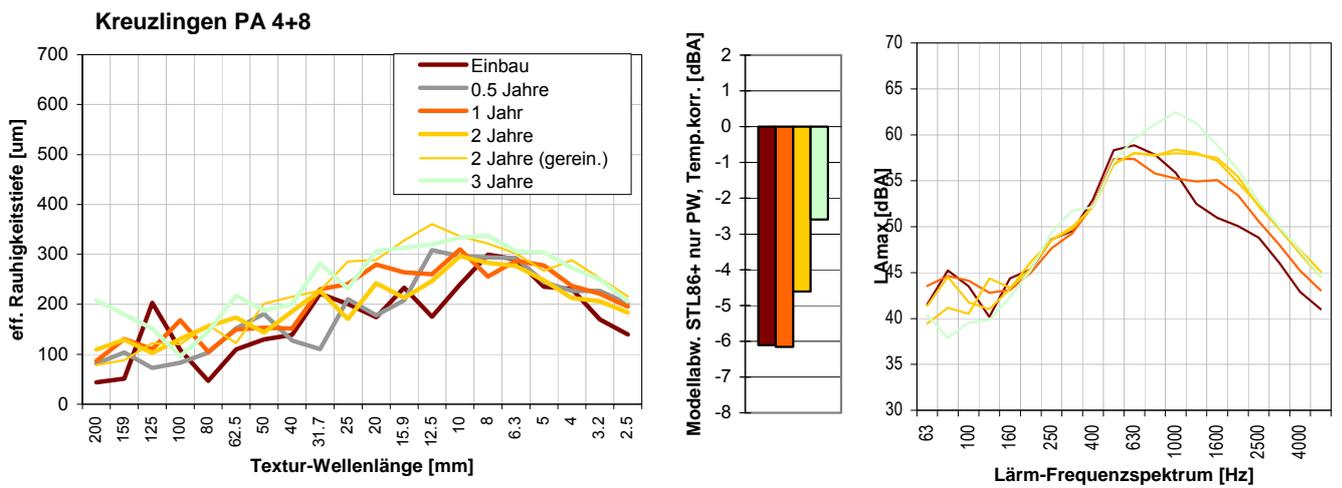
Sparpotenzial

- > bei städtischen Verhältnissen von ca. 500 bis 1200 Fr./m¹ bzw. ca. 40 %
- > bei halbstädtischen Verhältnissen von ca. 170 Fr./m¹ bzw. ca. 25 %
- > bei ländlichen Verhältnissen von ca. 0 Fr./m¹ bzw. ca. 0 %

A11 Datenblätter Teststrecken

Abb. 43 > Kreuzlingen PA 4+8

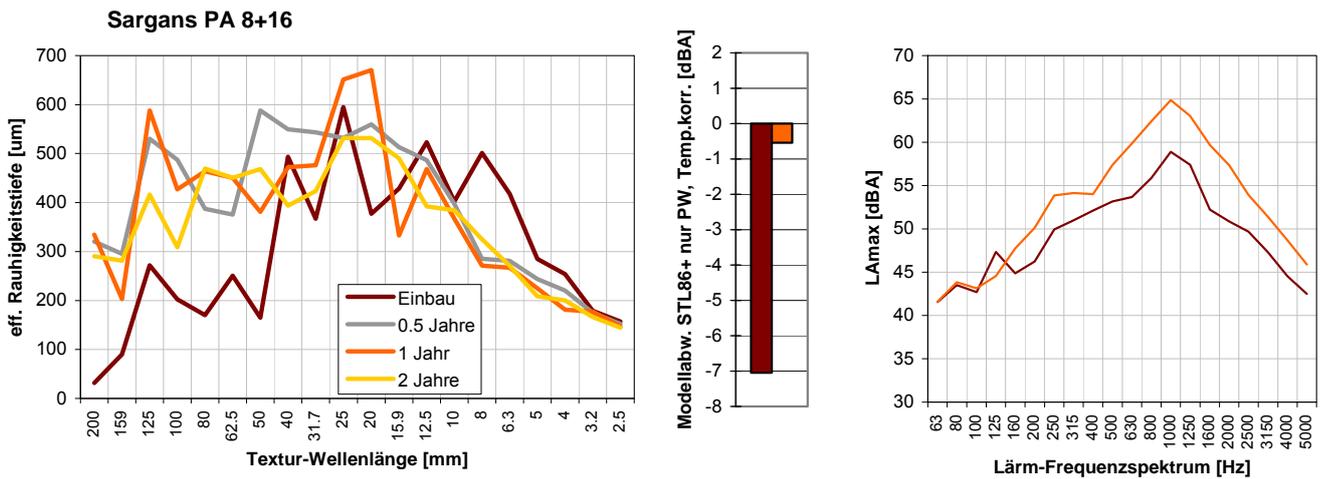
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Radspur rechts: die Oberfläche ist porös aber nicht wasserdurchlässig.
Es wurden keine Kornausbrüche registriert. Zwischen den Radspuren ist die Oberfläche dicht.

Abb. 44 > Sargans: PA 8+16

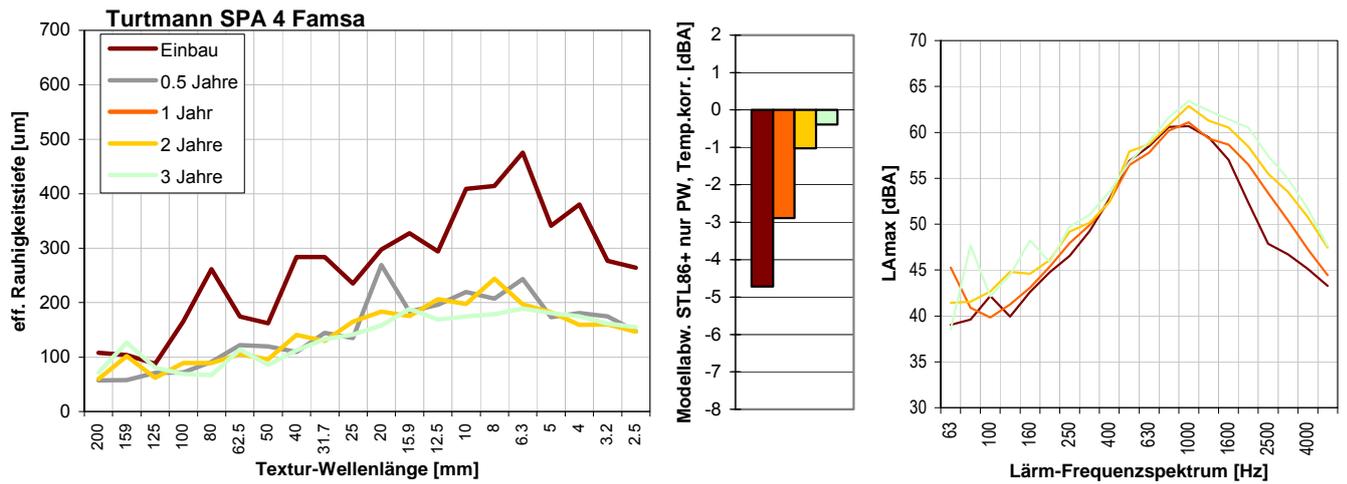
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Nach 1 Jahr traten wegen Einbaufehler massive Kornausbrüche auf. Der Belag verlor einen grossen Teil seiner lärmindernden Eigenschaften und wurde aus dem Messprogramm gestrichen.

Abb. 45 > Turtmann: SPA 4 Famsa

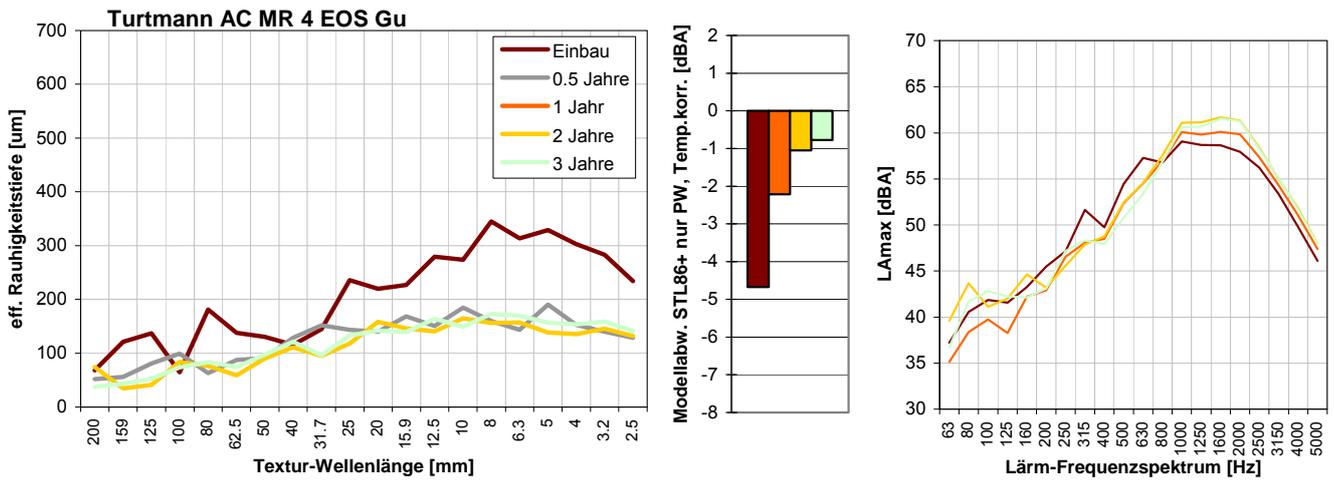
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Die Fahrbahn zeigt sehr markante Spurrinnen. Radspur rechts: die Oberfläche ist sehr schmutzig und durch viel Kornausbruch gekennzeichnet.

Abb. 46 > Turtmann: AC MR 4 EOS Gummi

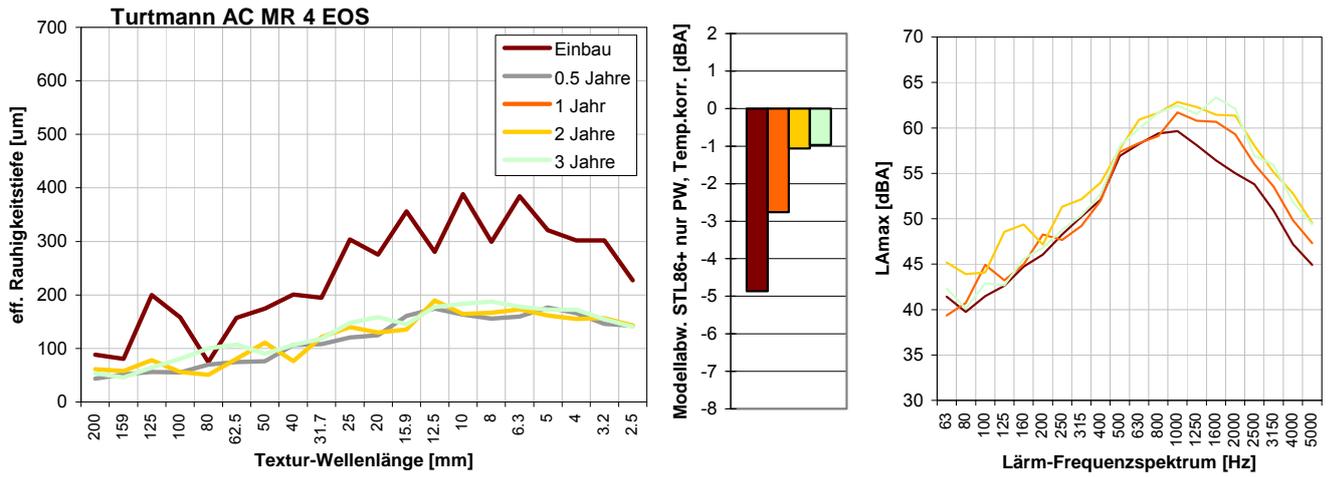
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Radspur rechts; die Oberfläche ist schmutzig. Das Gummigranulat ist ausgebrochen, sowie viele 4er-Körner. Die EOS-Körner zeigen glänzende metallische Spitzen.

Abb. 47 > Turtmann: AC MR 4 EOS

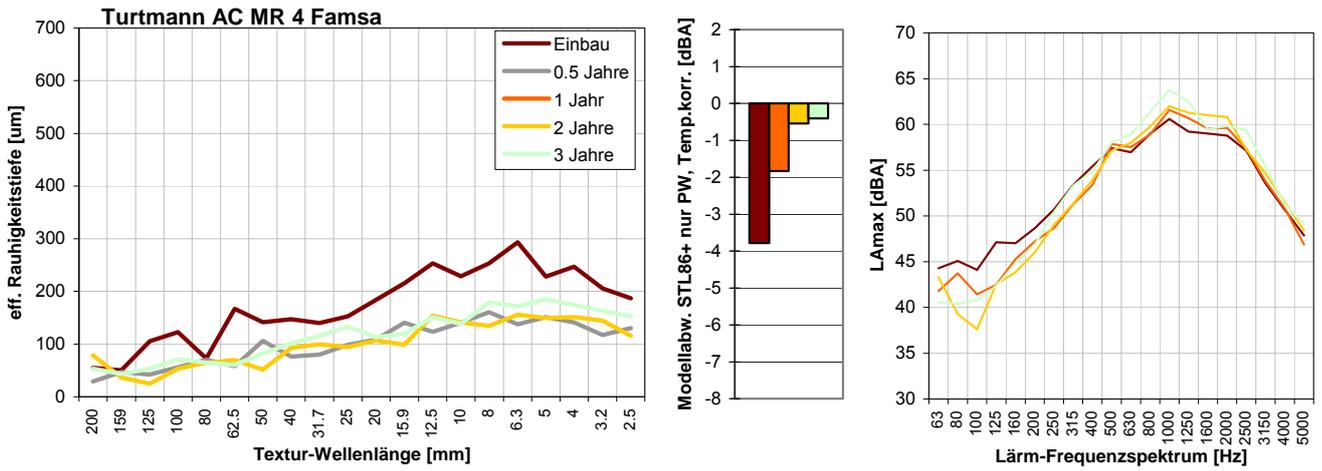
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Die Oberfläche ist intakt.

Abb. 48 > Turtmann: AC MR 4 Famsa

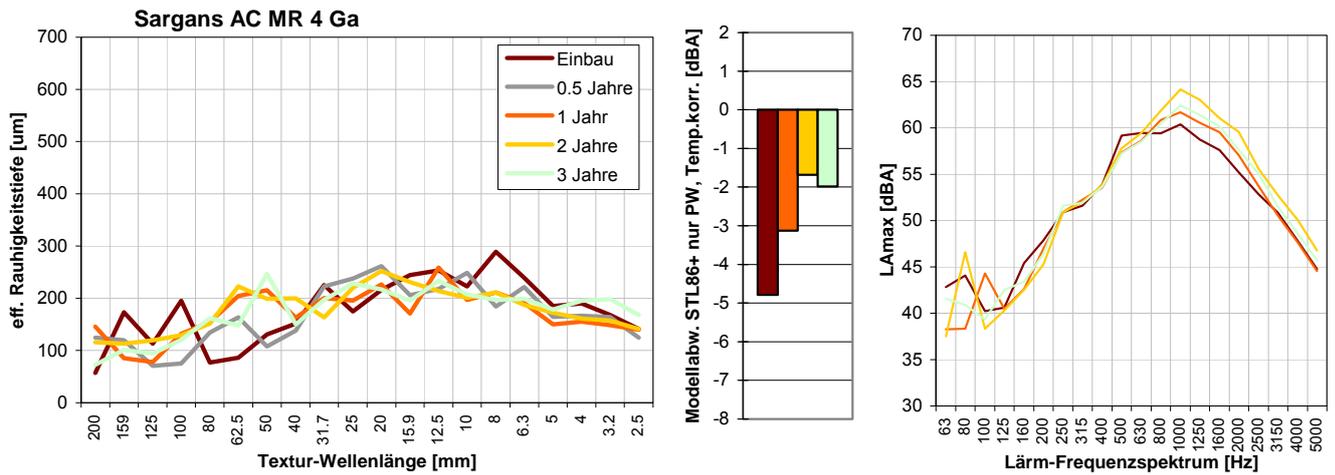
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Radspur rechts; Der Belag zeigt viel Schmutz, darunter Ölflecken. Die Körner sind abgeschliffen und brechen zum Teil aus.

Abb. 49 > Sargans: AC MR 4 Gasperini

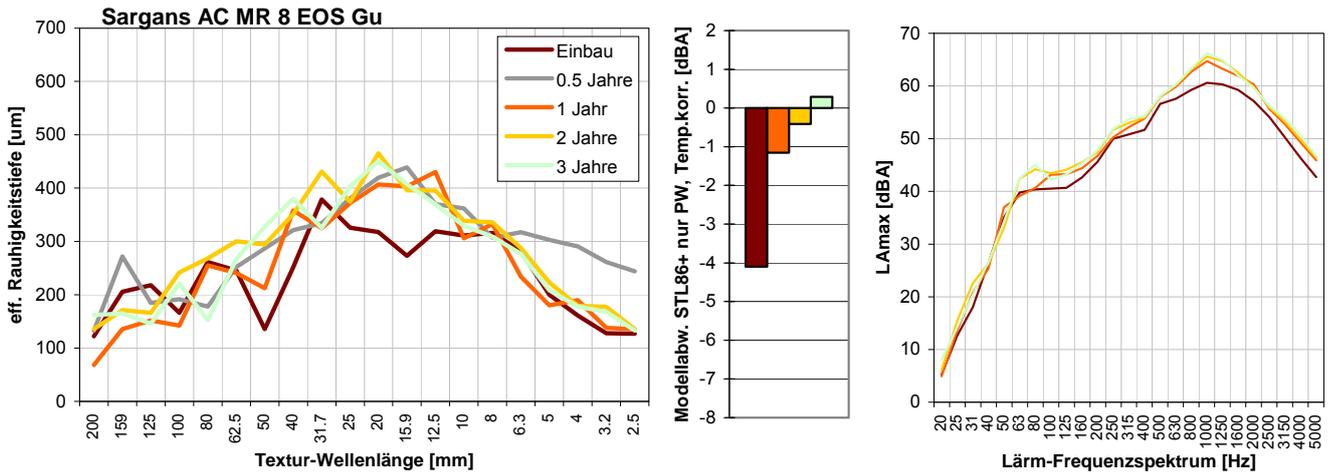
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Radspur rechts; etwas Kornausbruch und einzelne gebrochene Körner sind zu beobachten. Ansonsten ist der Belag noch rau.

Abb. 50 > Sargans: AC MR 8 EOS Gummi

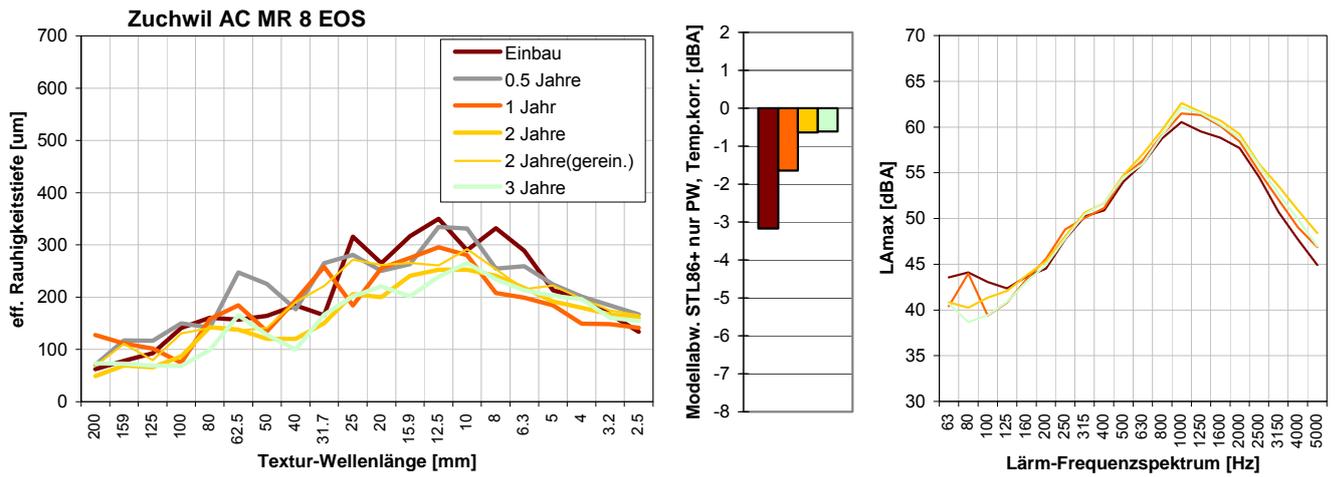
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Radspur rechts: die EOS Eisenschlackenkörner sind gut sichtbar da sie glänzen, der Gummi löst sich (kleine Löcher) und lässt sich mit den Fingern herauszupfen, grössere Löcher deuten auf 8er-Kornausbruch.

Abb. 51 > Zuchwil: AC MR 8 EOS

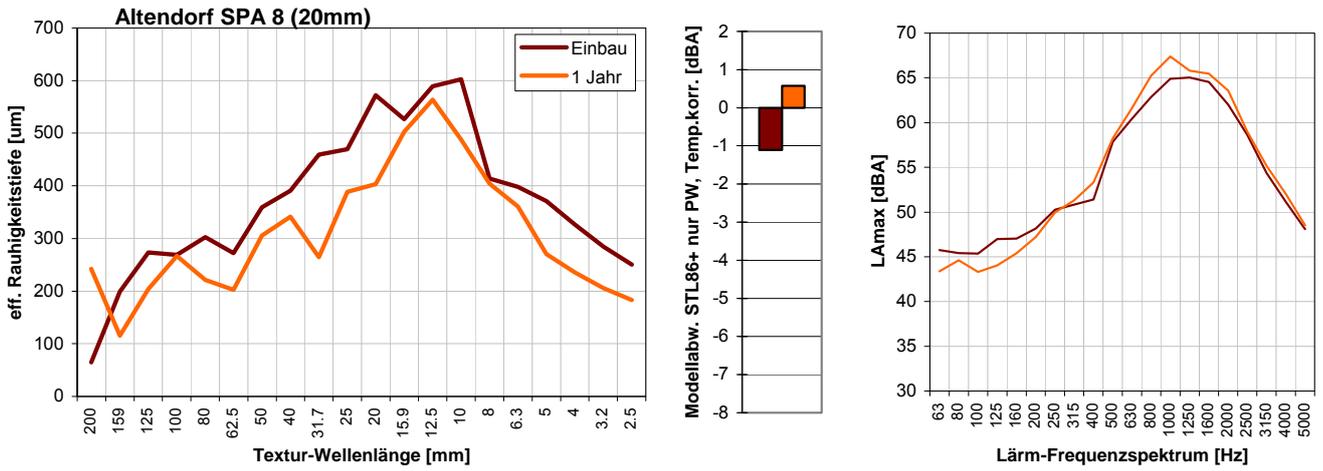
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und visuelle Beurteilung nach 3 Jahren



Radspur rechts; die EOS Eisenschlackenkörner sind gut sichtbar da sie glänzen, die 8er-Körner sind abgeschliffen. Es wurde nur sehr wenig Kornausbruch festgestellt.

Abb. 52 > Altendorf: SPA 8 Schichtdicke 20mm

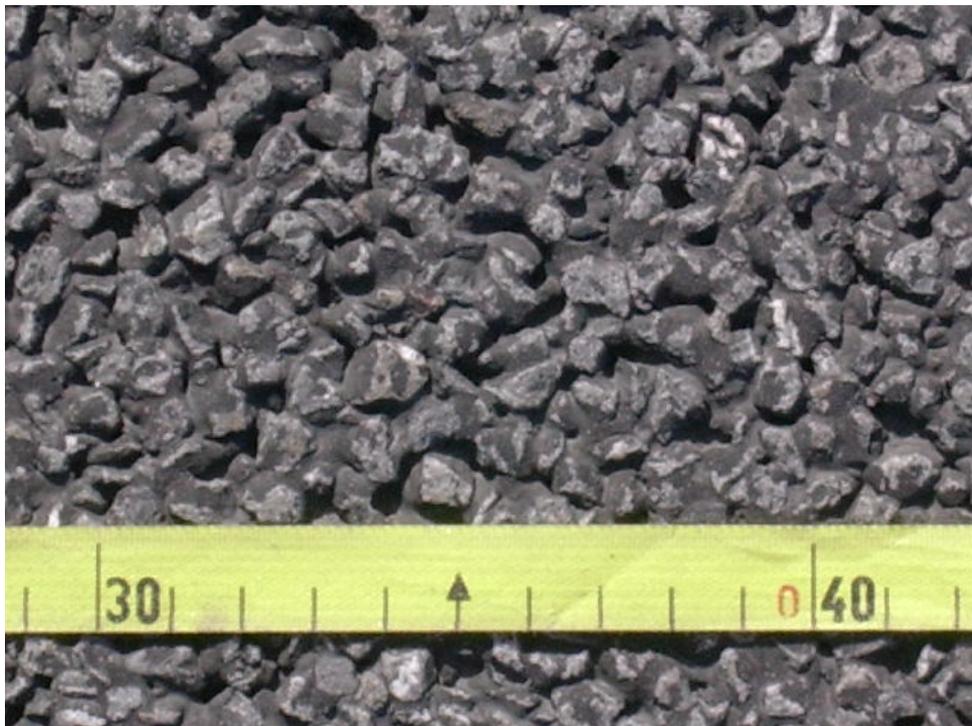
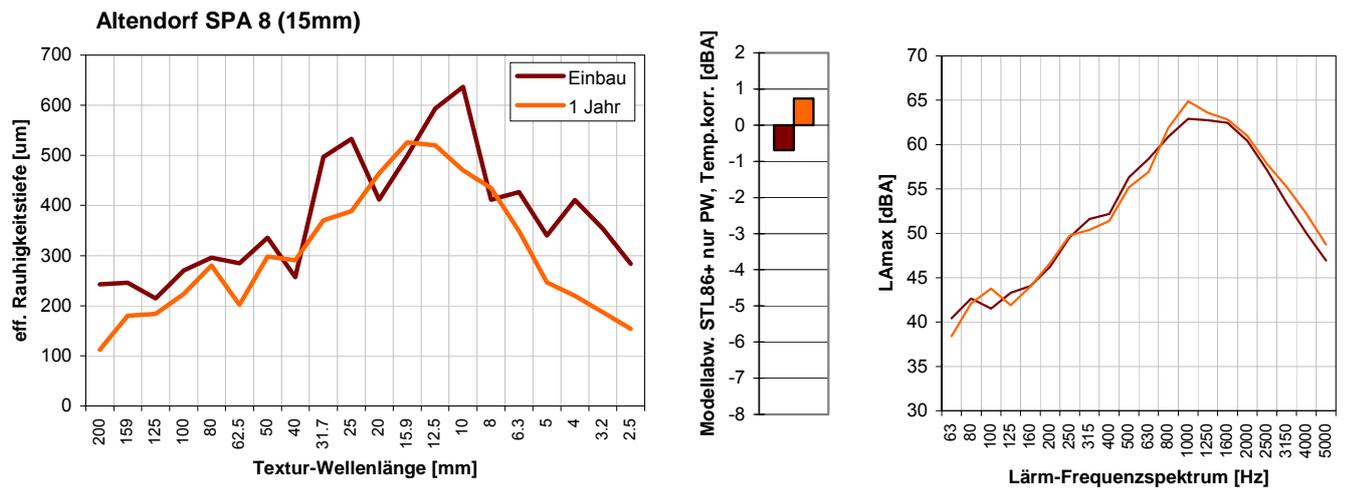
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 1 Jahr



Die Oberfläche ist grobkörnig und sehr porös.

Abb. 53 > Altendorf: SPA 8 Schichtdicke 15mm

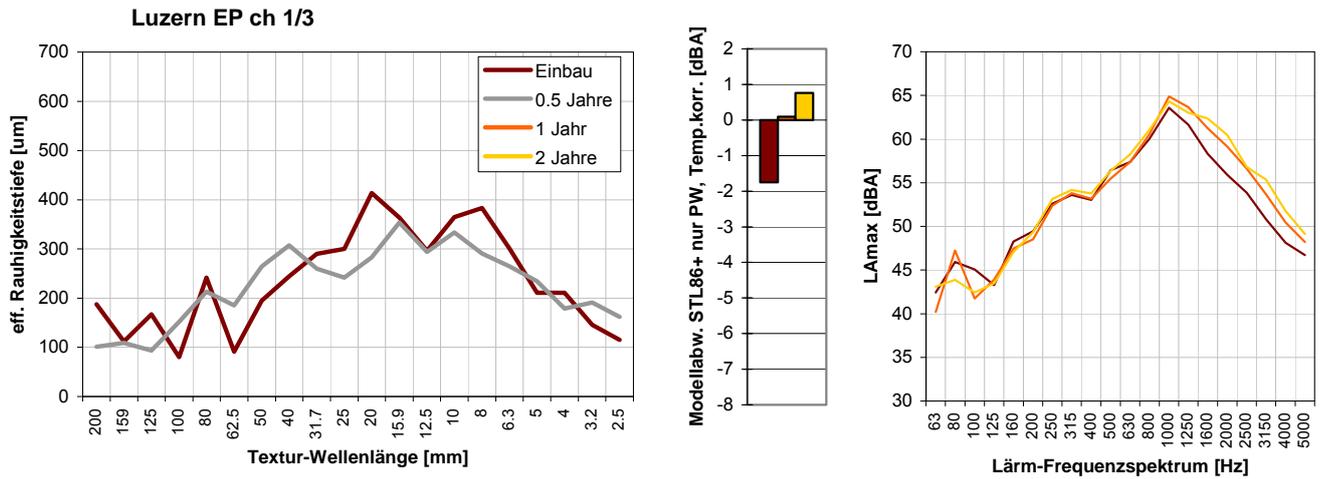
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 1 Jahr



Die Oberfläche ist grobkörnig und sehr porös.

Abb. 54 > Luzern: Whisper-Grip®

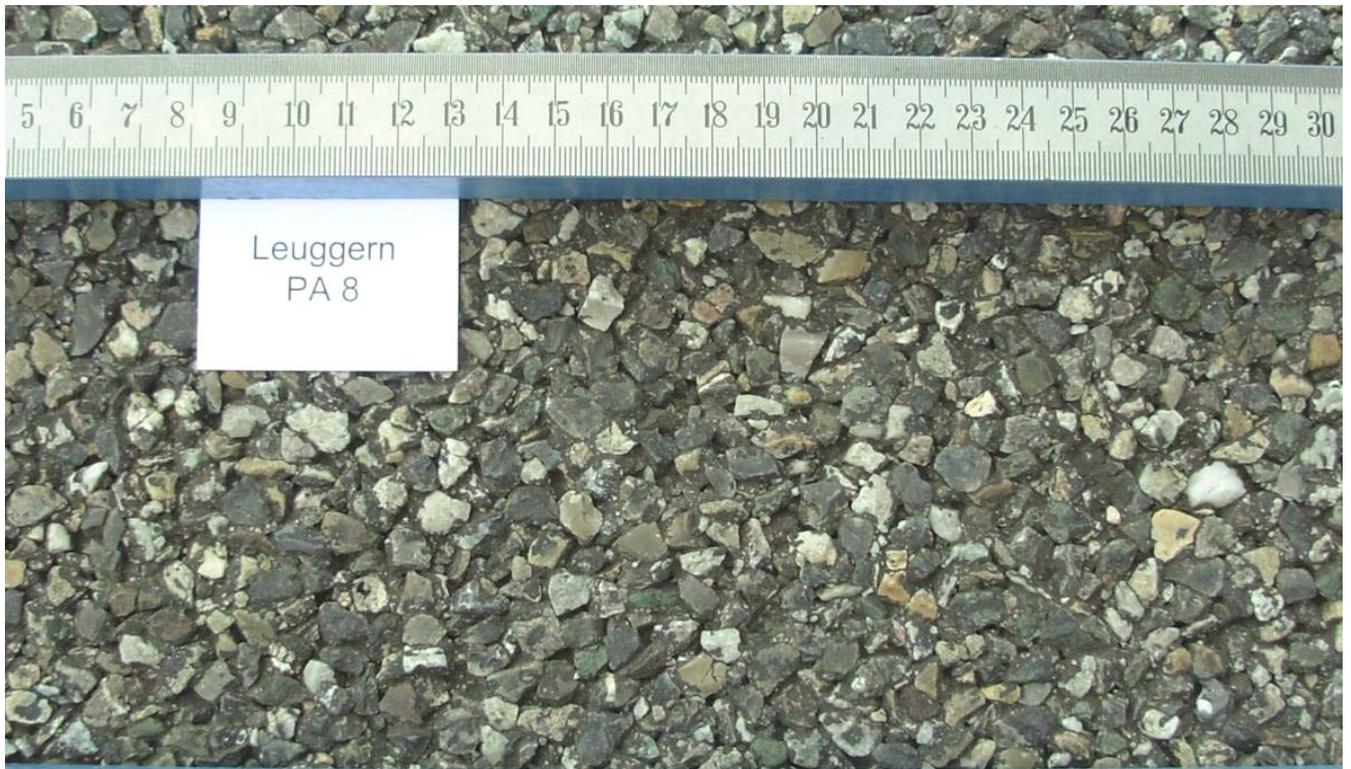
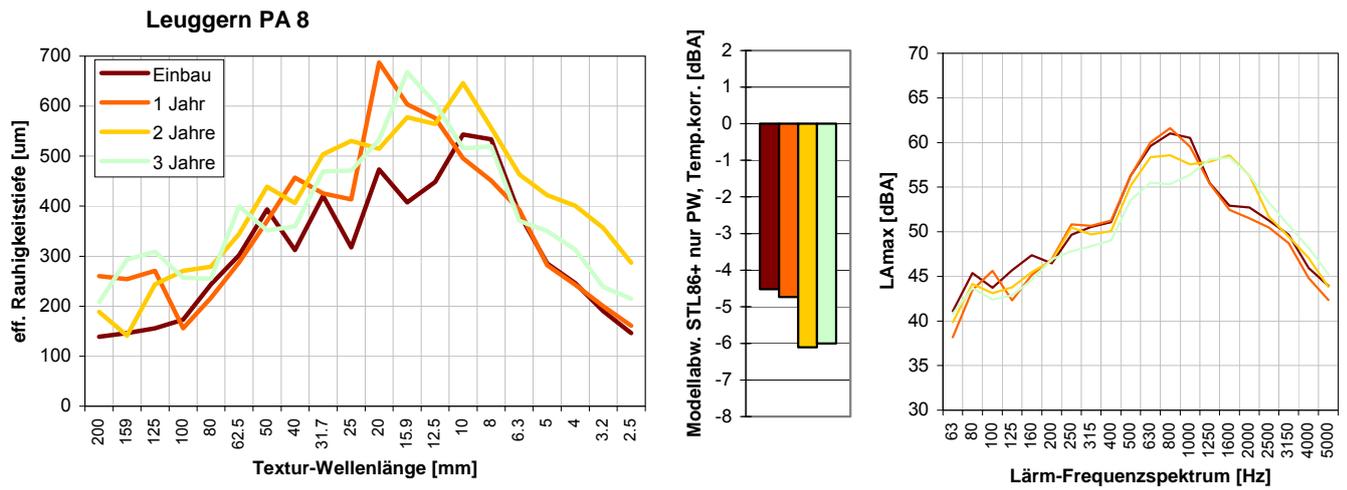
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 2 Jahren



Die aufgeklebten Körner ergeben eine ungünstige Textur.

Abb. 55 > Leuggern: PA 8

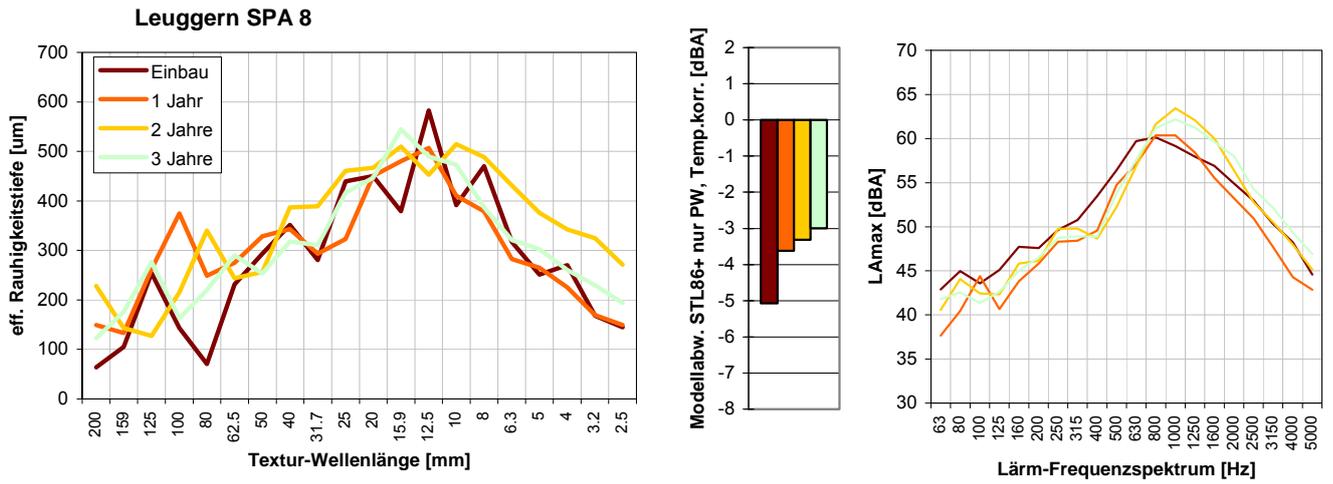
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Radspur rechts: in der Radspur werden offene Poren beobachtet. Stellenweise tritt starker Kornausbruch auf.

Abb. 56 > Leuggern:SPA 8

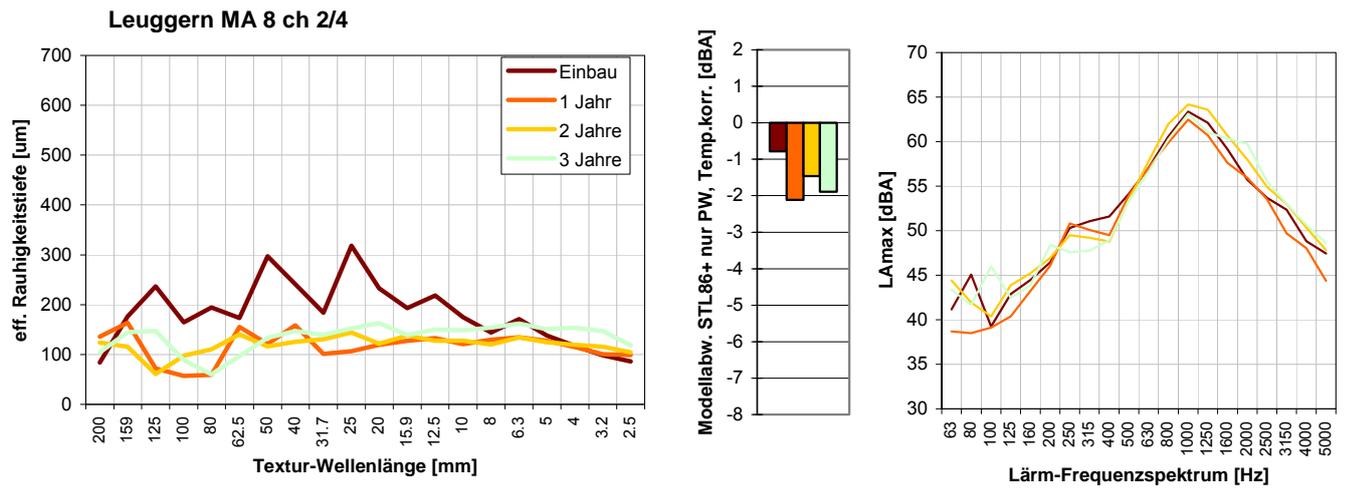
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Radspur rechts; in der Radspur befinden sich einige Poren, ansonsten ist der Belag dicht. Einige Kornausbrüche in einem Abstand von 5 bis 10 cm sind zu berichten.

Abb. 57 > Leuggern:MA 8, Abstreung 2/4

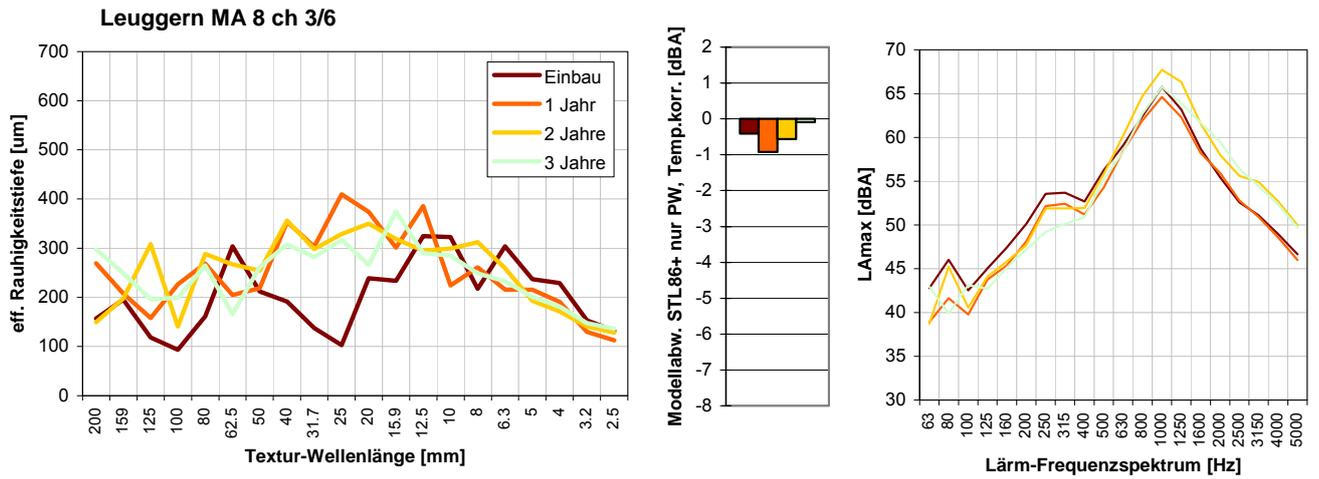
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Rechte Radspur: Der Belag ist sehr dicht. In den Radspuren wird etwas Schmutz und Kornausbruch beobachtet.

Abb. 58 > Leuggern:MA 8, Abstreuung 3/6

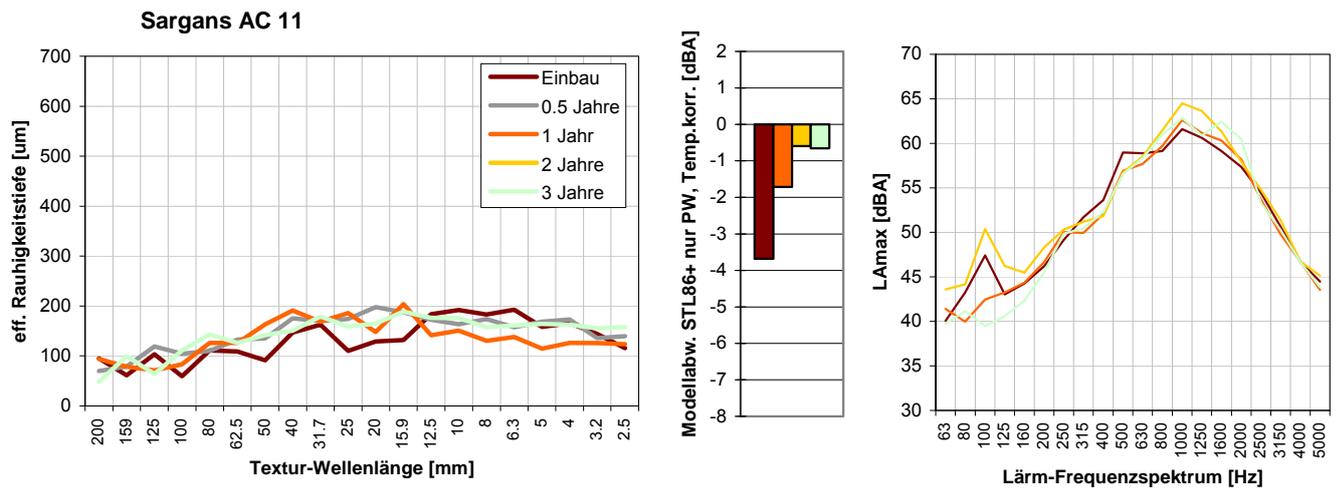
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Rechte Radspur: Der Belag ist sehr dicht und uneben. Es werden viele Kornausbrüche beobachtet.

Abb. 59 > Sargans: AC 11

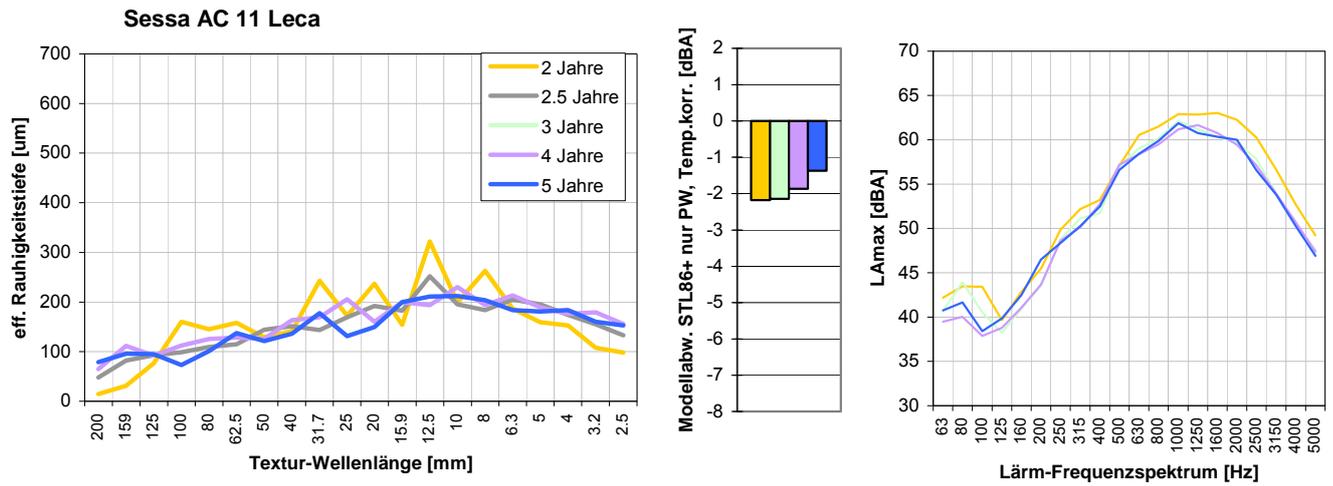
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Radspur rechts; es wurde Kornausbruch beobachtet.

Abb. 60 > Sessa: AC 11 Leca

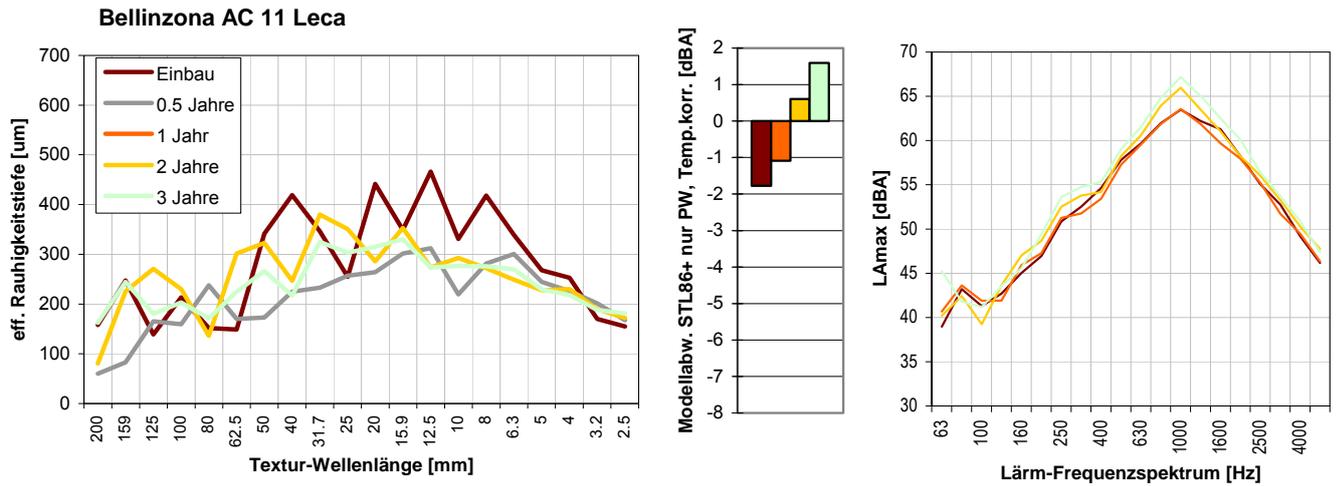
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Radspur rechts; der Belag liegt in sehr gutem Zustand vor. Die Leca-Körner sind abgeschliffen.

Abb. 61 > Bellinzona: AC 11 Leca

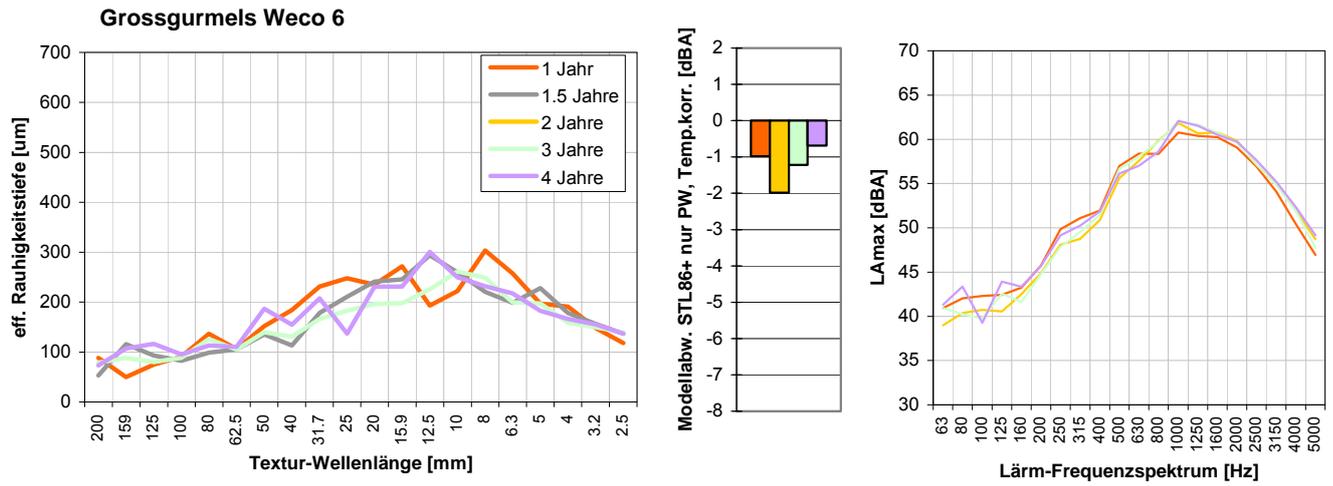
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto nach 3 Jahren



Radspur rechts: Der Belag scheint sehr abgenutzt aber ohne Spurrinnen. Es wird viel Kornausbruch beobachtet und besonders deutliche runde Löcher durch Leca Verlust. Die Radspuren sind verschmutzt, der seltene Leca ist abgeschliffen, die Gesteine sind poliert. Ausserhalb der Radspuren sind die Körner kantig und der Leca ist nicht ausgebrochen.

Abb. 62 > Grossgurmels: Wecophone 6

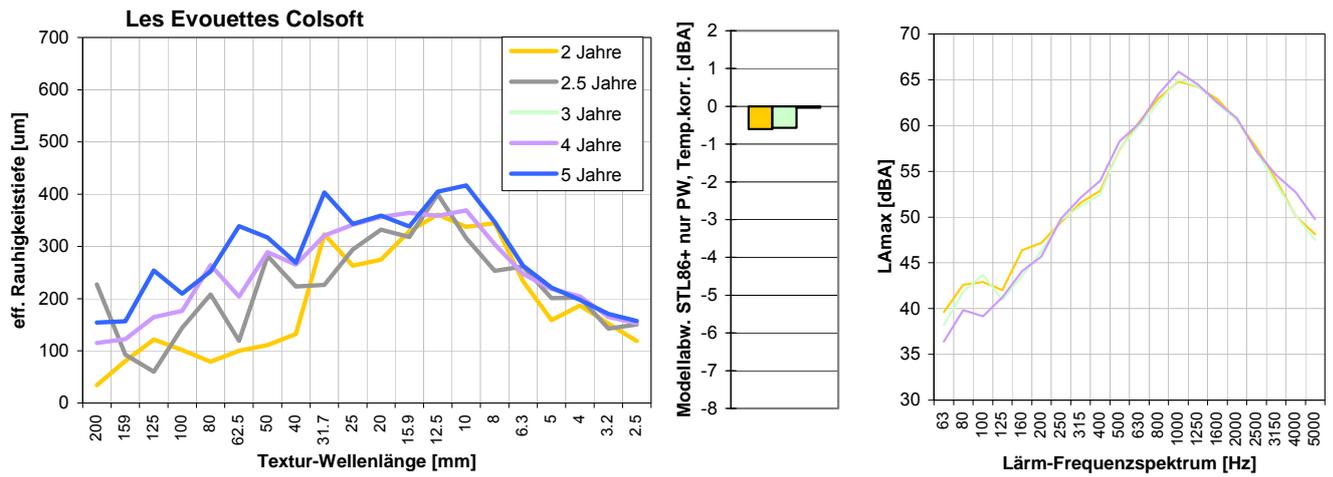
Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto des 4 jährigen Belags



Gleichmässige Oberfläche mit wenigen Kornausbrüchen.

Abb. 63 > Les Evouettes: Colsoft

Textur-Wellenlängen, akustische Belagsgüte (Personenwagen), Lärmfrequenzspektrum und Foto des 4-jährigen Belags



Oberfläche mit einigen Kornausbrüchen.

> Verzeichnisse

Abbildungen

Abb. A Akustische Belagsgüte bei Mischverkehr	9	Abb. 15 Gespaltenener Bohrkern des 4+8 PA Belags in Kreuzlingen	51
Abb. B Akustische Belagsgüte für Mischverkehr	10	Abb. 16 Modellabweichung in Abhängigkeit der mittlere Profiltiefe MPD der AC MR und SPA Beläge	53
Abb. 1 Definition dauerhaft lärmarmen Beläge im Innerortsbereich	19	Abb. 17 Personenwagen-Vorbeifahrtspegel mit Belags- und Lufttemperaturen	54
Abb. 2 Neue Sanierungsstrategie	20	Abb. 18 Lastwagen-Vorbeifahrtspegel mit Belags- und Lufttemperaturen	54
Abb. 3 Messanordnung für die akustische Messung SPB	21	Abb. 19 Korrelation Personenwagen-Vorbeifahrten mit Belagstemperatur	55
Abb. 4 Geographische Verteilung der Strecken	26	Abb. 20 Korrelation Lastwagen-Vorbeifahrten mit Belagstemperatur	55
Abb. 5 Spektralanalyse der Textur mit dem Laserprofilometer	31	Abb. 21 Einfluss der Reinigung auf Makrotextur und Lärm, AC MR 8 EOS	56
Abb. 6 Halblogarithmische Darstellung des Texturspektrums	31	Abb. 22 Einfluss der Reinigung auf Makrotextur und Lärm, AC MR 8 EOS	57
Abb. 7 Identisches Texturspektrum aber unterschiedlicher Lärm	32	Abb. 23 Zeitliche Entwicklung der Makrotexturparameter	58
Abb. 8 Messanordnung für die statistische Vorbeifahrtmethode	33	Abb. 24 Akustische Belagsgüte für Personenwagen nach Belagseinbau	59
Abb. 9 Akustische Belagsgüte bei Mischverkehr	44	Abb. 25 Lärmfrequenzdiagramme der Messungen AC MR 8 in Ziefen	60
Abb. 10 Akustischen Belagsgüte für Mischverkehr 8 % in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung	47	Abb. 26 Hohlraumgehalt, Lärmreduktion und technischer Nutzungsdauer	63
Abb. 11 Frequenzdiagramm: PA 4+8	48	Abb. 27 Unterhaltsstrategie für lärmarme Dünnschichtbeläge	66
Abb. 12 Frequenzdiagramm: SPA 4	48	Abb. 28 PA (Twinlayer) in Holland	67
Abb. 13 Frequenzdiagramm: AC 11 Leca	48	Abb. 29 PA (Twinlayer) in Holland	67
Abb. 14 Akustische Alterung und Hohlraumgehalt am Bohrkern	50	Abb. 30 Sparpotenzial in % und in CHF / km Sanierungsstrecke	68

Abb. 31		Abb. 47	
Verhinderung von Air-pumping	75	Turtmann: AC MR 4 EOS	99
Abb. 32		Abb. 48	
Darstellung eines Belagsprofils und Prinzip der Ermittlung von MPD	81	Turtmann: AC MR 4 Famsa	100
Abb. 33		Abb. 49	
Der Gestaltfaktor g	82	Sargans: AC MR 4 Gasperini	101
Abb. 34		Abb. 50	
Anfängliche Lärminderung für Personenwagen / belagstechnische Eigenschaften	87	Sargans: AC MR 8 EOS Gummi	102
Abb. 35		Abb. 51	
Lärminderung / Oberflächenprofil	88	Zuchwil: AC MR 8 EOS	103
Abb. 36		Abb. 52	
Akustische Belagsgüte für Mischverkehr mit 8 % Lastwagenanteil am Gesamtverkehr	89	Altendorf: SPA 8 Schichtdicke 20mm	104
Abb. 37		Abb. 53	
Akustische Belagsgüte nur für Personenwagen	89	Altendorf: SPA 8 Schichtdicke 15mm	105
Abb. 38		Abb. 54	
Akustische Belagsgüte für Mischverkehr 8 % Lastwagenanteil in Funktion der Verkehrsbelastung	90	Luzern: Whisper-Grip®	106
Abb. 39		Abb. 55	
Akustische Belagsgüte nur für Personenwagen in Funktion der Verkehrsbelastung	90	Leuggern: PA 8	107
Abb. 40		Abb. 56	
Schematische Darstellung der Funktionsweise der Hydrovac Maschine	92	Leuggern:SPA 8	108
Abb. 41		Abb. 57	
Detailaufnahmen der Reinigungsmaschine	92	Leuggern:MA 8, Abstreuerung 2/4	109
Abb. 42		Abb. 58	
Life-cycle-cost von lärmarmen und Normalbelägen	93	Leuggern:MA 8, Abstreuerung 3/6	110
Abb. 43		Abb. 59	
Kreuzlingen PA 4+8	95	Sargans: AC 11	111
Abb. 44		Abb. 60	
Sargans: PA 8+16	96	Sessa: AC 11 Leca	112
Abb. 45		Abb. 61	
Turtmann: SPA 4 Famsa	97	Bellinzona: AC 11 Leca	113
Abb. 46		Abb. 62	
Turtmann: AC MR 4 EOS Gummi	98	Grossgurmels: Wecophone 6	114
		Abb. 63	
		Les Evouettes: Colsoft	115

Tabellen

Tab. 1	
Anforderungen nach SN 640 430 a und Zielvorstellungen	22
Tab. 2	
Bestehende Strecken und Beläge	24
Tab. 3	
Strecken und neue Testbeläge	25
Tab. 4	
Bohrkernuntersuchung der Testbeläge	28
Tab. 5	
Wasserdurchlässigkeit der offenporigen Beläge	29
Tab. 6	
Durchgeführte Mischgutprüfungen und entsprechende Normen	30
Tab. 7	
Texturskalen nach PIARC Definition und entscheidende Einflüsse	32
Tab. 8	
Wasserdurchlässigkeit, Hohlraum und Verdichtungsgrad	38
Tab. 9	
Mittlere Profiltiefe der Testbeläge	40
Tab. 10	
Texturparameter in Abhängigkeit der Zeit	42
Tab. 11	
Verwendete Temperaturkorrekturen für Personenwagen und Lastwagen	56
Tab. 12	
Wasserdurchlässigkeit im Laufe der Zeit	56
Tab. 13	
Mischgutsorten AC MR 4 und AC MR 8	64
Tab. 14	
Effekte der Schallentstehung und -Ausbreitung beim Strassenlärm	74
Tab. 15	
Parameter für die Erstellung von lärmarmen Belägen im Innerortsbereich	77
Tab. 16	
Parameter für die Dauerhaftigkeit lärmarmen Belägen im Innerortsbereich	78

Tab. 17	
Turtmann Mischgutzusammensetzungen in Massen-%	79
Tab. 18	
Zuchwil Mischgutzusammensetzung in Massen-%	79
Tab. 19	
Kreuzlingen Mischgutzusammensetzungen in Massen-%	79
Tab. 20	
Sargans Mischgutzusammensetzungen in Massen-%	80
Tab. 21	
Altendorf Mischgutzusammensetzung in Massen-%	80
Tab. 22	
Luzern Zusammensetzung	80
Tab. 23	
Analyse des rückgewonnenen Bindemittels	83
Tab. 24	
Marshall-Hohlraumgehalt	84
Tab. 25	
Ebenheit	85
Tab. 26	
Griffigkeit und Texturtiefe	86
Tab. 27	
Hydrovac Reinigung A1 und A2 Aargau	91
Tab. 28	
Hydrovac Reinigung A2 Basellandschaft	91
Tab. 29	
Kostenvergleich der Lärmsanierung an Strassen mit und ohne lärmarmem Belag	94

Literatur

- [1] Schguanin G., Ziegler T. 2006: Leitfaden Strassenlärm. Vollzugshilfe für die Sanierung. Stand: Dezember 2006. Umwelt-Vollzug Nr. 0637. Bundesamt für Umwelt, Bern. 46 S.
www.umwelt-schweiz.ch/uv-0637-d
- [2] Cosandey L., Ingold K., Lüthi-Freuler N., Pestalozzi H. 2007: Sanierung Strassenlärm. Stand und Perspektiven: Dezember 2006. Umwelt-Zustand Nr. 0729. Bundesamt für Umwelt, Bern. 50 S.
www.umwelt-schweiz.ch/publikationen

- [3] Pestalozzi H., Grolimund H.-J., Angst C. 2003: Lärmarme Strassenbeläge innerorts, Statusbericht. BUWAL/ASTRA 2004, Bern. 119 S. www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
- [4] BAFU/ASTRA 2004, 2005, 2006: Lärmarme Beläge innerorts, Jahresberichte. www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
- [5] Kuster Y. 2002: Akustische Eigenschaften von Betonbelägen. Holcim (Schweiz) AG.
- [6] Grolimund H.-J., Attinger R., Meister A. 2002: Lärmarme bituminöse Strassenbeläge inner- und ausserorts. Gemeinsamer Forschungsauftrag von Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL und Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern. 77 S. www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
- [7] Schriftenreihe der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken 1994: Elektroofenschlacke, ein hochwertiger Mineralstoff für den Verkehrsbau. Heft 3.
- [8] Beideler J. 2005: La route snobe le recyclage, Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, n° 5291.
- [9] Bundesamt für Strassen ASTRA 2006: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen. Anhang 1c des Leitfaden Strassenlärm – Vollzugshilfe für die Sanierung. Bern. 8 S. www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
- [10] Sandberg U., Ejsmont J.A. 2002: Tyre/Road Noise Reference Book, Ed. Informex, Sweden.
- [11] ASTRA 2006: Technisches Merkblatt für lärmarme, dichte Beläge auf Autobahnen, T 102.
- [12] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 1995: Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell. Mitteilungen zur Lärmschutz-Versordnung (LSV) Nr. 6. 5 S. www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
- [13] Bendtsen H. 2007: mündliche Mitteilung, EMPA Workshop on Low-Noise Road Surfaces, Dübendorf.
- [14] Guidance S. 2006: Manual on the Implementation of Low-Noise Road Surfaces, FEHRL Report 2006/02, www.trl.co.uk/silvia
- [15] Angst C. 1982: Morphologische Beurteilung verdichteter bituminöser Mischungen, Mitteilung Nr. 51, Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau, ETH Zürich.
- [16] Serfass J.P. et al. 2004: Proceeding of Eurobitume & Euraspahl Congress, Vienna.
- [17] Bendtsen H. 2007: State-of-the-art of low-noise pavements, EMPA Workshop on Low-Noise Road Surfaces, Dübendorf.
- [18] Pestalozzi H. 2006: Kurzbericht Studienreise «Lärmarme Beläge» nach Holland, Grolimund & Partner AG, Bern. 10 S.
- [19] Klein P., HyRoNE 2007: un modèle hybride pour évaluer les performances acoustiques d'un revêtement ? Séminaire Sources de bruit routier, LCPC, Nantes.
- [20] Egger M., Roth G., Bayer R., Ludwig K. 1998: Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 301 Lärm, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 153 S. www.umwelt-schweiz.ch/publikationen
- [21] Eckmann B. 2007: Asphalt-Recycling, Forum Strasse 07, Olten.
- [22] van Vliet W.J. 2007: The Dutch Innovative program on noise IPG, Séminaire Sources de bruit routier, LCPC, Nantes.
- [23] Beckenbauer T., Spiegler P., Van Blokland G.J. et al. 2002: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen und der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e.V., Heft 847, August 2002, ISBN 3-934458-79-3.
- [24] Brosseaud Y., Anfosso Ledee F. 2001: Les revêtements de chaussées limitant le bruit de roulement, exemple de partenariat et de coopération entre l'administration et les entreprises françaises. LCPC, Centre de Nantes, France. www.infobruit.org
- [25] Hamet J.-F. et al., Relation entre la texture de la chaussée et le bruit rayonné par le pneumatique.
- [26] Lerch T. 2003: Akustische Eigenschaften offenporiger Fahrbahnen. VDI-Bericht 1791/2003, CD-ROM.