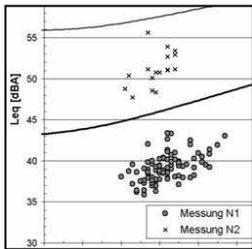
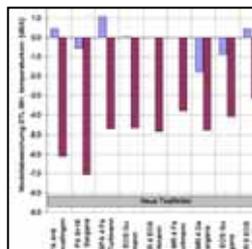
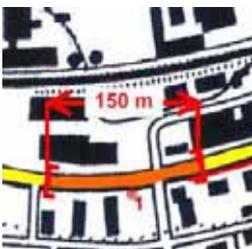


Lärmarme Strassenbeläge innerorts



Jahresbericht 2005



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Strassen ASTRA

Bundesamt für Umwelt BAFU

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

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

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

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 AG, Olten

Clavien Christophe, dipl. Bauing. HTL, IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen

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

Pestalozzi Hansueli, Dr. Phil. Nat., Grolimund & Partner AG, Bern

Begleitkommission

Mariotta Carlo, Präsident Begleitkommission, Präsident FoKo

Jörg Urs, BAFU, Abt. Lärmbekämpfung

Schguanin Gregor, BAFU, Abt. Lärmbekämpfung

Fehlbaum Markus, ASTRA, Abt. Infrastruktur

Gloor Hanspeter, Dep. Bau Verkehr und Umwelt Kt. Aargau, Fachstelle Lärm

Künzle Walter, Tiefbauamt TG

Levental Mario, Service cantonal de protection contre le bruit, GE

Dagani Mauro, Divisione delle costruzioni, TI

Forschungsstellen*Koordination*

Dieter Bosshardt

Frey + Gnehm AG

Leberngasse 1

4603 Olten

Tel. 062 206 24 24

Akustik

Hans-Jörg Grolimund

Grolimund & Partner AG

Thunstrasse 101 a

3006 Bern

Tel. 031 356 20 00

Beläge

Christian Angst

IMP Bautest AG

Hauptstrasse 591

4625 Oberbuchsitzen

Tel. 062 389 98 99

Download PDF

BAFU: www.umwelt-schweiz.ch/publikationen

ASTRA: www.astra.admin.ch

INHALT

Zusammenfassung	4
1 Auftrag / Ziel	6
1.1 Zielsetzung	6
1.2 Vorgehen	6
2 Pilotstrecken und Untersuchungsmethoden	7
2.1 Übersicht Pilotstrecken	7
2.2 Methoden Belagstechnik	8
2.3 Methoden Akustik	11
3 Messergebnisse	12
3.1 Belagstechnik	12
3.1.1 Testbeläge	12
3.1.2 Bestehende Beläge	13
3.1.3 Veränderung der Oberflächentextur	14
3.2 Akustik	15
3.2.1 Resultate der Lärmmessungen 2004 und 2005	15
3.2.2 Lärmreduktion für die Anwohner	16
4 Folgerungen / Kommentare / Zusammenhänge	17
4.1 Belagstechnik	17
4.1.1 Baustoffe und Einbau	17
4.1.2 Twinlayer-Beläge	17
4.1.3 4er-Beläge	19
4.1.4 Verwendung von Gummigranulaten	19
4.2 Lärm	19
4.2.1 Anforderungen an dauerhaft lärmarme Beläge	19
4.2.2 Akustisches Verhalten der verschiedenen Belagstypen	21
4.3 Zusammenhang Lärm - Belagstextur	22
4.4 Kosten der lärmarmen Beläge	24
4.5 Ökologische Aspekte	24
4.5.1 Verwendung von EOS	24
4.5.2 Verwendung von Gummi	25
5 Neue Erkenntnisse ausserhalb des Forschungsprojekts	26
5.1 Kolloquium "poroelastische Beläge"	26
5.2 LAVOC-Tagung, 14.9.2005	27
5.3 Verbundobjekt „Leiser Strassenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“	27
5.4 Rollpave – Prefab road for rapid construction	28
5.5 SILVIA	29
6 Anhang: Vergleich Lärm – Belag	30

Hinweis

Der Forschungsauftrag „Lärmarme Strassenbeläge innerorts“ hat zum Ziel, die Möglichkeiten dauerhaft lärmarmen Strassenbeläge für den Innerortsbereich zu untersuchen und dazu Grundlagen für technische Empfehlungen zu erarbeiten. Der Forschungsauftrag wurde 2004 begonnen. Um den interessierten Kreisen die neuesten Erkenntnisse rasch zur Verfügung stellen zu können, werden die Zwischenergebnisse jährlich in einem Kurzbericht zusammengefasst.

Der „Jahresbericht 2004“, der die im Startjahr 2004 durchgeführten Arbeiten dokumentiert, wurde im Frühling 2005 veröffentlicht. Dieser Bericht wurde mit den Untersuchungsergebnissen 2005 aktualisiert bzw. ergänzt. Der vorliegende „Jahresbericht 2005“ enthält somit alle bis Ende 2005 vorliegenden Forschungsergebnisse.

BAFU und ASTRA werden im Juni 2006 einen Leitfaden für die Strassenlärm-Sanierung publizieren. Darin werden verbindliche Vorgaben für den Umgang mit Belägen im Rahmen der Lärmsanierung gemacht. Die Erkenntnisse dieses Forschungsprojekts fliessen in die im Leitfaden gemachten Angaben zur akustischen Belagsgüte der verschiedenen Strassenbeläge ein.

Zusammenfassung

Gestützt auf den "Statusbericht 2003 lärmarme Strassenbeläge innerorts" wurden 10 zu untersuchende Belagstypen und deren Rezepturen festgelegt. Es wurden durchwegs polymermodifizierte Bindemittel verwendet. Zur Verbesserung des akustischen Langzeitverhaltens wurden teilweise Materialien wie EOS, Famsa, Gasperini gewählt. Zudem wurden bei einzelnen Belägen Gummigranulate beigemischt. Die ausgewählten Belagstypen wurden gemeinsam mit den Kantonen auf geeigneten Teststrecken eingebaut. Alle Teststrecken sind Teilstrecken bestehender Strassen, die aus bau- und/oder lärmtechnischen Gründen ohnehin mit einem neuen Belag versehen werden mussten.

Ergänzend dazu wurden 9 weitere, unabhängig vom Forschungsauftrag und teilweise schon vor einigen Jahren eingebaute Beläge in das Forschungsprogramm aufgenommen, die als lärmarm angesehen wurden.

Die Beläge wurden belagstechnisch und akustisch durch Messungen erfasst und die Messergebnisse in einer Datenbank abgelegt. Zusammenfassend ergeben sich nach zweijähriger Beobachtung folgende provisorische Erkenntnisse:

Belagstechnik

- Der Einbau aller lärmarmen Belägen hat hohe Qualitätsansprüche zu genügen. Insbesondere ist bei der Materialwahl auf beste Qualität zu achten.
- Besondere Anforderungen ergaben sich auch beim Einbau der feinkörnigen Beläge. Sie kühlen rasch ab und müssen sofort verdichtet werden. Speziell zu beachten ist auch die Ebenheit der Unterlage.

Akustik

- Die höchsten Anfangs-Pegelminderungen mit bis zu -7 dBA unter dem Referenzwert (durchschnittlicher Schwarzbelag) wurden mit Twinlayer-Drainbelägen erreicht. Die ausgezeichneten akustischen Eigenschaften haben sich bislang nicht verändert. Eine Ausnahme bildet der Twinlayer in Sargans, der seine anfänglich guten akustischen Eigenschaften infolge einbaubedingter Mängel nach einem Jahr vollständig eingebüsst hat.
- Die feinkörnigen SPA- und AC MR-Beläge mit Korngrössen bis 4 mm erreichten mit -4 dBA bis -5 dBA gute Anfangs-Lärminderungswerte, büsst davon aber nach dem ersten Jahr im Mittel etwa 1.5 dBA ein. Sie sind aber immer noch leiser als die vergleichbaren Beläge mit 8er-Körnung.
- Die Anfangs-Lärminderungswerte der grobkörnigen SPA- und AC MR-Beläge mit 8 mm Grösstkorn sind erwartungsgemäss durchschnittlich etwa 1 dBA schlechter als die feinkörnigeren Beläge. Die akustischen Belagsgütwerte haben sich im ersten Jahr etwa gleich stark vermindert wie jene der Beläge mit 4er-Grösstkorn.
- Die 2004 im Tessin mit Leca-Beimischungen erstellten Beläge und der 2005 in Altendorf eingebaute SPA 8 erreichten den geforderte Anfangslärminderungswert von - 3 dBA nicht.
- Die untersuchten Gussasphalte und Abstreuerungen bzw. Beschichtungen (Epoxyharz) erreichen die Anforderungen an einen lärmarmen Belag nicht.

Lärm und Belagstextur

- Zwischen Lärminderung und Belagstextur lassen sich trotz ausführlicher Texturuntersuchungen bislang kaum schlüssige, für alle Belagstypen gültige Zusammenhänge feststellen.
- Einzig das Wellenlängen-Amplituden-Diagramm der Textur ergibt im allgemeinen plausible Zusammenhänge zwischen der akustischen Belagsgüte und den Oberflächeneigenschaften eines Belags.

Poroelastische Beläge

- Mit den Exponenten poroelastischer Beläge, Prof. Sandberg und Dr. Kalmann vom VTI (Schweden), wurde an der EMPA ein Kolloquium durchgeführt.
- Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass noch weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, bevor die poroelastischen Beläge in der Schweiz im Innerortsbereich getestet werden können.

Kosten

- Zur Betrachtung der finanziellen Aspekte gehört neben den reinen Erstellungskosten auch die Nutzungsdauer der lärmarmen Deckschichten sowie die Betriebskosten. Vergleicht man die lärmarmen Beläge mit "normalen" Deckschichten, so dürften die Mehrkosten gegenüber Normalbelägen (z.B. AC, SMA) unter normalen Marktbedingungen ca. bei 15 - 20% liegen, beim Twinlayer fein (40mm) bei etwa 30% und für den Twinlayer grob (70mm) um 40%. Diese Mehrkosten sind aber im Vergleich zu den sehr kostenintensiven Lärmschutz-Massnahmen zu einer gleichwertigen Lärmentlastung der Anwohner als sehr günstig zu beurteilen.

1 Auftrag / Ziel

1.1 Zielsetzung

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

Um zielgerichtet Lösungen zu finden haben BAFU und ASTRA gemeinsam das Forschungsprojekt „Lärmarme Beläge Innerorts“ lanciert, damit möglichst rasch einheitliche technische Empfehlungen in Form von typisierten Belagsrezepturen für die praktische Anwendung zur Verfügung stehen.

Den Kantonen als Bauherren für Lärmsanierungen in Siedlungsgebieten soll die Möglichkeit geboten werden möglichst rasch, anhand von Zwischenberichten, von den Forschungsergebnissen profitieren zu können.

Die lärmarmen Beläge sollen aber nicht nur bei Strassenlärmsanierungen eingebaut werden. Vielmehr soll der Anreiz geboten werden, auch bei Neubaustrecken oder normalem Deckschicht-Ersatz in Zukunft vermehrt lärmarme Beläge einzusetzen. Auf diese Weise können teure, gestalterisch unbefriedigende Lärmschutzmassnahmen reduziert oder vermieden werden.

1.2 Vorgehen

Gestützt auf den Statusbericht 2003 über lärmarme Strassenbeläge innerorts (Publikation 308.205.d/f vom Mai 2004) wurden im Sommer 2004 und 2005 zwölf Testbeläge auf verschiedenen Pilotstrecken eingebaut.

An allen Testbelägen wurden physikalische und akustische Messungen durchgeführt und ausgewertet. Im Sinne einer praxisnahen Forschungsarbeit werden jährlich sogenannte Jahresberichte mit den aktuellen Messresultaten und Erkenntnissen publiziert.

Der Einbau der Testbeläge wurde von der Forschungsstelle begleitet. Anschliessend wurden Untersuchungen zur Qualitätserfassung der eingebauten Beläge durchgeführt. Weitere Messungen zur Erfassung des Langzeitverhaltens der Beläge sind, vorläufig bis 2007, vorgesehen.

Parallel zu den neu erstellten Testbelägen wird eine Auswahl bestehender lärmoptimierter Deckbeläge gemessen und in das Forschungsprojekt einbezogen.

1.3 Provisorische Ergebnisse

Nach den bisherigen Erkenntnissen sind feinkörnige und offenporige Beläge zur Lärmreduktion besonders geeignet.

2 Pilotstrecken und Untersuchungsmethoden

2.1 Übersicht Pilotstrecken

Die geeigneten Pilotstrecken wurden im Jahr 2003 aufgrund der Vorschläge der Kantone ausgewählt. Folgende Pilotstrecken und Testfelder sowie bestehende „lärmarme Beläge“ wurden in das Forschungsprogramm aufgenommen.



Neue Pilotstrecken:

Pilotstrecke	Testbeläge	Herkunft Splitt	Länge	Belagseinbau
Kreuzlingen TG	Twinlayer PA 4 / PA 8	Walliswil	150 m	04.08.2004
Sargans SG	Twinlayer PA 8 / PA 16	Hagerbach	320 m	17.09.2004
Turtmann VS	SPA 4	Famsa	550 m	28.09.2004
	AC MR 4 EOS Gummigran.	Stahl Gerlafingen	250 m	29.09.2004
	AC MR 4 EOS	Stahl Gerlafingen	250 m	29.09.2004
	AC MR 4	Famsa	550 m	30.09.2004
Sargans SG	AC MR 4	Gasperini	300 m	20.09.2004
	AC MR 8 EOS Gummigran.	Stahl Gerlafingen	300 m	13.09.2004
Zuchwil SO	AC MR 8 EOS	Stahl Gerlafingen	180 m	31.08.2004
Luzern LU	EP ch 1/3 (Whisper-Grip)	Durop-ähnlich	150 m	31.08.2004
Altendorf SZ	SPA 8, 20 mm	Gasperini	110 m	06.10.2005
	SPA 8, 15 mm	Gasperini	130 m	06.10.2005

Bestehende lärmarme Beläge:

Besteh. Strecken	Beläge	Herkunft Splitt	Länge	Belagseinbau
Leuggern AG	PA 8		90 m	2003
	SPA 8		90 m	2003
	MA 8 mit Abstreuung 2/4		60 m	2003
	MA 8 mit Abstreuung 3/6		60 m	2003
Sargans SG	AC 11		320 m	2004
Sessa TI	AC 11 Leca	Gasperini		2002
Bellinzona TI	AC 11 Leca	Gasperini	320 m	2004
Les Evouettes VS	Colsoft			2002
Grossgurmels FR	Wecophon 6	Famsa, Choëx		2003

2.2 Methoden Belagstechnik

Es wurden folgende belagstechnische Untersuchungen durchgeführt:

Bohrkernuntersuchungen

- Hohlraumgehalt
- Verdichtungsgrad
- Schichtdicke

Die Bewertung erfolgt auf Grund der Sollwerte, die durch die Forschungsstelle Lärm festgelegt wurden. Diese Sollwerte wurden an Hand der objektbezogenen Konzepte festgelegt.

Längs- und Querebenheit

- Längsebenheit, gemäss SN 640 520a mit Hilfe des Winkelmessgerätes; Typ „Goniograph“
- Querebenheit, gemäss SN 640 520a mit Hilfe des Profilographen

Die Bewertung erfolgt gemäss SN 640 521c

Griffigkeit

- Pendeltest, gemäss SN 640 512-4 (EN 13036-4) mit Hilfe des PTV-Pendel (früherer SRT-Pendel).
- Ausflussmessung, gemäss SN 640 511-3 (EN 13036-3) mit Hilfe des Ausflussmessgerätes nach Moore.

Die Bewertung erfolgt gemäss SN 640 511b

Rauigkeit

- volumetrisches Verfahren, gemäss SN 640 511-1 (EN 13036-1) (frühere Sandfleckmethode)
- bei durchlässigen Belägen (PA) Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit gemäss SN 604 430, Anhang 2.
- Laserprofil, gemäss ISO 13473-1, mit 5 Messpunkte pro Millimeter. Die gemessene Profillänge wurde im Laufe der Zeit erhöht. Sie betrug 700 mm im Jahr 2004 und drei mal 700 mm im Jahr 2005. Der heutige Stand besteht aus drei mal 4200 mm.
 - ⇒ Ermittlung der mittleren Rautiefe MPD (Mean Profil Depth)
 - ⇒ Berechnung der geschätzten Rautiefe ETD (Estimated Texture Depth), ermöglicht einen Vergleich mit dem volumetrischen Verfahren nach EN 13036-1)

Die Berechnungsmethode von MPD (französisch PMP) und ETD (französisch PTE) ist in Abb. 1 dargestellt.

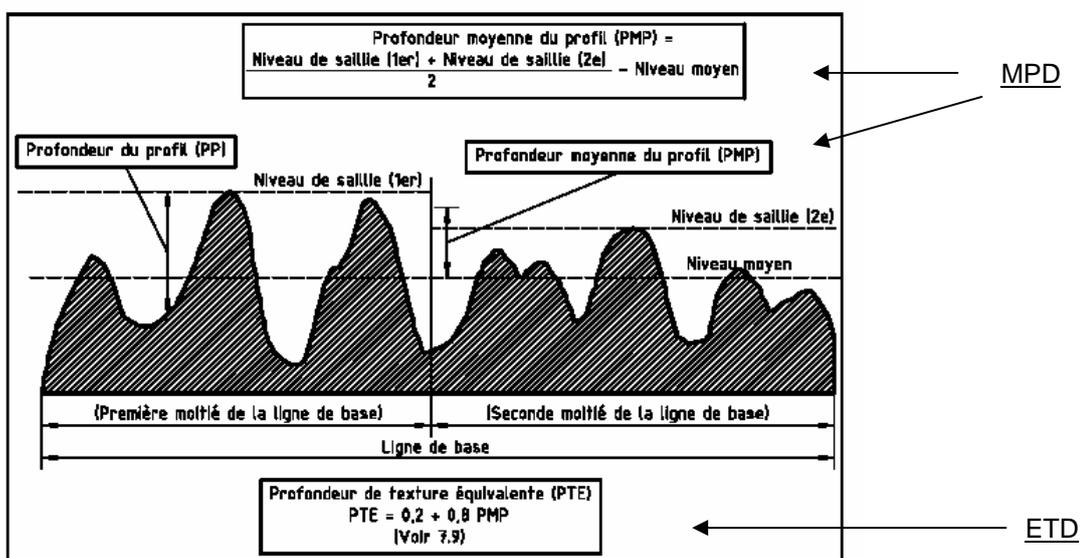


Abbildung 1 Darstellung eines Belagsprofils und Prinzip der Ermittlung von MPD und ETD

Oberflächentextur

Analyse des Laserprofils, gemäss ISO 13473-2

Für die Schallentstehung ist die Oberflächentextur eines Belages entscheidend. Dabei wird das Belagsprofil (Abb. 2) mathematisch mittels einer Fourier-Transformation in eine Serie von Sinusschwingungen mit bestimmter Wellenlänge und Amplitude zerlegt. Das Resultat wird als Texturspektrum mit Terzbändern und Amplitude aufgetragen.

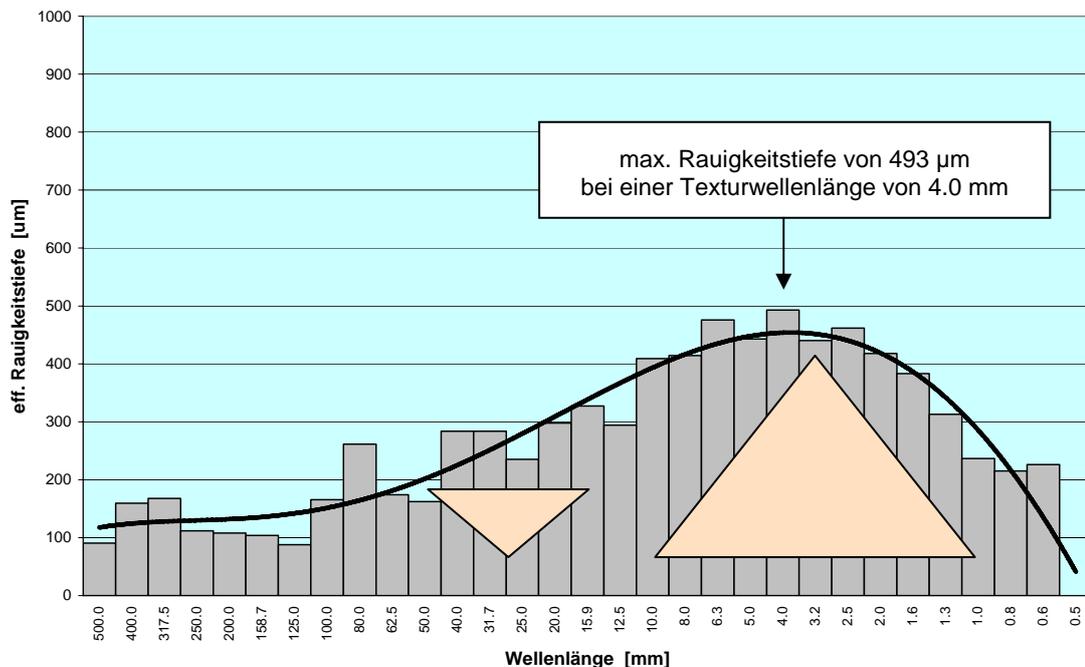


Abbildung 2 Halblogarithmische Darstellung der Terzbandanalyse der Fourier-Transformation der Oberflächentextur (Beispiel SPA 0/4; Famsa). Die Fit-Kurve ist eine polygonale Funktion fünften Grades.

Die Auswertung erfolgt gemäss ISO 13473-2. Die Bewertung erfolgt vorläufig nach den Empfehlungen von Sandberg und Ejsmont. Danach haben leise Beläge hohe Amplituden bei Texturwellenlängen zwischen 1 und 10 mm und tiefe Amplituden bei Texturwellenlängen von 16 bis 50 mm (Abb. 2). Die Übergangswellenlänge liegt etwa bei 12,5 mm (Abb. 3).

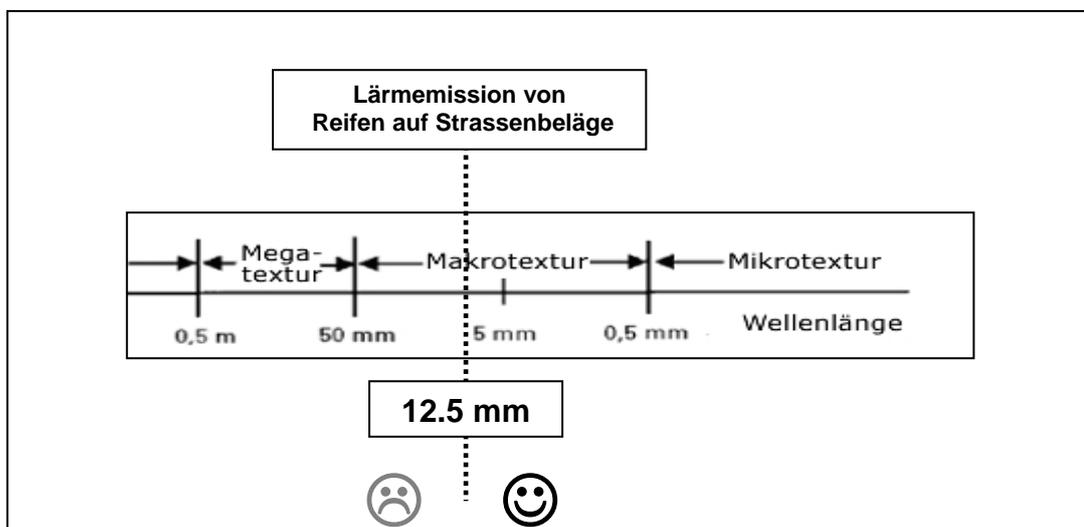


Abbildung 3 Oberflächen mit einer maximalen Rauigkeitstiefe bei einer Texturwellenlänge kleiner als 12.5 mm gelten gemäss Sandberg als lärmindernd.

Die Ermittlung des Gestaltfaktors erfolgt gemäss Müller-BBM

Durch eine statistische Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen (siehe Abb. 4) 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.

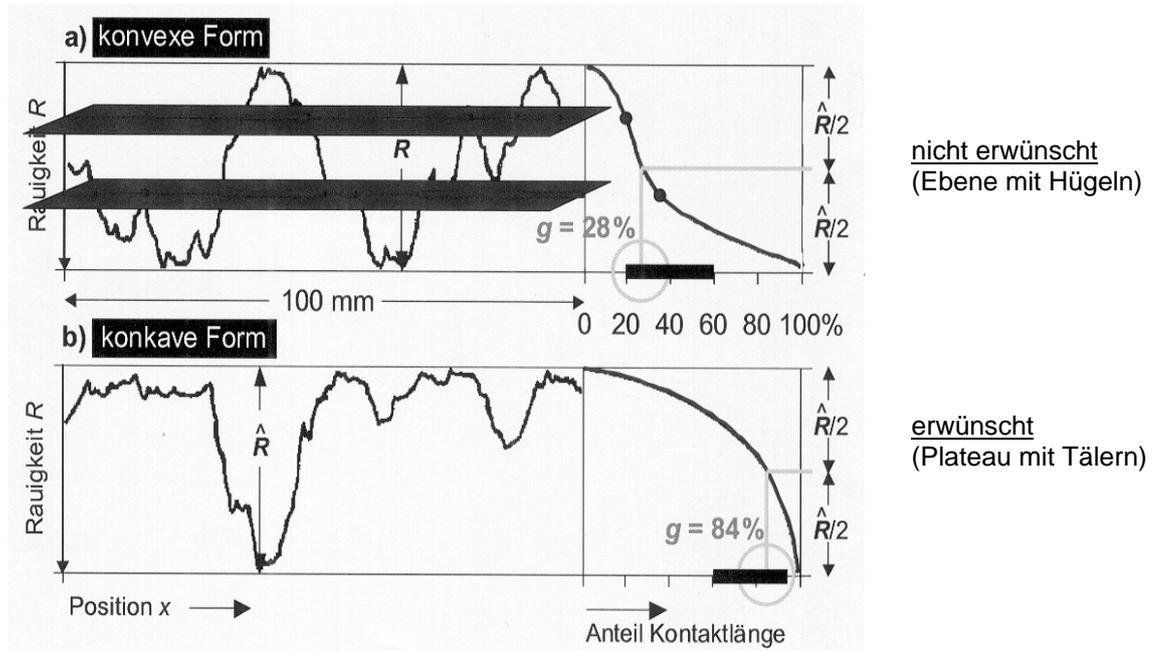


Abbildung 4 Definition des Gestaltfaktors g (Müller-BBM)

Die Kennzeichnung der unterschiedlichen Gestalten von Texturen wird gemäss Müller-BBM wie folgt bewertet:

- $g < 60\%$ 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 Pneus eingepressten Luft sorgen und damit den Air-pumping-Effekt reduzieren. Folglich sollten lärmarme Beläge einen g -Wert von über 60% erweisen.

2.3 Methoden Akustik

Die Lärmessungen werden nach der statistischen Vorbeifahrtmethode (statistical pass-by method, ISO 11819-1) vorgenommen, wobei neben dem maximalen Schalldruckpegel L_{max} auch der energieäquivalente Dauerschallpegel L_{eq} in dBA gemessen wird. Die Distanzen der Mikrophone zu den Fahrstreifenachsen betragen an allen Messorten 7.5 m für L_{max} und 5 m bei L_{eq} . Es werden die einzelnen Vorbeifahrten von Personenwagen und Lastwagen gemessen, wobei in diesem Bericht nur die Vorbeifahrten der Personenwagen ausgewertet worden sind, da diese die akustische Güte eines Belags im Innerortsbereich weitgehend bestimmen.

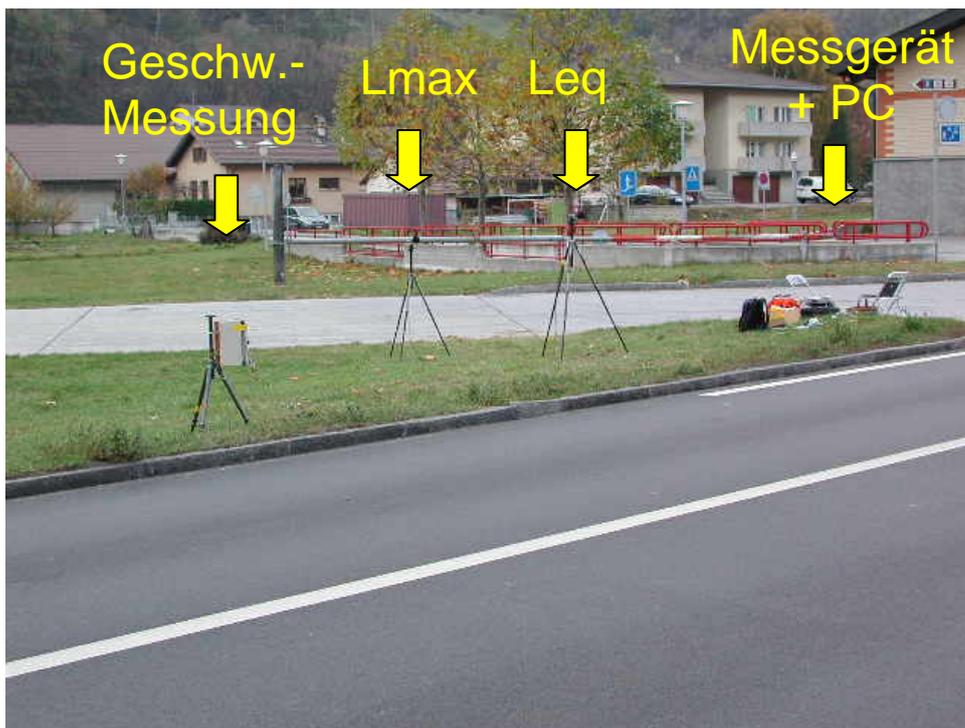


Abbildung 5 Messanordnung für die statistische Vorbeifahrtmethode: Geschwindigkeitsmessgerät, Mikrofon in 7.5 m (L_{max}) und 5 m (L_{eq}) Distanz, Messgeräte und PC (von links nach rechts).

Die Auswertung erfolgt nach dem in der Schweiz gültigen Standardberechnungsverfahren STL86+, welches auf dem L_{eq} basiert. Damit internationale Vergleiche möglich sind, wird ebenfalls der statistische Vorbeifahrtindex SPBI nach ISO 11819-1 berechnet, welcher auf dem L_{max} beruht. Sämtliche Werte werden 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 Belagstemperatur korrigiert. Inwieweit diese Korrekturfaktoren verlässlich sind ist noch zu prüfen.

3 Messergebnisse

3.1 Belagstechnik

Die Messergebnisse an den Testbelägen und den bestehenden ins Messprogramm einbezogenen Beläge sind tabellarisch dargestellt.

3.1.1 Testbeläge

	PA 4+8 Kreuzlingen		PA 8+16 Sargans		SPA 4 Fa Turtmann	AC MR 4 EOS Gu Turtmann	AC MR 4 EOS Turtmann	AC MR 4 Fa Turtmann	AC MR 4 Ga Sargans	AC MR 8 EOS Gu Sargans	AC MR 8 EOS Zuchwil	EP ch 1/3 Luzern	SPA 8 15m m Altendorf	SPA 8 20m m Altendorf
Bohrkerne	PA 4	PA 8	PA 8	PA 16										
Hohlraumgehalt [Vol.-%]	26.9	17.2	25.8	24.4	13.6	9.0	11.4	9.1	16.0	11.5	7.9	-	8,1	8,8
1) Verdichtungsgrad [%]	(91.1)	103.4	93.1	98.5	(94.8)	(95.5)	(93.5)	(94.5)	(92.3)	96.9	95.6	-	97,0	96,3
Schichtdicke Mittelwert [mm]	12	33	27	33	15	15	15	13	12	25	28	-	18	24
Schichtdicke Sollwert [mm]	10	30	25	45	10	10	10	10	10	25	25	-	15	20
Längeebenheit														
W [%o]	3.2		5.9		3.5	3.3	3.0	2.9	5.7	9.7	3.4	4.4	1.4	21.0
sw [%o]	0.9		1.4		0.8	0.5	0.5	0.5	1.4	1.7	0.9	1.1	0.5	6.0
Querebenenheit														
T [mm]	1.7		1.3		2.3	2.3	1.9	1.8	1.3	0.9	1.0	5.2	1.0	2.0
PTV														
2) PTV-Wert [-]	59		61		66	60	61	67	73	61	50	71	70	68
Ausfluss nach Moore														
Ausflusszeit [sec]	3		1		5	19	10	34	8	3	5	1	2	2
Sandfleckmethode														
Rauhtiefe [mm]	0.8		1.4		0.7	0.4	0.5	0.3	0.5	1.0	0.7	2.2	1.2	1.2
Texturmessungen mit Laser														
Max. Wellenlänge [mm]	5.00		12.50		4.00	3.15	3.15	3.15	8.00	10.00	12.50	20.00	10.00	10.00
3) Max Rauigkeitstiefe [µm]	305		522		493	451	481	329	289	311	350	413	637	603
Gestaltsfaktor [%]	56		84		62	64	82	72	53	92	88	39	89	82
Rauigkeitsmessungen mit Laser														
3) MPD [mm]	0.87		1.20		1.25	0.89	1.06	0.77	0.80	0.76	0.82	1.24	1.34	1.42
3) ETD [mm]	0.9		1.16		1.20	0.91	1.05	0.82	0.84	0.81	0.86	1.19	1.27	1.34
Wasserdurchlässigkeit														
Massgebender Wert [l/min]	7.4		17.2											

Tabelle 1: Messergebnisse an den Testfeldern; kurze Zeit nach dem Einbau

- 1) Die Bestimmung von Verdichtungsgrad und Hohlraumgehalt ist bei Schichtdicken von ca. 10...15 mm problematisch.
- 2) Der PTV-Wert wurde unmittelbar nach dem Einbau gemessen, es darf angenommen werden, dass der Wert rasch zunimmt.
- 3) Bei einigen Ergebnissen der LASER-Textur-Messungen haben wir noch keine Zielvorstellungen festgelegt. Diese sollen anhand des langfristigen Vergleiches mit den Lärmessungen festgelegt werden.

	Zielvorstellungen erfüllt
	Zielvorstellungen teilweise erfüllt
	Zielvorstellungen nicht erfüllt

3.1.2 Bestehende Beläge

		PA 8 Leuggern	AC MR 8 Leuggern	MA 8 ch 2/4 Leuggern	MA 8 ch 3/6 Leuggern	AC 11 Sargans	AC 11 Leca Sessa	AC 11 Leca Bellinzona	Wecophone 6 Grossgurmels	Colsoft les Evouettes	
Bohrkerne											
	Hohlraumgehalt [Vol.-%]	24.1	12.6	-	-	-	-	10.8	-	8.6	
	Verdichtungsgrad [%]	93.1	97.3	-	-	-	-	97.5	-	103.7	
	Schichtdicke [mm]	31	32	48	48	-	-	34	-	32	
Längsebenheit											
	W [%]	-	-	-	-	-	5.8	4.7	5.6	7.9	
	sw [%]	-	-	-	-	-	1.6	1.2	1.2	1.7	
Querebenheit											
	T [mm]	-	-	-	-	-	1.8	2.0	1.9	1.7	
1)	PTV										
	PTV-Wert [-]	55	53	60	64	-	75	64	72	53	
Ausfluss nach Moore											
	Ausflusszeit [sec]	1	2	3	1	-	7	2	5	3	
Sandfleckmethode											
	Rauhtiefe [mm]	1.9	1.4	0.8	1.9	-	0.5	0.9	0.6	0.9	
Texturmessungen mit Laser											
	Max. Wellenlänge [mm]	10.00	12.50	25.0	12.50	3.15	12.50	12.50	8.00	12.50	
2)	Max Rauhtieftiefe [µm]	543	583	318	325	229	322	466	303	361	
	Gestaltsfaktor [%]	90	89	85	45	85	82	91	70	89	
Rauhigkeitsmessungen mit Laser											
2)	MPD [mm]	1.13	1.05	0.79	1.12	0.55	0.59	122	0.7	0.76	
2)	ETD [mm]	1.10	1.04	0.83	1.10	0.64	0.67	1.18	0.76	0.81	
Wasserdurchlässigkeit											
	Massgebender Wert [l/min]	15.3									

Tabelle 2: Messergebnisse an den bestehenden Belägen; Erstmessung

- 1) Der PTV-Wert wurde unmittelbar nach dem Einbau gemessen, es darf angenommen werden, dass der Wert rasch zunimmt.
- 2) Bei einigen Ergebnissen der LASER-Textur-Messungen haben wir noch keine Zielvorstellungen festgelegt. Diese sollen anhand des langfristigen Vergleiches mit den Lärmmessungen festgelegt werden

	Zielvorstellungen erfüllt
	Zielvorstellungen teilweise erfüllt
	Zielvorstellungen nicht erfüllt

3.1.3 Veränderung der Oberflächentextur

Im Rahmen des Forschungsprojekts ist es vorgesehen die Veränderungen der Oberflächentextur der Beläge zu beobachten. Zu diesem Zweck wurden die Laser-Textur-Messungen im Herbst 2005 an den gleichen Stellen wiederholt.

	PA 4+8 Kreuzlingen	PA 8+16 Sargans	SPA 4 Fa Turtmann	AC MR 4 EOS Gu Turtmann	AC MR 4 EOS Turtmann	AC MR 4 Fa Turtmann	AC MR 4 Ga Sargans	AC MR 8 EOS Gu Sargans	AC MR 8 EOS Zuchwil	EP ch 1/3 Luzern	SPA 8 15mm Altendorf	SPA 8 20mm Altendorf
Wellenlänge bei $R_{t,max}$ [mm]												
Herbst 2004	5	12.5	4.0	3.2	3.2	3.2	8.0	10.0	12.5	20.0	-	-
Frühling 2005	12.5	25.0	6.3	5.00	5.0	8.0	10.0	15.9	12.5	15.9	-	-
Herbst 2005	10.0	20.0	-	-	-	-	12.5	12.5	12.5	-	10.0	10.0
max. Rauhtiefe $R_{t,max}$ [µm]												
Herbst 2004	305	522	493	451	481	329	289	311	350	413	-	-
Frühling 2005	308	531	243	190	177	160	248	439	334	354	-	-
Herbst 2005	310	670	-	-	-	-	259	430	295	-	637	603
Gestaltsfaktor [%]												
Herbst 2004	56	84	62	64	82	72	53	92	88	39	82	-
Frühling 2005	73	71	68	63	67	54	69	54	88	85	89	-
Herbst 2005	53	68	-	-	-	-	64	79	83	-	89	82
MPD [mm]												
Herbst 2004	0.87	1.20	1.25	0.89	1.06	0.77	0.80	0.76	0.82	1.24	-	-
Frühling 2005	0.80	1.60	0.67	0.53	0.55	0.51	0.76	1.15	0.78	1.03	-	-
Herbst 2005	0.91	1.49	-	-	-	-	0.76	0.96	0.68	-	1.34	1.42
ETD [mm]												
Herbst 2004	0.90	1.16	1.20	0.91	1.05	0.82	0.84	0.81	0.86	1.19	-	-
Frühling 2005	0.84	1.48	0.74	0.63	0.64	0.61	0.84	1.12	0.82	1.03	-	-
Herbst 2005	0.93	1.39	-	-	-	-	0.81	0.97	0.75	-	1.27	1.34

Tabelle 3 Ergebnisse der Laser-Textur-Messungen der Jahre 2004 und 2005 an den Testfeldern

	PA 8 Leuggern	AC MR 8 Leuggern	MA 8 ch 2/4 Leuggern	MA 8 ch 3/6 Leuggern	AC 11 Sargans	AC 11 Leca Sessa	AC 11 Leca Bellinzona	Wecophone 6 Grossgumeln	Colsoft les Evouettes
Wellenlänge bei $R_{t,max}$ [mm]									
Herbst 2004	10.0	12.5	25.0	12.5	3.2	12.5	12.5	8.0	12.5
Frühling 2005	-	-	-	-	20.0	12.5	12.5	12.5	12.5
Herbst 2005	20.0	12.5	6.3	25.0	15.9	-	-	-	-
max. Rauhtiefe $R_{t,max}$ [µm]									
Herbst 2004	543	583	318	325	229	322	466	303	361
Frühling 2005	-	-	-	-	200	252	312	298	400
Herbst 2005	687	507	134	410	204	-	-	-	-
Gestaltsfaktor [%]									
Herbst 2004	90	89	85	45	85	82	91	70	89
Frühling 2005	-	-	-	-	75	76	74	85	85
Herbst 2005	85	82	62	53	76	-	-	-	-
MPD [mm]									
Herbst 2004	1.13	1.05	0.79	1.12	0.55	0.59	1.22	0.70	0.76
Frühling 2005	-	-	-	-	0.62	0.51	0.96	0.60	0.93
Herbst 2005	1.27	1.08	0.54	1.18	0.51	-	-	-	-
ETD [mm]									
Herbst 2004	1.1	1.04	0.83	1.10	0.64	0.67	1.18	0.76	0.81
Frühling 2005	-	-	-	-	0.69	0.61	0.97	0.68	0.94
Herbst 2005	1.22	1.06	0.63	1.15	0.61	-	-	-	-

Tabelle 4 Ergebnisse der Laser-Textur-Messungen der Jahre 2004 und 2005 an den bestehenden Beläge

Das Testfeld „Twinlayer grob“ musste infolge grossen Schäden an der Belagsoberfläche aus dem Messprogramm gestrichen werden. Die Kornausbrüche sind auf eine mangelhafte Verdichtung zurück zu führen.

3.2 Akustik

3.2.1 Resultate der Lärmmessungen 2004 und 2005

Die Resultate der bisherigen Lärmmessungen der Jahre 2004 und 2005 sind in der untenstehenden Abbildung dargestellt. Die Balken stellen die Modellabweichungen vom Modell STL86+ dar, das auf einem akustisch neutralen Belag beruht (Referenzbelag). Lärmmindernd sind negative Werte, positive Werte weisen auf laute Beläge hin.

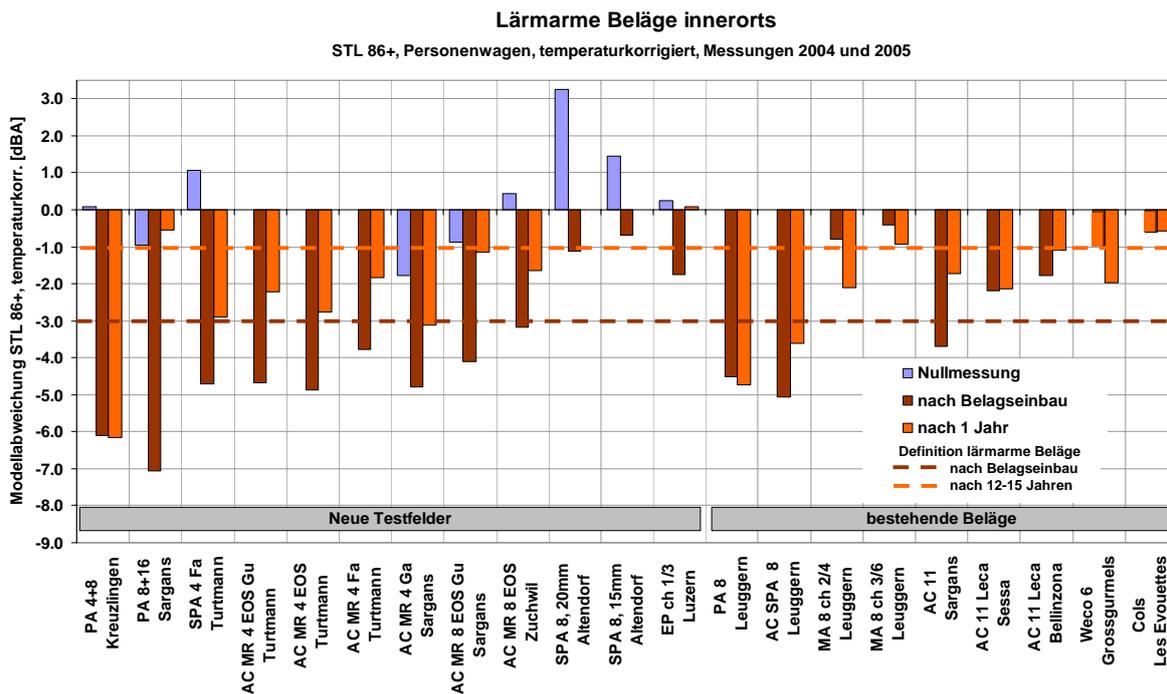


Abb. 6 Resultate der akustischen Belagsgütemessungen kurz nach dem Einbau von lärmindernden Belägen sowie nach einem Jahr. Die Nullmessung wurde am alten Belag durchgeführt und verweist auf den Zustand vor Einbau des lärmindernden Belags. Dargestellt sind die Differenzen zum in der Schweiz gültigen Modell STL86+.

3.2.2 Lärmreduktion für die Anwohner

Die Lärmreduktion für die Anwohner ergibt sich aus der Differenz zwischen der "Nullmessung", welche die akustischer Belagsgüte der alten Beläge dokumentiert, und den Messungen nach Belagseinbau.

Die Resultate zeigen, dass die Anwohner bei allen Testbelägen von einer anfängliche Lärmreduktion von mindestens 3 dBA profitieren – mit Ausnahme von Luzern und Altendorf. Eine Lärmreduktion von 3 dBA hat dieselbe akustische Wirkung wie die Halbierung der Verkehrsmenge. Bei den beiden Twinlayern und dem SPA 0/4 FAMSA in Turtmann konnte sogar eine anfängliche Reduktion erreicht werden, die mit einer Reduktion des Verkehrs um 75% vergleichbar ist.

Nach einem Jahr ist die Lärmreduktion in Kreuzlingen für die Anwohner immer noch unvermindert effektiv, bei allen anderen neuen Belägen hat sie – entsprechend der Verminderung der akustischen Güte der Beläge – deutlich abgenommen.

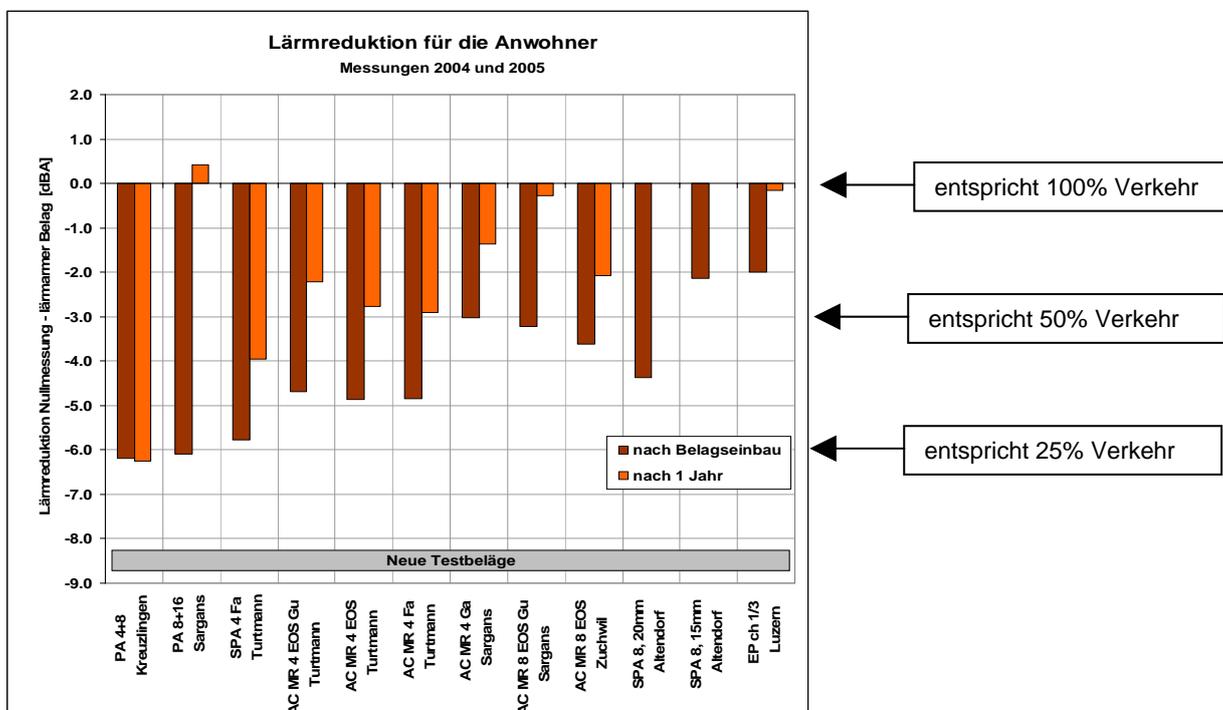


Abbildung 7 Akustische Differenz zwischen dem alten Belag und den neu eingebauten Belägen (Modell STL86+).

4 Folgerungen / Kommentare / Zusammenhänge

4.1 Belagstechnik

Die Teststrecken wurden im Jahre 2004 realisiert. Im Hinblick auf die geplante Einführung der EN-Normen per 01.01.2005 und der damit einhergehenden Einführung neuer Mischgutsorten war es nicht sinnvoll, die Teststrecken mit Mischgutsorten auszuführen, die kurze Zeit später nicht mehr normiert sein würden. Daher wurden die Teststrecken bereits gemäss den kommenden EN-Normen konzipiert und realisiert. Diese vorzeitige, projektbezogene Einführung der neuen Normen führte in den Asphalt-Aufbereitungsanlagen und im Labor zu Umtrieben, die in der Planungsphase des Projektes deutlich unterschätzt wurden.

4.1.1 Baustoffe und Einbau

Mineral- und Zuschlagstoffe

Ein Teil der verwendeten Mineralstoffe wie EOS, FAMSA, Gasperini wurde ausgewählt, um die akustische Dauerhaftigkeit der Beläge zu verbessern. Es handelt sich vorwiegend um hochresistente, abriebfeste Mineralien. Erst die Lärmmessungen der nächsten Jahre werden zeigen, ob sich diese Erwartungen erfüllen.

Mit anderen Mineral- und Zuschlagstoffe wie Blähton (Leca) und Gummigranulat wurden keine gute Ergebnisse erreicht. Der 2004 im Tessin mit Leca-Beimischungen erstellten Belag erreicht den geforderte Anfangslärminderungswert von - 3 dBA nicht. Die Beläge mit Gummigranulat erzielen nach dem ersten Beobachtungsjahr, im Vergleich zu Beläge ohne, keine Besserung der akustischen Lebensdauer.

Bindemittel

Es wurden durchwegs polymermodifizierte Bindemittel verwendet. Davon wird ein positiver Einfluss auf die langfristige Entwicklung der Lärminderung erwartet. Auf die Anfangslärminderung dürfte die Wahl des Bitumens einen untergeordneten Einfluss ausüben.

Belagseinbau

Die Oberflächenstruktur der Beläge kann beim Belagseinbau durch die Art, das Gewicht der verwendeten Walzen und die Vibration wesentlich beeinflusst werden. Die Untersuchung dieser Faktoren sind nicht Gegenstand dieses Forschungsprojektes, das sich ausschliesslich auf die möglichen Zusammenhänge zwischen Texturparameter und Lärmgüte konzentriert. Eine genauere Untersuchung dieser Verdichtungsfaktoren wäre aber zu einem späteren Zeitpunkt wünschbar.

4.1.2 Twinlayer-Beläge

Die Aufbereitung von Twinlayer-Beläge stellte keine Probleme. Beim PA 4 ist die Beschaffung eines Splittes 2/4 mit geeigneter und regelmässiger Korngrössenverteilung von zentraler Bedeutung.

Einbau:

Twinlayer-Beläge sind heikel einzubauen und sehr 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 ist gross, da die 2. Schicht auf die noch warme erste Schicht eingebaut werden muss (Schichtenverbund). Von Vorteil sind kleinere Etappen von ca. 200 m.

In Deutschland wurden neue Deckenfertiger entwickelt, bei denen heiss in heiss zwei unterschiedliche Mischgutsorten eingebaut werden können. Diese Kompaktfertiger mit Doppelbohle sind für den Einbau grösserer Twinlayer-Abschnitte zu empfehlen.

Infolge der teilweise dünnen Schichten sind die konventionellen Verdichtungskontrollen (Isotopsonde) nicht anwendbar.



Abbildung 8 Einbau des 2-schichtigen offenporigen Asphalttes (Twinlayer). Als untere Schicht wurde ein PA 8 eingebaut, als obere Schicht ein PA 4.



Abbildung 9 Einbau heiss auf warm des PA8 auf PA16 als Twinlayer

4.1.3 4er-Beläge

Für alle eingebauten Beläge mit Grösst-Korn 4 mm und einer Schichtdicke von ca. 10 mm können nachstehende Folgerungen gezogen werden.

Aufbereitung:

Die Aufbereitung bietet keine Probleme. Es sind hohe Anforderungen an die Korngrößenverteilung des Splittes 2/4 zu stellen.

Einbau:

Die Verwendung von Thermosilos für Transporte ist nicht nur bei grossen Distanzen zu empfehlen. 4er-Beläge kühlen sich rasch ab und müssen daher unmittelbar hinter dem Fertiger sofort verdichtet werden. Es sind erhöhte Anforderungen an die Ebenheit der Unterlage zu stellen.

Konventionelle Verdichtungskontrollen (Isotopsonde) sind nicht anwendbar.

4.1.4 Verwendung von Gummigranulaten

Es wurden Gummigranulate in den Fraktionen 0/0.4 oder max. 1/2 mm verwendet; grobkörnige Granulate sind zu vermeiden. Die gesamte Dosierung bezogen auf das Mischgut sollte 0.5 Masse-% nicht überschreiten. Die Mischzeit wurde nicht verlängert.

4.2 Lärm

4.2.1 Anforderungen an dauerhaft lärmarme Beläge

Im vorliegenden Forschungsprojekt werden Beläge als dauerhaft lärmarm bezeichnet, wenn die akustische Lebensdauer mindestens 12 bis 15 Jahre beträgt. Der dieser Definition entsprechenden Verlauf der akustischen Lebensdauer ist in Abbildung 10 graphisch dargestellt.

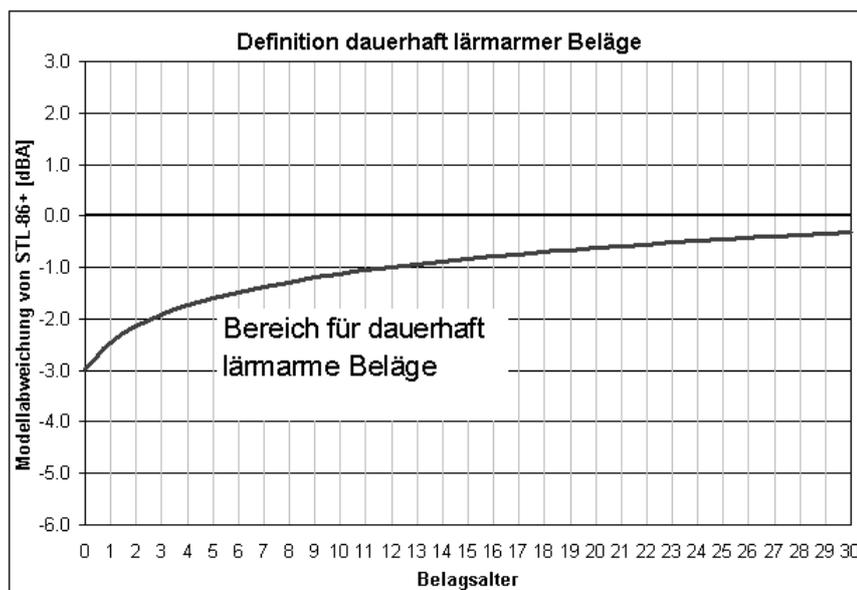


Abbildung 10 Definition dauerhaft lärmarmen Beläge. Die akustische Lebensdauer muss mindestens 12-15 Jahre betragen.

Anfangslärminderung:

Die geforderte Anfangslärminderung von -3 dBA wird von 12 der insgesamt 21 untersuchten Belägen erfüllt (braune Balken). Nicht erfüllt werden die Anforderungen insbesondere von den abgestreuten Belägen (Leuggern, Luzern) und von den zwei SPA 8-Belägen in Altendorf.

Das Ergebnis in Altendorf wurde so nicht erwartet, handelt es sich doch um gewalzte, konkave Oberflächen mit rel. viel Hohlraumgehalt, bei welchen normalerweise hohe Anfangslärminderungen zu erwarten wären. Hier müssen genauere Abklärungen den Grund für das schlechte akustische Abschneiden zeigen.

Die zwei Spezialbeläge Wecophone und Colsoft wurden bereits in den Jahren 2003 bzw. 2002 eingebaut, weshalb die angegebenen Werte (erstmalig gemessen im Sommer 2004) nicht die Anfangslärminderung, sondern die akustische Güte nach 1 bis 3 Jahren wiedergibt.

Akustische Dauerhaftigkeit:

Eine Verschlechterung der akustischen Eigenschaften von neu eingebauten Belägen im ersten Jahr ist normal. Bei den neuen Testfeldern beträgt diese Verschlechterung zwischen 1.5 bis 3 dBA. Die beiden offenporigen Beläge in Kreuzlingen und Leuggern zeigen im ersten Jahr keine akustische Verschlechterung. Bei den "bestehenden Belägen" ist die akustische Verschlechterung in der Tendenz weniger ausgeprägt.

Die meisten der untersuchten Beläge weisen immer noch eine akustische Belagsgüte von deutlich über -1 dBA auf. Erst die Messungen in den folgenden 10 Jahren werden zeigen, ob sich die Werte stabilisieren und wenn ja, auf welchem Niveau.

4.2.2 Akustisches Verhalten der verschiedenen Belagstypen

Offenporige Beläge

Erfreulich ist das akustische Verhalten der offenporigen Beläge. Auch wenn die Texturuntersuchungen zeigen, dass sich die Oberfläche ähnlich wie bei den anderen Belägen verändert hat, ist im ersten Jahr keine Abnahme der Lärminderung festzustellen. Eine Erklärung dafür liefert die absorbierende Wirkung der Beläge durch kommunizierende Hohlräume, welche offenbar nichts von ihrer Wirkung eingebüsst hat und die Veränderung der Oberflächentextur mehr als wettmacht.

Der offenporige Belag in Sargans hat seine akustische Wirkung vollständig verloren, da seine Oberflächentextur wegen massiver Kornausbrüche weitgehend zerstört wurde, bedingt durch nachweisbare Mängel beim Einbau (siehe 3.1.3).

Feinkörnige Dünnschichtbeläge

Die feinkörnigen und dünnschichtigen SPA- und MR-Beläge mit Korngrösse 4 mm erreichten eine gute Anfangslärminderung von -4 bis -5 dBA gegenüber dem Modell. Im ersten Jahr beträgt die akustische Verschlechterung zwischen 1.5 bis 2 dBA, wobei sie immer noch leiser sind als die vergleichbaren Beläge mit 8er-Körnung.

Beläge mit Korngrössen 8 bis 11

Die 8er-Beläge in Sargans und Zuchwil sowie der AC 11 in Sargans erreichten mit -3 bis -4 dBA Anfangslärminderungen die Kriterien für lärmarme Beläge. Nicht erreicht wurde der geforderte Anfangswert von den SPA 8-Belägen in Altendorf und von den AC11-Belägen mit Leca-Beimischung im Tessin.

Die Beläge mit Korngrössen 8 bis 11 erlitten im ersten Jahr Einbussen in der akustischen Güte von bis zu 3 dBA, womit nach 1 Jahr ihre lärmindernde Wirkung noch zwischen -1 bis -2 dBA beträgt. Bei den Belägen mit Leca-Beimischung ist die akustische Einbusse weniger ausgeprägt als bei den anderen Belägen.

Eine Ausnahme stellt der SPA 8-Belag in Leuggern dar, welcher eine hervorragende Anfangslärminderungen von -5 dBA aufwies und nach einem Jahr immer noch eine akustische Güte von -3.6 dBA hat. Dieser Belag wurde als MR 8 eingebaut, weist aber – entgegen der Norm - einen Hohlraumgehalt von 12.6 Vol% auf. Er erfüllt damit alle Eigenschaften eines Splittasphalt-Belags. Die Teststrecke in Leuggern ist mit ca. 3000 Fahrzeugen im Tag im Vergleich zu den anderen Teststrecken nur schwach befahren. Es wird sich zeigen müssen, wie sich die akustische Belagsgüte im weiteren Verlauf entwickeln wird.

Der SPA 8-Belag in Leuggern zeigt ein völlig anderes akustisches Verhalten als die zwei in Altendorf eingebauten SPA 8-Beläge. Letztere erfüllten die Anfangs-Lärminderung für lärmarme Beläge bei weitem nicht. Erst genauere Abklärungen von Textur und Bohrkern werden aufzeigen können, was die Gründe für das schlechte Abschneiden der SPA 8-Beläge in Altendorf und das gute Abschneiden des Belags in Leuggern sind. Diese drei SPA 8-Beläge dürften als "Positiv-" wie auch als "Negativbeispiele" wichtige Erkenntnisse liefern.

Abstreuerungen

Alle drei Beläge mit (feinkörniger) Abstreuerung oder Beschichtung verfehlten die Anforderungen an die Anfangslärminderung deutlich. Interessant ist aber die Beobachtung, dass sich die abgestreuten Beläge in Leuggern akustisch nach einem Jahr leicht verbessert haben. Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt besteht darin, dass sich durch das Befahren der Strasse die spitz stehenden Splittkörner gesenkt oder gelegt haben und damit die Anregung der Reifen beim Befahren kleiner geworden ist.

Wecophone, Colsoft

Die beiden bestehenden Beläge Wecophone und Colsoft wurden im Jahr 2003 bzw. 2002 eingebaut. Es liegen keine Messungen für die Anfangslärminderung vor. Die Lärminderung beim Wecophone-Belag schwankt zwischen -1 und -2 dBA, während der Colsoft-Belag deutlich unter -1 dBA liegt und nicht als lärmarm gelten kann.

4.3 Zusammenhang Lärm - Belagstextur

Zwischen der Lärminderung und der Belagstextur lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt noch keine gesicherten Zusammenhänge feststellen. Dies zeigen die im Anhang 1 aufgeführten Gegenüberstellungen. Einzig der Hohlraumgehalt zeigt eine gewisse Korrelation mit der Lärminderung. Dies wurde so erwartet. Ebenso war zu erwarten, dass die Sandfleck-, Ausfluss- und SRT-Pendel-Versuche keine Aussage im Zusammenhang mit Lärm ermöglichen.

Aus der Laser-Analyse des Belags wurde die häufigste Rauigkeits-Wellenlänge, der Gestaltfaktor, der über Konkavität und Konvexität der Rauigkeit Auskunft gibt, sowie die mittlere Rauigkeitstiefe definiert. Zwischen diesen Werte und der Lärmgüte des Belags hingegen wurde eine gewisse Korrelation erwartet. Diese aus der Laser-Textur abgeleiteten Kennwerte erlauben aber bei den untersuchten Belägen keine Aussage über die Lärminderung. Einzig die Rauigkeitsspektren, als Ganzes betrachtet, besitzen typische Merkmale die Aussagen über Lärmgüte des Belags ermöglichen. Dieser Zusammenhang wird im Folgenden durch drei Beispiele veranschaulicht. Jedes Beispiel zeigt die zeitliche Entwicklung der Rauigkeitsspektren eines Belags und die entsprechende Lärminderung.

Beispiel 1: AC MR 4 EOS Turtmann

Das Rauigkeitsspektrum zeigt eine deutliche Abnahme der Rauigkeitstiefe zwischen dem neuen und dem etwas älteren Belag. Eine solche Verringerung der Hohlräume im Bereich der Oberfläche (vermutlich durch Verschmutzung und/oder durch wärmebedingte Verklebung) scheint eine deutliche Verminderung der Lärmgüte des Belags zu verursachen.

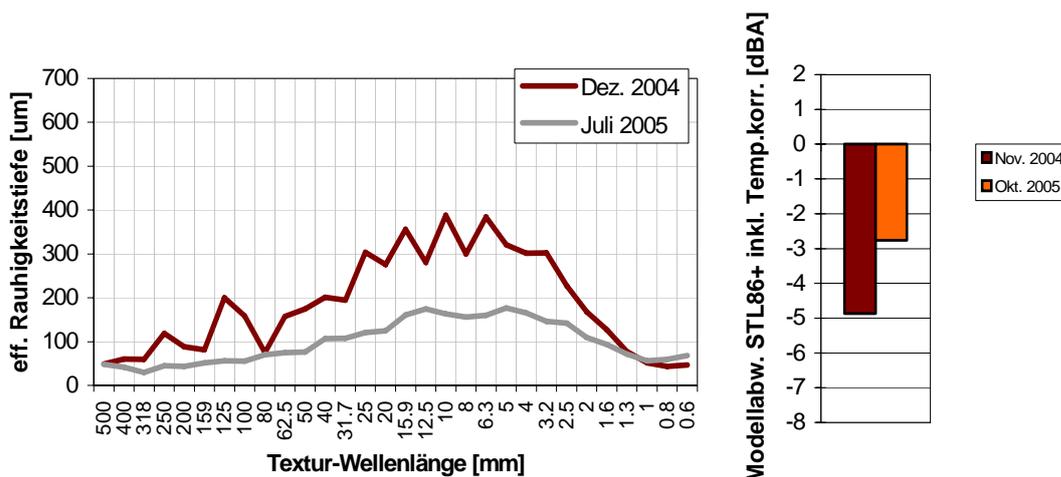


Abbildung 11 Turtmann AC MR 4 EOS; der Einbau hat im September 2004 stattgefunden.

Beispiel 2: AC MR 8 EOS Zuchwil

Die Textur mit Häufigkeitshöchstwerten im Bereich 25-8 mm verleiht dem Belag mässig gute Lärmeigenschaften, die sich im Laufe der Zeit verschlechtern. Grund dafür könnte die kontinuierliche Abnahme der Rauigkeitstiefen im Bereich 8-4 mm sein.

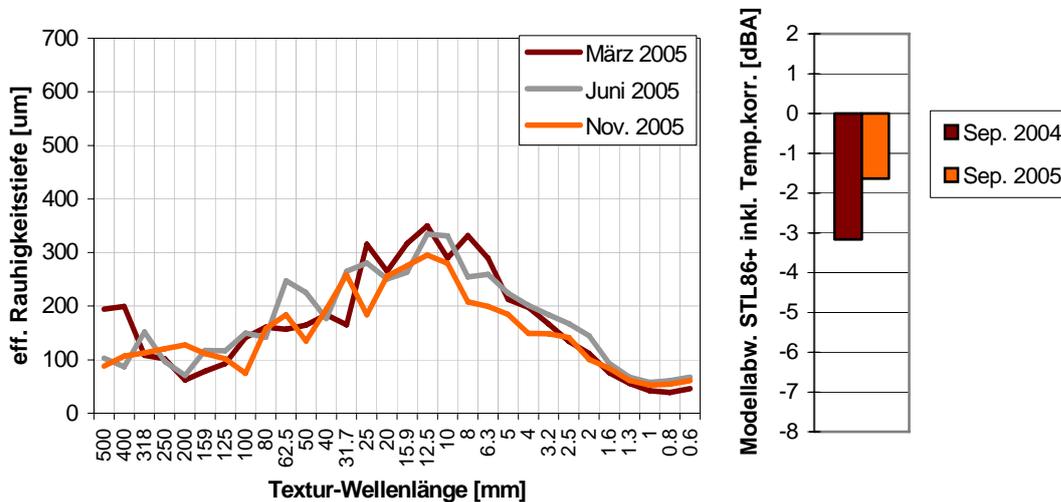


Abbildung 12 Zuchwil AC MR 8 EOS; der Einbau hat im August 2004 stattgefunden.

Beispiel 3: PA 4 + 8 Kreuzlingen

Das letzte Beispiel veranschaulicht gute Textureigenschaften eines Belags. Die Textur mit Häufigkeitshöchstwerten im Bereich 12,5-5 mm und Rauigkeitstiefen stets über 200 µm verleiht dem Belag sehr gute Lärmeigenschaften die im Laufe der Zeit erhalten bleiben. Zusätzlich erhöht die offenporige Struktur die lärmindernden Eigenschaften dieses Belags.

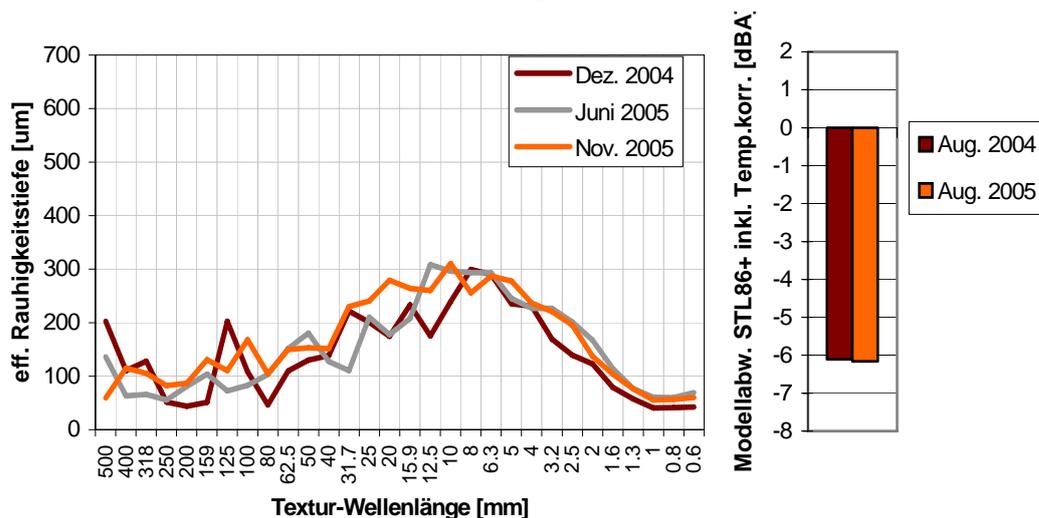


Abbildung 13 Kreuzlingen PA 4+8; der Einbau hat im August 2004 stattgefunden.

Auf Grund der Beobachtung der drei Spektren können zwei Hypothesen formuliert werden:

- Die Lärmgüte ist von der effektiven Rauigkeitstiefe abhängig. Eine Abnahme von über 300 µm bis weniger als 200 µm verursacht mehr Lärm.
- Die massgebliche Wellenlänge für die oben erwähnte Abnahme liegt im Bereich des Grösstkorns des Belags.

4.4 Kosten der lärmarmen Beläge

Zur Betrachtung der finanziellen Aspekte gehört neben den reinen Erstellungskosten natürlich auch die Nutzungsdauer der lärmarmen Deckschichten sowie die Betriebskosten. Die Nutzungsdauer von lärmarmen Belägen hängt massgeblich von der geografischen Lage ab. Vor allem vertragen offenporige Beläge die harte Beanspruchung durch Ketten und Spikes nicht und führen zu mechanischen Beschädigungen und damit zum Zusammenbruch der anfänglich guten Lärmreduktion.

Im Allgemeinen kann aus den bisherigen Erfahrungen davon ausgegangen werden, dass offenporige, lärmarme Deckschichten 75 bis 80% der Nutzungsdauer eines geschlossenenporigen aufweisen.

Erfahrungen über die Nutzungsdauer von akustisch günstigen, halboffenen Belägen (SPA oder hohlraumreiche AC MR-Beläge o.ä.) existieren noch nicht.

Die Erstellungskosten lärmarmen Beläge können nur bedingt von der Erfahrung aus den Pilotstrecken abgeleitet werden. Probeaufbereitungen, Probeeinbauten, fehlendes Know-how bei den Unternehmungen und kleine Belagsmengen hatten im Forschungsprojekt teilweise hohe Kosten zur Folge.

Vergleicht man die lärmarmen Beläge mit "normalen" Deckschichten, so dürften die Mehrkosten gegenüber Normalbelägen (z.B. AC, SMA) unter normalen Marktbedingungen ca. bei 15 – 20% liegen, beim Twinlayer fein (40mm) bei etwa 30% und für den Twinlayer grob (70mm) um 40%. Diese Mehrkosten sind aber im Vergleich zu den sehr kostenintensiven Lärmschutz-Massnahmen (z.B. Lärmschutzwände, Lärmschutzfenster oder Verkehrsumlegungen) zu einer gleichwertigen Lärmentlastung der Anwohner als sehr günstig zu beurteilen.

4.5 Ökologische Aspekte

4.5.1 Verwendung von EOS

Für 6 der 10 Testbeläge wurden offenporige Mineralstoffe gesucht, um durch eine Erhöhung der Porenmenge an der Oberfläche eine dauerhaftere Lärmreduktion zu erreichen.

Es wurde ElektroOfenSchlacke (EOS), ein Recyclingprodukt aus der Stahlproduktion mit ausgezeichneten Eigenschaften wie extremer Abriebsfestigkeit, poröser Oberfläche etc. gewählt und auf den Pilotstrecken eingebaut. Die Aufbereitung von EOS für feinkörnige Beläge stellte in der Schweiz ein Novum dar. Die Aufbereitung des Splittes EOS 2/4 bzw. 4/8 muss besonders überwacht werden; es gelten die hohen Anforderungen an die Korngrössenverteilung sowie die Gleichmässigkeit der Produktion.

Trotz höherer Rohdichte des Baustoffes EOS wurde der Bindemittelgehalt nicht reduziert, da die poröse Oberfläche des EOS einen höheren Bindemittelbedarf hat. Die MR 8 Beläge mit einem Anteil EOS von 100% in den Fraktionen 2/4 und 4/8 mm wurden mit einer üblichen Bindemitteldosierung aufbereitet.

Beläge mit EOS lassen sich tendenziell eher schwieriger verdichten; sie sind für den Handeinbau ungeeignet.



Abbildung 14 Bei feinkörnigem Mischgut sind hohe Anforderungen an die Gesteinskörnung 2/4 zu stellen. Die Fotos zeigen den Einbau und die Oberflächenstruktur eines AC MR4, EOS.

Über die ökologische Unbedenklichkeit der Verwendung von EOS im grösseren Stil herrscht eine gewisse Unsicherheit. Grundsätzlich gilt dieses Material in der Schweiz als Inertstoff und muss auf einer entsprechender Deponie entsorgt werden.

Die Meinungen über die Verwendung und das Recycling von EOS-Materialien sind international jedoch sehr unterschiedlich. So wird beispielsweise in Frankreich das EOS im Strassenbau ohne Bedenken verwendet, ja sogar behördlich empfohlen. In den Kantonen wird die Zulassung für EOS höchst unterschiedlich gehandhabt.

Zu diesem Thema wurde im BAFU die Problematik der Verwendung von EOS-Materialien im Strassenbau aus ökologischer Sicht diskutiert. Grundsätzlich wird nach heutigem Wissensstand die Verwendung von EOS vom BAFU nicht empfohlen. Es ist aber entschieden worden, dass das EOS-Material in den auf den Pilotstrecken festgelegten, relativ kleinen Mengen zu Forschungszwecken ohne Bedenken verwendet werden darf.

EOS wurde in vier Testbelägen verwendet. Die Lärmmessungen nach einem Jahr zeigen im Vergleich zu konventionellen Gesteinskörnungen, dass die poröse Schlacke keinen deutlichen Vorteil erbringt. Es ist zur Zeit unklar inwieweit der Bindemittelfilm die Porosität der EOS verstopft. Bevor Folgerungen gezogen werden, sind weitere Messungen abzuwarten.

4.5.2 Verwendung von Gummi

Die Modifikation der Beläge mit Gummigranulaten wurde in 2 Testbelägen angewendet. Die Verwendung bis zu 2 % Gummi in Korngrössen 0-2 mm kann aus ökologischer Sicht bedenkenlos vorgesehen werden.

Der Einbau der gummi-modifizierten Beläge erfolgte analog einem Standard-Mischgut. Es entstanden weder beim Einbau im Fertiger noch bei der Verdichtung Probleme oder sonstige zu bemerkende Auffälligkeiten.

Anhand der bisher durchgeführten Belagsgütemessungen im Forschungsprojekt erbringen die verwendeten Gummigranulate keinen akustischen Vorteil im Vergleich zu ähnlichen Rezepturen ohne Gummizusatz. Aus belagstechnischer Sicht ist sogar eine Verringerung der akustischen Lebensdauer zu erwarten.

5 Neue Erkenntnisse ausserhalb des Forschungsprojekts

5.1 Kolloquium "poroelastische Beläge"

Im Rahmen des Projekts "lärmarme Beläge innerorts" wurde am 15. April 05 ein Kolloquium zu "poroelastischen Belägen" mit den Referenten Ulf Sandberg und Björn Kalman vom VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute) durchgeführt. Die bisher im Projekt "lärmarme Beläge innerorts" getesteten Beläge stellen Modifikationen von bereits bestehenden Strassenbelägen dar. Mit dem Kolloquium sollte ausgelotet werden, wie weit die Entwicklung von poroelastischen Belägen weltweit bereits fortgeschritten ist und ob allenfalls in der Schweiz Praxistests durchgeführt werden könnten.

Die wichtigsten Punkte der zwei Referate sind hier kurz zusammengefasst:

- Poroelastische Beläge weisen einen Hohlraumgehalt von 20 – 40 Vol% auf und bestehen hauptsächlich aus Gummigranulat von alten Autoreifen.
- Die Lärminderung dieser Beläge beträgt nach verschiedenen Messungen 6 bis 10 dBA. Der hohe Hohlraumgehalt und die Elastizität des Belags sind für die akustisch günstigen Eigenschaften verantwortlich
- Vom poroelastischen Belag wird eine lange akustischen Lebensdauer erwartet, da die Poren von den vorbeifahrenden Autos wie bei einem Schwamm gereinigt werden.
- In der Praxis werden die Beläge entweder als vorgefabrizierte Platten mit Epoxyharz auf die bestehenden Strassenbeläge aufgeklebt oder sie werden mit einem Fertiger "in situ" verlegt, wobei Polyuretan als Binde- und Klebmittel verwendet wird.
- In Japan existieren bereits 7-8-jährige Teststrecken. Verschiedene Versuche mussten aber vorzeitig abgebrochen werden, weil sich die Platten gelöst hatten oder aus Sicherheitsgründen wegen zu geringer Griffbarkeit.
- In Schweden/Stockholm musste ein von den Referenten durchgeführter Versuch ebenfalls vorzeitig abgebrochen werden, weil sich die bestehenden Asphaltsschichten in sich als zu wenig widerstandsfähig erwiesen, während die Bindung zwischen den poroelastischen Schichten und dem Asphalt noch intakt war. In diesem Versuch wurden verschiedene vorgefabrizierte Platten sowie die Verlegung 'in situ' getestet.
- Aus diesen Praxisversuchen und aus umfangreichen Tests im Labor lassen sich folgende Vorteile von poroelastischen Belägen ableiten:
 - Lärmreduktion von 6-10 dBA (Referenzwert unklar)
 - Selbstreinigend
 - Sehr stark reduzierte PM10-Emissionen durch Pneumatik
 - Hervorragende Eigenschaften bezüglich Verformung und Belastung
 - Kein Unterschied bezüglich Rollwiderstand im Vergleich mit konventionellen Strassenbelägen
 - Glatteis wird beim Befahren des Belags automatisch entfernt (self-deicing)
- Dem stehen folgende – ebenfalls in Praxistests festgestellte – Nachteile bzw. Schwierigkeiten gegenüber:
 - Kornausbrüche bei ungeeignetem Bindemittel
 - Zu geringe Griffbarkeit
 - Befestigung auf der Unterlage ungenügend
 - Beschädigungen durch den Schneepflug
- Die Referenten planen einen nächsten Praxisversuch mit Betonsteinen, welche 'ex situ' mit einem poroelastischen Belag beschichtet werden sollen.

In der Diskussion wurden folgende weiteren Punkte erörtert:

- Ein viel versprechender Ansatz könnte darin bestehen, die poroelastischen Beläge 'ex situ' in einer Fabrik zu produzieren. Somit könnten Mischungen durch Beigabe von Sandkörnern oder speziellen Fasern mit optimaler Griffigkeit produziert werden. Der Belag könnte auf einer grossen Rolle transportiert und direkt auf der Strasse verlegt werden. Dies würde einen schnellen Einbau ermöglichen, wodurch die Strasse nur für kurze Zeit gesperrt werden müsste. Verschiedene technische Probleme wie z.B. der Einbau in Kurven müssten noch gelöst werden.
- Optimal wäre ein drainierender Untergrund für poroelastische Beläge, damit im Belag selbst keine Wasseransammlungen entstehen können und an der Verbundschicht (Epoxyharz) kein Dampfdruck entstehen kann.
- Epoxyharz für das Aufkleben von vorgefertigten poroelastischen Belägen ist sehr teuer. 'In situ'-Konstruktionen mit Polyuretan als Bindemittel sind demgegenüber deutlich billiger. Die im Stockholmersuch verlegte 'in situ'-Teststrecke kostete ca. 2000.- Euro für 250 m².
- Der Unterschied eines poroelastischen Belages zu Sportplätzen besteht darin, dass ersterer nur eine Korngrösse aufweist und dadurch mehr Hohlraum enthält.
- Poroelastische Beläge könnten dank ihrer hervorragenden Eigenschaften bei Schnee als „Self-deicing-pavement“ an besonderen Standorten als Sicherheitsbelag eingesetzt werden (z.B. Winterkurorte).

Fazit: Die Erfahrungen mit den geschilderten Versuchen haben gezeigt, dass noch einige Forschungs- und Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, bevor dieser an sich viel versprechende Belag in der Praxis eingesetzt werden kann.

5.2 LAVOC-Tagung, 14.9.2005

(<http://lavocwww.epfl.ch/JT/2005/JT05.htm>)

Diese Tagung beschäftigte sich unter dem Titel "Enrobé drainant, oui ou non ?" vorwiegend mit Drain-Belägen auf Hochgeschwindigkeitsstrassen.

Die an der Tagung erwähnten Zahlen und Erfahrungen dürfen deshalb nur unter Vorbehalten auf die Innerorts-Thematik dieses Forschungsprojekts übertragen werden. Unter den verschiedenen Referaten seien hier die Erfahrungen aus Holland herausgegriffen.

Erfahrungen aus Holland

In Holland weisen bereits 65 % der Autobahnen offenporige Beläge (PA) auf. Für Schnellstrassen (fast lane) wird von einer Lebensdauer von 16 Jahren, bei Stadtstrassen (slow lane) von einer 12-jährigen Lebensdauer ausgegangen. Die Lärminderungen über den gesamten Lebenszyklus wird bei beiden Strassentypen mit -3 dBA angegeben.

Eine interessante Entwicklung in Holland sind die zur Verlängerung der Lebensdauer von offenporigen Belägen entwickelten Unterhaltstechniken: Je nach Zustand der Oberfläche werden unterschiedliche Emulsionen auf die Oberfläche aufgetragen, um drohenden Kornausbrüchen vorzubeugen oder sie bereits im Anfangsstadium zu stoppen.

5.3 Verbundobjekt „Leiser Strassenverkehr: Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“

Quelle: Bundesanstalt für Strassenwesen, 2004: Verbundprojekt "Leiser Strassenverkehr - Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche". – Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft S 37.

Im Deutschen Verbundprojekt wurden unter der Leitung der Bundesanstalt für Strassenwesen mit 15 Partnern aus Reifen-, Fahrzeug- und Strassenbauindustrie folgende Lärminderungspotenziale erkannt:

- Reifen: 1.3 bis 1.7 dBA (je nach Belag)
- Fahrzeug: 0.5 bis 2 dBA (je nach Belag)

- Fahrbahnoberfläche: 4 bis 6 dBA (offenporige Beläge gegenüber "nicht geriffeltem Gussasphalt")

Die höchsten Lärmpegelreduktionen wurden bei offenporigen Asphalten festgestellt. Bei den Vorbeifahrtmessungen von LKW's erwiesen sich dick eingebaute offenporige Asphalte als besonders wirksam. Aus akustischer Sicht wird empfohlen, bei einlagigen OPA's eine Schichtdicke von mindestens 5 cm für PW-Reifen und 8 cm für LKW-Reifen anzustreben, wobei die SN-Norm eine max. Schichtdicke von 5 cm vorsieht.

Der Einfluss des Walzenspiels auf die Oberflächentextur und die akustischen Eigenschaften des Belags wurden untersucht. Wenn Splittmastixasphalt nicht mit einer dynamischen, sondern mit einer statisch verdichtenden Walze gefertigt wird, ergibt sich allein dadurch eine um ca. 1 dBA leisere Fahrbahntextur.

Im Rahmen des Projektes wurde verschiedene theoretische Modelle entwickelt. Interessant ist das "statistische Modell zur Geräuschenstehung von Reifen-Fahrbahngeräuschen". Dem Modell liegt folgende Formel zugrunde:

$$\text{Gesamtschallintensität} = \text{Mechanische Anregung} + \text{aerodynamische Anregung} + \text{Strömungsgeräusche an der Karosserie}$$

Die Abweichungen zwischen dem Modell und den gemessenen Vorbeifahrtpegeln betragen zwischen 0.8 und 1.8 dB. Das Modell erlaubt frequenzabhängige Betrachtungen über die Anteile von mechanischer und aerodynamischer Anregung der Reifen bei verschiedenen Fahrbahnbelägen. Mit dem Modell sollen in Zukunft gezielt geräuschkindernde Fahrbahnoberflächen entwickelt werden.

Wieweit die oben beschriebenen Erkenntnisse auf Innerortsverhältnisse in der Schweiz übertragbar sind, ist noch abzuklären.

5.4 Rollpave - Prefab road for rapid construction

Robbert Naus, Dura Vermeer Infrastructure, The Netherlands
Proceedings of Eurasphalt & Eurobitume, Vienna, 2004

Zusammenfassung

Das Holländische Ministerium für Transport, öffentliche Bauten und Wasserbewirtschaftung hatte im Jahre 2000 ein Wettbewerb zum Thema Modular Road Surfaces lanciert. Es wurden hohe Anforderungen an Lärmreduktion (-5 dBA bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h im Vergleich zu einem dichten AC 0/16) und an Einbaugeschwindigkeit gestellt. Das Bauunternehmen Dura Vermeer Infrastructuur BV gewann den Wettbewerb mit einer vorfabrizierten Asphaltmatte die auf einer Spule aufgerollt zur Baustelle befördert wird. Die Matte besteht aus 30 mm porösem 0/6 Asphalt der auf einer 4 mm dicken bituminösen und mit SBS (Styrene-Butadiene-Styrene Copolymer) verstärkten Membrane aufliegt. Die letztere Membrane übernimmt zweierlei Funktionen: dient als Träger der Asphaltschicht, besonders beim auf- und abrollen, und dient dem Verbund zwischen Untergrund und Asphaltmatte. Der Verbund wird durch ein selektives Erwärmen der Membrane, basierend auf einer elektromagnetischen Bestrahlung der Matte kurz nach dem Verlegen sichergestellt. Dieser Prozess ist reversibel. Durch die berührungslose Einwirkung von Wärme ist der Verbund wieder auflösbar und die Matte kann entfernt und ersetzt oder an einem anderen Standort verlegt werden (Abb. 15).

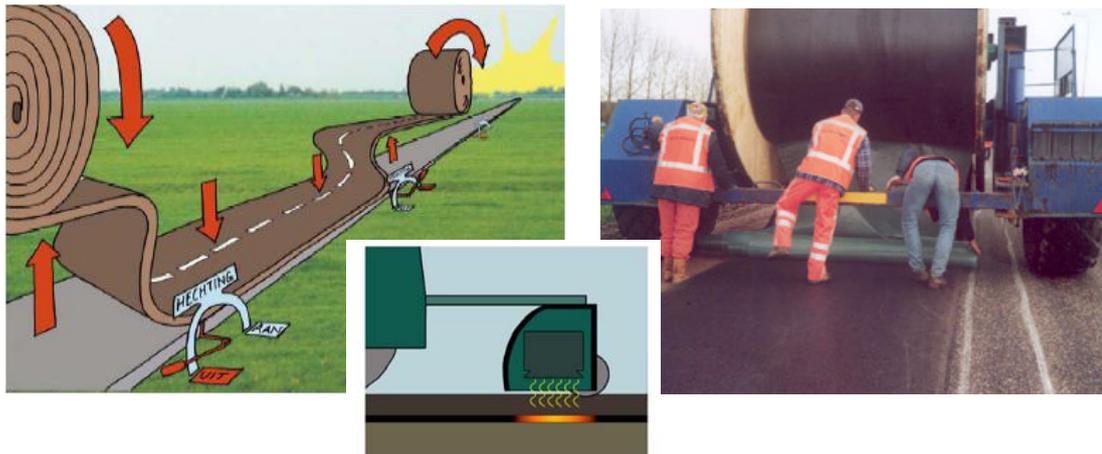


Abbildung 15 Verlegen von Rollpave

Die entwickelte Asphaltmatte, als Rollpave patentiert, wurde auf einer 100 x 5 m² unbefahrenen Testfläche während ein Jahr untersucht. Die Lärmreduktion betrug -6 dB(A). In Abb. 16 wird Rollpave mit anderen lärm mindernden Strassenbeläge verglichen. Dieses Produkt wird zur Zeit weiterentwickelt. Der Einbau einer befahrenen Teststrecke von 500 x 12,5 m² auf einer Autobahn ist für Juni 2006 geplant.

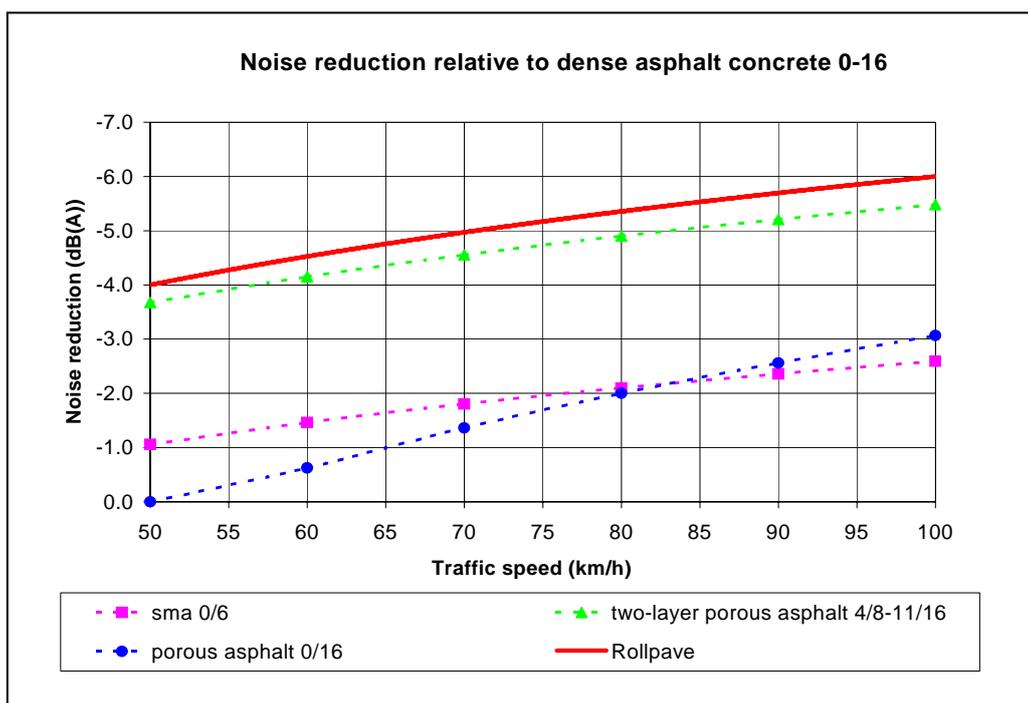
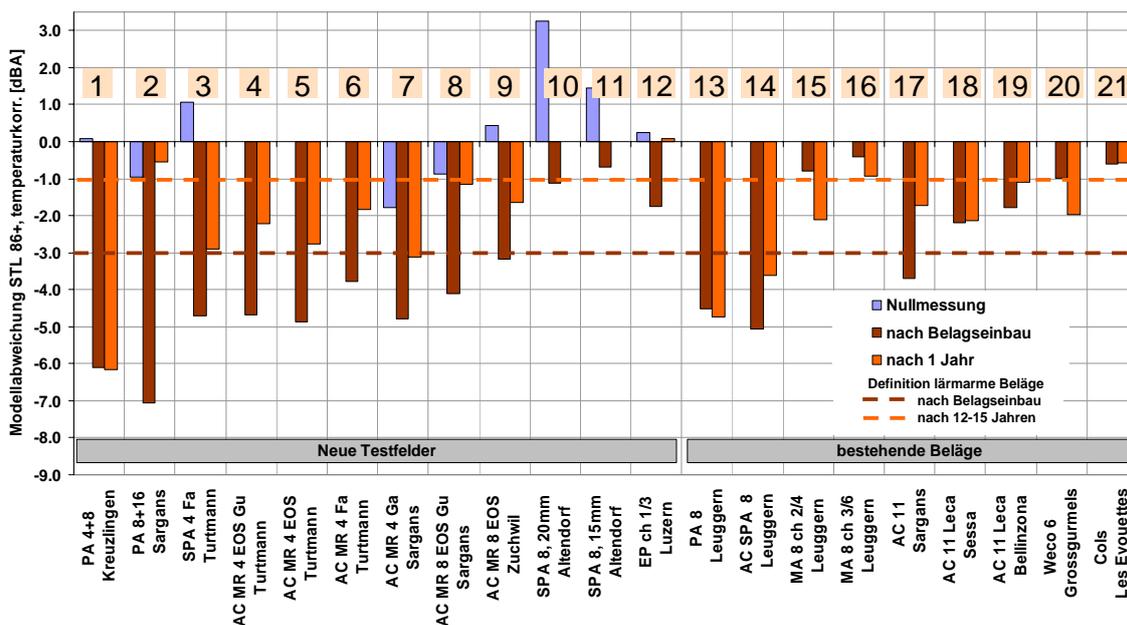


Abbildung 16 Lärmreduktion unterschiedlicher Beläge im Vergleich zu einem dichten AC 16 in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit.

5.5 SILVIA

Die Kontakte zum EU-Projekt SILVIA wurden verstärkt. Am Kolloquium über poroelastische Beläge nahm Jürgen Haberl, ein Vertreter von SILVIA teil und gab einen Überblick über den Aufbau des Projekts, an welchem sich 12 EU-Länder beteiligen. Der Schlussbericht ist für Frühjahr 2006 angekündigt.

ANHANG : Vergleich Lärm – Belag



Hohlraumgehalte Bohrkern

