

Herausgeber

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Auftraggeber

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Autoren

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

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

Bosshardt Dieter, beratender Ing.HTL/SIA/usic, Aquila

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

Schguanin Gregor, BAFU, Abt. Lärmbekämpfung

Beyeler Hans-Peter, 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

berat.Ing.HTL/SIA

Cresedo

6719 Aquila

Tel. 091 872 15 59

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

ASTRA: www.astra.admin.ch

BAFU: www.umwelt-schweiz.ch/ud-1004-d

Inhalt

1	Einleitung	2
1.1	Ziel, Auftrag	4
1.2	Vorgehen	4
2	Pilotstrecken und bestehende Beläge	5
3	Methoden	6
3.1	Makrotextur	6
3.2	Akustik	7
3.2.1	SPB-Messungen	7
3.2.2	CPX-Messungen	8
4	Resultate	9
4.1	Oberflächentextur der Pilotstrecken	9
4.2	Akustische Belagsgütemessungen 2004 bis 2008	11
4.2.1	Neu eingebaute Beläge	11
4.2.2	Bestehende Beläge	12
4.2.3	Akustisches Alterungsverhalten	12
4.2.4	CPX-Messung	14
5	Folgerungen	16
5.1	Zusammenhänge Belagseigenschaften / Lärm	16
5.2	Zusammenfassung	17
Anhang		
A1:	CPX-Verlaufdiagramme	18
A2:	Situationsplan	22

1 Einleitung

1.1 Ziel, Auftrag

Die Lärmschutzverordnung verlangt die Lärmsanierung aller Haupt- und übrigen Strassen bis 31. März 2018. 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.

1.2 Vorgehen

Aufgrund der Erkenntnisse einer umfangreichen Literaturrecherche und Erfahrungen der Kantone mit lärmarmen Belägen (Statusbericht 2003, Download BAFU) wurden 12 Belagstypen identifiziert und als neue Teststrecken eingebaut. Zusätzlich wurden 9 bestehende lärmarme Beläge in die Untersuchungen miteinbezogen. Die Teststrecken befinden sich im Innerortsbereich (Tempo 50 km/h).

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. 1). Zur Verbesserung der akustischen Langlebigkeit der Beläge wurden durchwegs polymermodifizierte Bindemittel und verschiedene Materialien wie Elektroofenschlacke (EOS), Gummigranulat sowie ausgewählte Provenienzen der Gesteinskörnungen (Famsa, Gasperini) verwendet.

An allen Teststrecken wurden 2004 bis 2008 jährlich belagstechnische und akustische Belagsgütemessungen durchgeführt. Im Jahr 2007 wurde ein umfangreicher Schlussbericht verfasst. (Download BAFU)

Die bis 2007 durchgeführten Messungen wurden 2008 wiederholt und mit CPX-Messungen, welche die akustische Homogenität der gesamten Teststrecke wiedergeben, ergänzt. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dieser neuen Messungen zusammengestellt und mit den Messergebnissen früherer Jahre verglichen.

2 Pilotstrecken und bestehende Beläge

Die Teststrecken wurden im Jahr 2003 aufgrund von Vorschlägen der Kantone ausgewählt.

Die Testbeläge sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt. Die genaue Lage der Strecken geht aus den Streckenprotokollen (Beilagen A2) hervor.

Tab. 1 Belagstypen, die auf den neuen Pilotstrecken eingebaut wurden

Neue Pilotstrecken	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 **

* wegen massiver Kornausbrüche aus dem Messprogramm eliminiert

** wegen Nichterfüllens der Lärminderungsbedingungen aus dem Messprogramm eliminiert

Tab. 2 Bestehende lärmarme Beläge, die in die Untersuchungen miteinbezogen wurden

Bestehende lärmarme Beläge	Beläge	Herkunft Splitt	Länge	Belagseinbau
Leuggern AG	PA 8		90 m	2003
	SPA 8		90 m	2003
	MA 8 mit Abstreuerung 2/4		60 m	2003
	MA 8 mit Abstreuerung 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

** wegen Nichterfüllens der Lärminderungsbedingungen für PW's aus dem Messprogramm eliminiert

3 Methoden

3.1 Makrotextur

Für die Schallentstehung hat die Oberflächentextur eines Belages einen entscheidenden Einfluss. Das Oberflächenprofil wird mit einem Laser-Profilometer nach EN ISO 13473–1 linear aufgezeichnet. Es werden 5 Messpunkte pro Millimeter gespeichert. Daraus werden folgende Kennwerte abgeleitet:

Tab. 3 Makrotexturkennwerte

Kennwert	Beschreibung	Bewertung
MPD (Mean Profile Depth)	Mittlere Profiltiefe; das ist der Abstand zwischen der höchsten Profilspitze und dem Mittelwert der Profilkurve innerhalb einer Messlänge von 100 mm.	keine
Gestaltfaktor g	Durch eine statistische Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen entsteht ein Parameter zur Kennzeichnung der Gestalt der Textur, der als Gestaltfaktor g bezeichnet wird. Konkave Texturen (Plateau mit Tälern) 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.	g < 60 % konvex g > 60 % konkav (erwünscht)
Spektralanalyse	Gemäss EN ISO 13473–2 wird das Belagsprofil mathematisch mittels einer Fourier-Transformation in Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Amplituden zerlegt. Dargestellt wird die Rauhtiefe (als quadratischer Mittelwert des Sinus-Profiles) in Abhängigkeit der Texturwellenlänge.	keine
max. Rauhtiefe $R_{t_{max}}$	Maximale Rauhtiefe [μm] im Wellenlängenbereich von 2,5 bis 200 mm.	keine
Wellenlänge bei $R_{t_{max}}$	Texturwellenlänge [mm] die der maximalen Rauhtiefe entspricht. Es wird postuliert, dass akustisch günstige Beläge die grössten Rauhtiefen im Wellenlängenbereich unter 12,5 mm und niedrige Rauhtiefen bei Texturwellenlängen von 16 bis 50 mm aufweisen.	$12,5 \geq R_{t_{max}} \geq 4,0$

3.2 Akustik

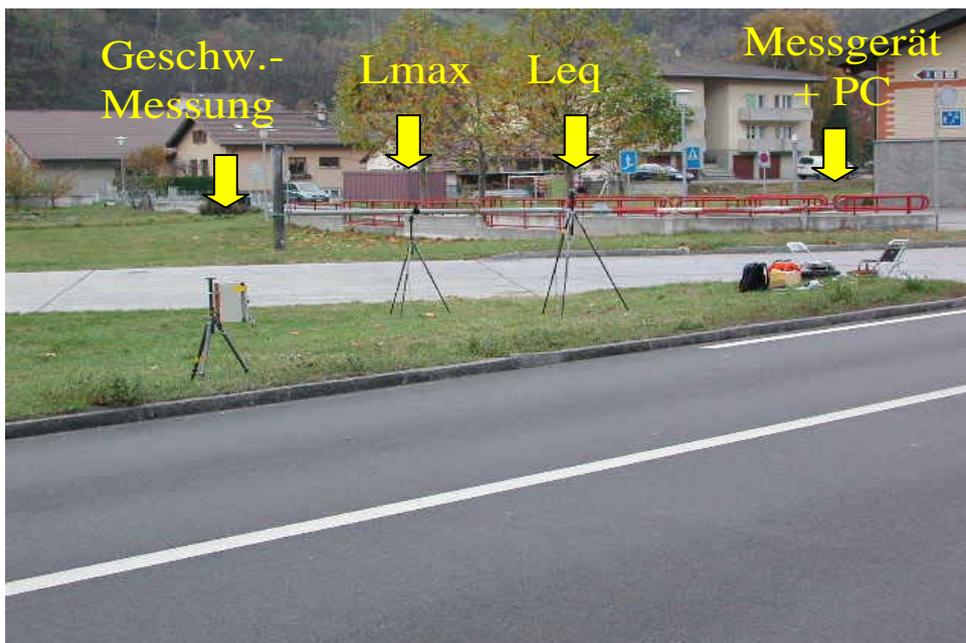
3.2.1 SPB-Messungen

Die akustischen Belagsgütemessungen wurden nach der statistischen Vorbeifahrtsmethode (statistical pass-by method SPB, ISO 11819-1) durchgeführt. Dabei werden die Vorbeifahrtspegel von 80–100 Personenkraftwagen und 30 Lastkraftwagen gemessen, wobei auf den Innerortsstrecken nicht immer die nötige Anzahl Lastkraftwagenvorbeifahrten innerhalb vernünftiger Zeit registriert werden können.

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 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.

Abb. 1 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 [Korrekturen zum Strassenlärm-Berechnungsmodell, 1995].

Die Werte wurden mit einem der Literatur entnommenen Faktor von $-0.06 \text{ dBA}/^\circ\text{C}$ für dichte Beläge und $-0.04 \text{ dBA}/^\circ\text{C}$ für offenporige Beläge auf 20°C Belagstemperatur korrigiert. Bei den Lastwagen wurde eine Temperaturkorrektur von $-0.03 \text{ dBA}/^\circ\text{C}$ verwendet. Die Korrekturfaktoren für dichte Beläge wurden in diesem Forschungsprojekt im Rahmen der Zusatzuntersuchungen überprüft und haben sich dort bestätigt.

Im Bericht wird die akustische Belagsgüte als Modellabweichung des Mischverkehrs mit 8% Lastwagenanteil am Gesamtverkehr angegeben. Diese Werte sind mit dem Leitfaden Strassenlärm ASTRA/BAFU kompatibel.

Bei einzelnen Standorten ist der Mischverkehrswert aufgrund der geringen Anzahl messbarer Lastwagen weniger gut abgestützt als der Wert für Personenwagen allein. Für Detailanalysen sind in den Beilagen deshalb die Werte für Personenwagen allein ebenfalls dargestellt.

3.2.2 CPX-Messungen

Bei der CPX-Methode wird der Schallpegel in schallgedämmten Kammern innerhalb des Messanhängers in unmittelbarer Reifennähe mit zwei Mikrofonen gemessen (ISO 3rd CD 11819-2). Die zwei verwendeten Testreifensätze entsprechen den heutigen Empfehlungen der ISO. Es sind dies:

- Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (Testreifen A1 für leichte Fahrzeuge)
- Avon AV4 195-R14C (Testreifen D1 für schwere Fahrzeuge).

Pro Reifen werden die A-bewerteten Schallpegel kontinuierlich auf der gesamten Messstrecke erfasst. Dabei werden die Mikrofonsignale mit einer Frequenz von 8 Hz aufgezeichnet und über ein Messsegment von 20m Länge energetisch gemittelt. Die Messfahrt erfolgte bei möglichst konstanter Geschwindigkeit von 50 km/h. Zudem werden die Parameter Geschwindigkeit, Lufttemperatur und die GPS-Signale fortlaufend aufgezeichnet.

Die Messresultate werden entsprechend der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit sowie bezüglich geräteeigener Schallreflexionen korrigiert. Ausgehend von den korrigierten Schallpegeln werden anschließend die CPX-Werte für leichte Fahrzeuge (Personenwagen) und für schwere Fahrzeuge (Lastwagen) ermittelt und mit einer Temperaturkorrektur von $-0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgegeben. Die Umrechnung in die in der Schweiz übliche \langle Abweichung vom Modell STL86+ \rangle erfolgt durch lineare Korrelation mit den SPB-Messungen.

Abb. 2 CPX-Messanhänger



4 Resultate

Die Lärm- und Textur-Messungen wurden – wie in den Jahren zuvor – zwischen August und Oktober durchgeführt.

4.1 Oberflächentextur der Pilotstrecken

Mit fortschreitender mechanischer Belastung erleidet die Fahrbahnoberfläche signifikante Änderungen, die sich mit der mittleren Profiltiefe quantifizieren lassen. Die Änderungen unterteilen sich in zwei Gruppen. Zum einen ist eine Verdichtung der Oberflächentextur zu beobachten; die Rauigkeit nimmt ab und die mittlere Profiltiefe sinkt um mehr als die Hälfte im Vergleich zum neuen Belag. Dieses Verhalten ist typisch für die semi-dichte AC MR Beläge. Zum anderen ist Kornausbruch zu vermerken; die Rauigkeit nimmt stetig zu und so auch die mittlere Profiltiefe. Von dieser Art Änderung sind vor allem die PA Beläge betroffen. Auch Beläge mit weichen Zusätzen wie Gummigranulat und Leca-Körner können auf die Dauer diese verlieren und eine ungewünschte hohe mittlere Profiltiefe erreichen.

Tab. 4 Evolution der Mittleren Profiltiefe (MPD) zwischen 2004 und 2008

Teststrecke und Mischgutsorte		Mittlere profiltiefe [mm]					
		Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007	Herbst 2008
Neue Testbeläge							
Kreuzlingen	PA 4 auf PA 8	0.87	0.80	0.91	0.88	1.05	1.76
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	0.46
Turtmann	ACMR 4 EOS Gummigranulat	0.89	0.53	~	0.51	0.55	0.53
	ACMR 4 EOS	1.06	0.55	~	0.61	0.54	0.49
	ACMR 4 Famsa	0.82	0.61	~	0.58	0.55	0.33
Sargans	ACMR 4 Gasperini	0.84	0.84	0.81	0.79	0.76	0.64
	ACMR 8 EOS Gummigranulat	0.76	1.15	0.96	1.20	1.13	1.37
Zuchwil	ACMR 8 EOS	0.82	0.78	0.68	0.61	0.66	0.64
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	1.48
Leuggern	SPA 8	1.05	~	1.08	1.30	1.22	1.77
Leuggern	MA 8 2/4	0.79	~	0.54	0.56	0.58	0.54
	MA 8 3/6	1.12	~	1.18	1.15	1.14	1.30
Sargans	AC 11	0.55	0.62	0.51	~	0.59	0.60
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	0.59	0.51	~	0.65	0.63	0.54
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	1.22	0.96	~	1.05	1.04	1.15
Grossgurmels	Wecophone 6 Famsa	0.70	0.60	~	0.61	0.62	0.66
Les Evouettes	Colsoft 8	0.76	0.93	~	1.00	1.04	~

Die weiteren drei Kennwerte – Gestaltfaktor g , maximale Rauigkeitstiefe A_{max} und Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe $\lambda(A_{max})$, sind in der folgenden Tab. 5 zusammengefasst. Die Kennwerte folgen einer Tendenz der Verschlechterung. Einige markante Beispiele dafür, sind die Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe des PA 4 in Kreuzlingen, des ACMR 4 Famsa in Turtmann oder des ACMR 8 EOS in Zuchwil.

Tab. 5 Evolution der Makrotextur zwischen 2004 und 2008: 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 2008	Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007	Herbst 2008	Herbst 2004	Frühling 2005	Herbst 2005	Herbst 2006	Herbst 2007	Herbst 2008
Pilotbeläge																			
Kreuzlingen	PA 4 auf PA 8	305	308	310	296	337	385	5	12	10	10	8	32	56	73	53	59	64	53
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	201	4	6	~	8	16	4	62	68	~	67	41	65
Turtmann	ACMR 4 EOS Gummigr.	451	190	~	165	173	186	3	5	~	10	8	10	64	63	~	69	21	48
	ACMR 4 EOS	481	177	~	190	187	149	3	5	~	12	8	12	82	67	~	48	67	43
	ACMR 4 Famsa	329	160	~	156	185	128	3	8	~	6	5	20	72	54	~	44	50	41
Sargans	ACMR 4 Gasperini	289	248	259	252	247	235	8	10	12	20	50	20	53	69	64	69	60	39
	ACMR 8 EOS Gummigr.	311	439	430	465	451	435	10	16	12	20	20	32	92	54	79	73	74	60
Zuchwil	ACMR 8 EOS	350	334	295	252	266	211	12	12	12	10	10	20	88	88	83	79	81	57
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	591	10	~	20	10	16	25	90	~	85	85	84	86
Leuggern	SPA 8	583	~	507	515	545	530	12	~	12	10	16	20	89	~	82	87	78	67
Leuggern	MA 8 2/4	318	~	134	144	163	181	25	~	6	25	20	20	85	~	62	35	61	61
	MA 8 3/6	325	~	410	356	374	330	12	~	25	40	16	20	45	~	53	59	62	53
Sargans	AC 11	229	200	204	~	189	230	3	20	16	~	16	20	85	75	76	~	71	54
Sessa	AC 11 Leca Gasperini	322	252	~	230	212	231	12	12	~	10	10	20	82	76	~	69	68	61
Bellinzona	AC 11 Leca Gasperini	466	312	~	380	330	398	12	12	~	32	16	40	91	74	~	75	80	71
Gurmels	Wecophone 6 Famsa	303	298	~	261	301	255	8	12	~	10	12	10	70	85	~	88	81	79
Les Evouettes	Colsoft 8	361	400	~	369	417		12	12	~	10	10	~	89	85	~	81	81	~

	Zielvorstellungen erfüllt
	Zielvorstellungen teilweise erfüllt
	Zielvorstellungen nicht erfüllt

4.2 Akustische Belagsgütemessungen 2004 bis 2008

Die akustische Belagsgüte der Testbeläge ist nachfolgend für den Mischverkehr unter Annahme eines Lastwagenanteils von 8 % dargestellt.

4.2.1 Neu eingebaute Beläge

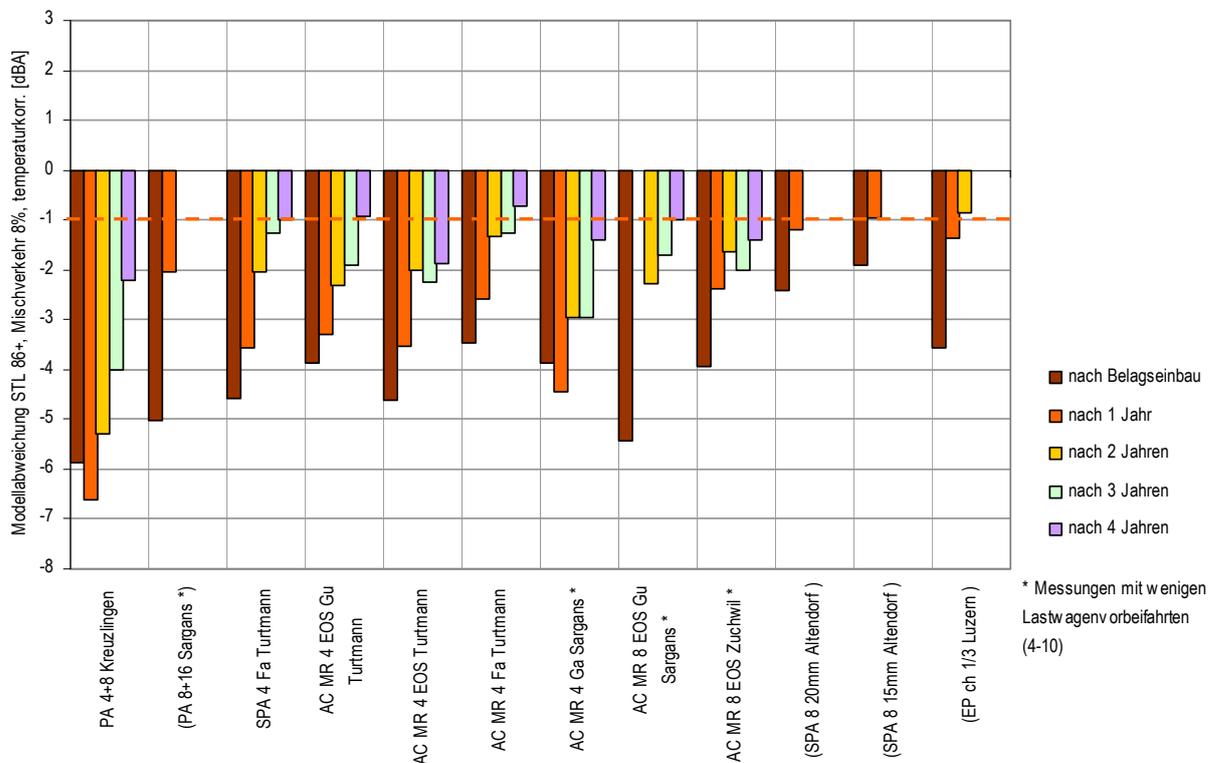
Bei den neu eingebauten Testbelägen wurden sehr gute Anfangslärminderungswerte von -3 dBA bis -6 dBA erreicht, mit Ausnahme der beiden SPA 8-Beläge in Altendorf, die von Anfang an eine sehr hohe Rauigkeit aufwiesen.

Nach 4 Jahren kontinuierlicher Messung ist erfahrungsgemäss festzustellen, dass die akustische Belagsgüte bei allen Belägen abgenommen hat. Sie liegt jetzt zwischen -2 und knapp -1 dBA. Beim AC MR4 Fa in Turtmann wird dieser Bereich knapp unterschritten.

Bezüglich Zusatzstoffe fällt auf, dass Beläge mit Gummizusatz überdurchschnittlich stark altern, während bei Belägen mit EOS-Zusatz (aber ohne Gummibeimengung) die akustische Alterung deutlich gebremst wurde.

Abb. 3 Entwicklung der akustischen Belagsgüte für Mischverkehr auf neu eingebauten Belägen während der letzten 4 Jahre

Dargestellt sind die Differenzen zum in der Schweiz gültigen Modell STL86+. Die Werte sind temperaturkorrigiert. Messungen, die den Zielwert von -1 dBA bei den Personenwagen oder beim Mischverkehr nicht mehr erreichten, wurden abgebrochen (Teststrecke in Klammer). Messungen, die auf weniger als 10 Lastwagenvorbeifahrten beruhen sind mit einem Stern (*) markiert, solche mit weniger als 4 Lastwagenvorbeifahrten sind gar nicht dargestellt.

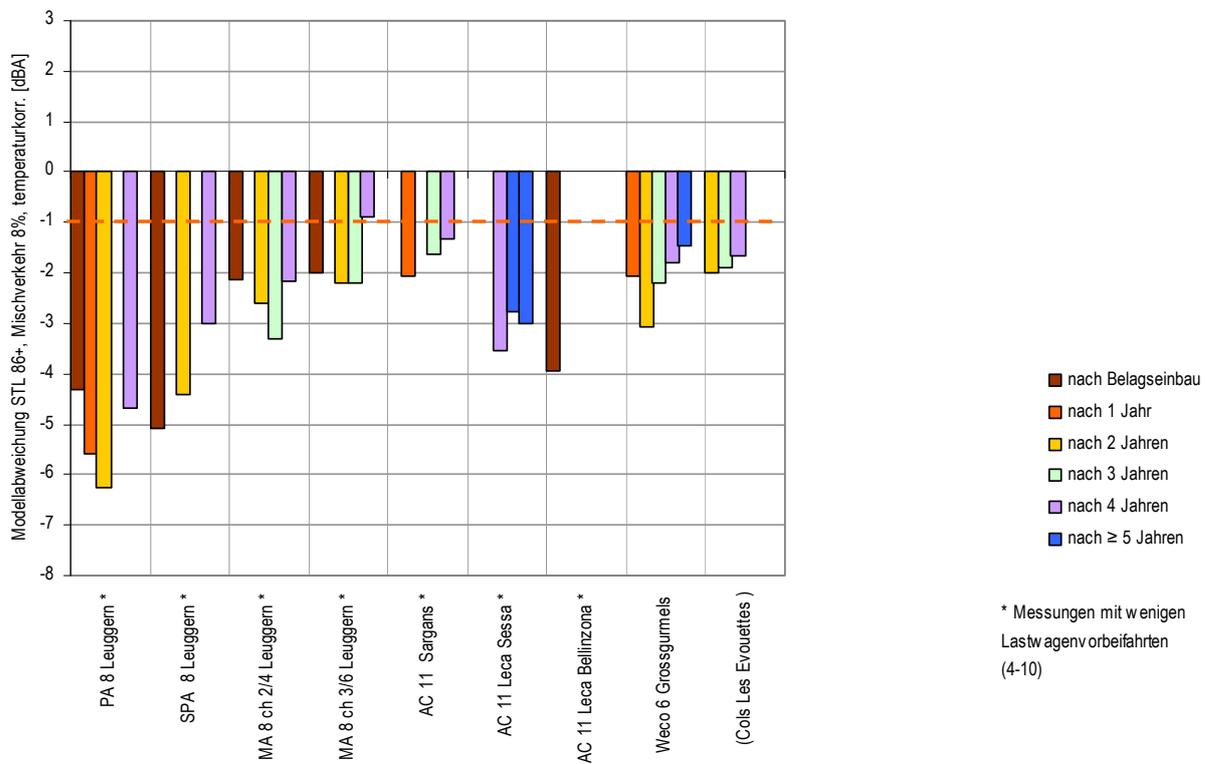


4.2.2 Bestehende Beläge

Bei den bestehenden Belägen ist eine weniger ausgeprägte Abnahme der akustischen Belagsgüte festzustellen als bei den neu eingebauten Belägen. Dies hängt wesentlich mit dem z. T. sehr geringen Verkehrsaufkommen zusammen, insbesondere auf den Strecken in Leuggern und in Sessa.

Abb. 4 Entwicklung der akustischen Belagsgüte für Mischverkehr auf bestehenden Belägen während der letzten 4 Jahre

Dargestellt sind die Differenzen zum in der Schweiz gültigen Modell STL86+. Die Werte sind temperaturkorrigiert. Messungen, die den Zielwert von -1 dBA bei den Personenwagen oder beim Mischverkehr nicht mehr erreichten, wurden abgebrochen (Teststrecke in Klammer). Messungen, die auf weniger als 10 Lastwagenvorbeifahrten beruhen sind mit einem Stern (*) markiert, solche mit weniger als 4 Lastwagenvorbeifahrten sind gar nicht dargestellt.



Alle Beläge erfüllen somit auch nach 4 Jahren den im Forschungsvorhaben gesetzten Zielwert für dauerhaft lärmarme Beläge von -1 dBA, wenn auch in einem Falle nur knapp.

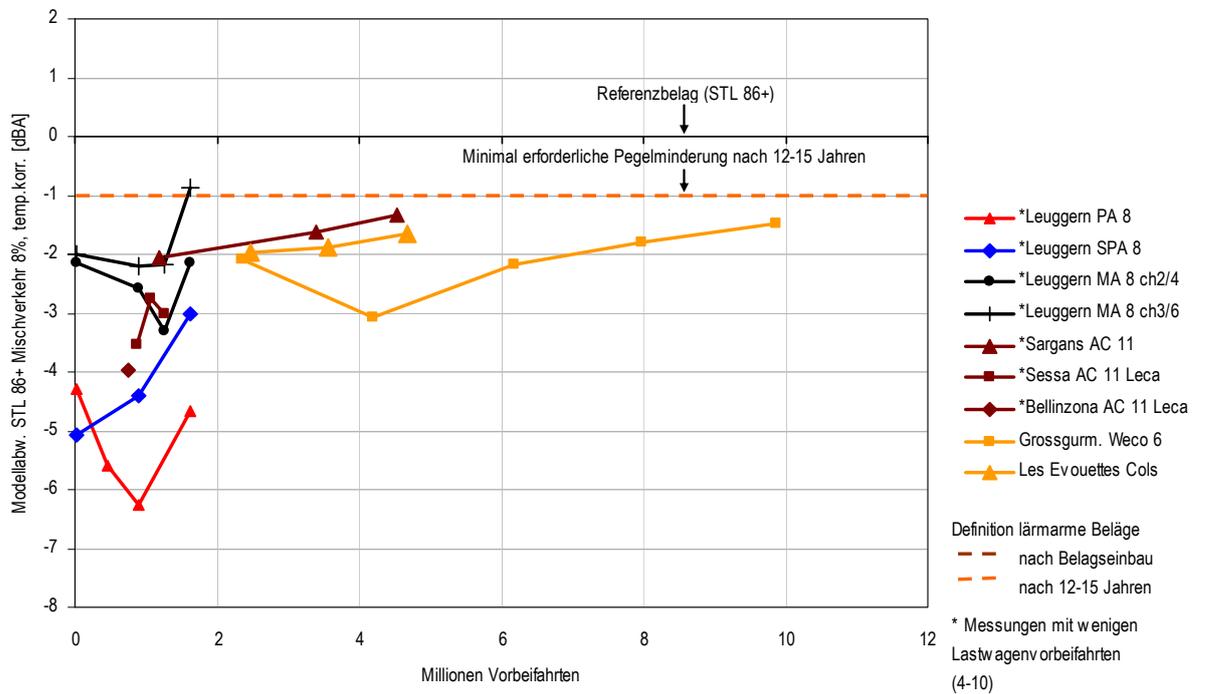
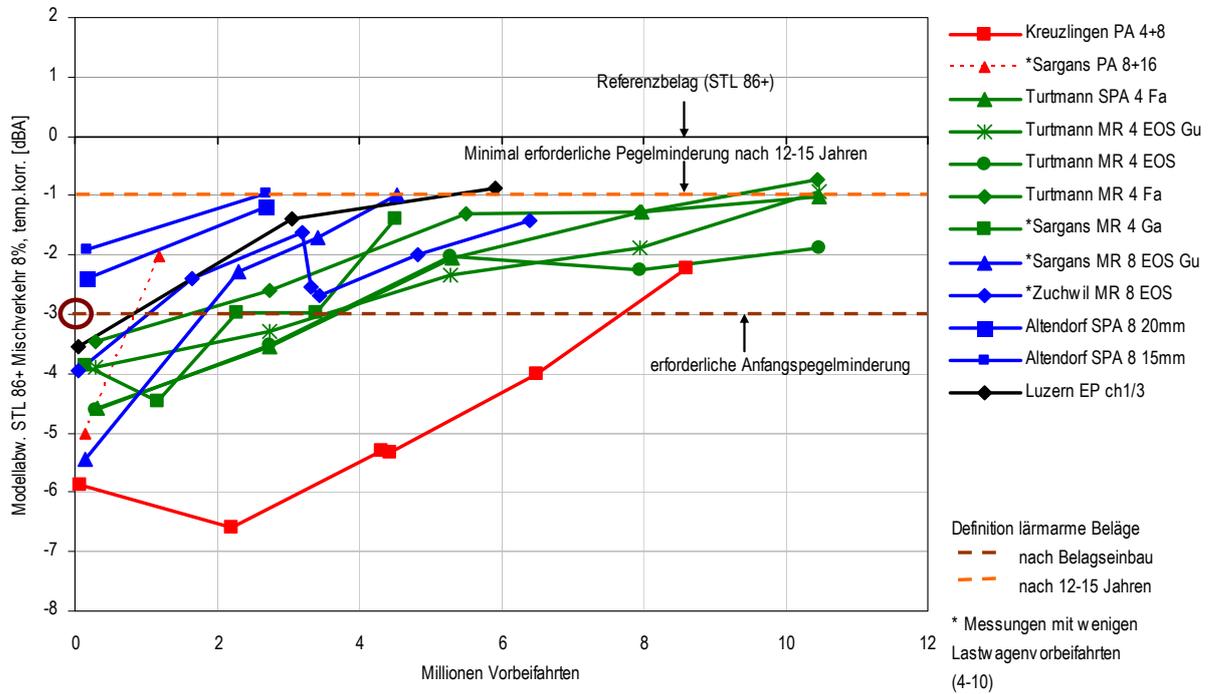
4.2.3 Akustisches Alterungsverhalten

Beläge mit wenig Verkehrsaufkommen verlieren ihre akustischen Eigenschaften weniger schnell als solche mit einem hohen Verkehrsaufkommen. Die Verkehrsbelastung stellt somit einen wichtigen Faktor für die akustische Alterung der Beläge dar. Nachfolgend ist die akustische Belagsgüte in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung dargestellt.

Angaben über den durchschnittlichen täglichen Verkehr DTV der einzelnen Strecken finden sich im Anhang 3.

Abb. 5 Akustische Belagsgüte in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung auf neu eingebauten (oben) und bestehenden lärmarmen Belägen (unten) während der letzten 4 Jahre

Dargestellt sind die Differenzen zum in der Schweiz gültigen Modell STL86+. Die Werte sind temperaturkorrigiert.



Neu eingebaute Beläge

Bei den semidichten Belägen verläuft die akustische Alterung asymptotisch, d. h. die akustische Verschlechterung verlangsamt sich mit zunehmendem Alter. Zudem ist erkennbar, dass die feinkörnigeren 4er-Beläge (grün) bislang bessere akustische Eigenschaften besitzen als die grobkörnigeren 8er- Beläge (blau).

Bisher noch keinen asymptotischen Verlauf zeigt der Twinlayer-Belag in Kreuzlingen, welcher während zweier Jahre hervorragende Lärminderungseigenschaften zeigte, dann aber jährlich fast 2 dBA lauter wurde. Untersuchungen im Jahr 2007 zeigten, dass die Poren dieses Belags weitgehend verstopft waren, was auch durch eine intensive Druck/Vakuum-Reinigung nicht geändert werden konnte. Die visuelle Beurteilung lässt vermuten, dass ebenso Kornausbrüche stattgefunden haben. Der Twinlayer-Belag in Kreuzlingen scheint einen ähnlichen Degradationsprozess zu durchlaufen wie dies schon beim Twinlayer in Sargans in wesentlich kürzerer Zeit beobachtet werden konnte.

Bestehende Beläge

Die Mehrzahl der bestehenden Beläge befindet sich auf Strecken mit wenig Verkehr. Gesicherte Aussagen über ihr akustisches Alterungsverhalten sind zurzeit noch nicht möglich.

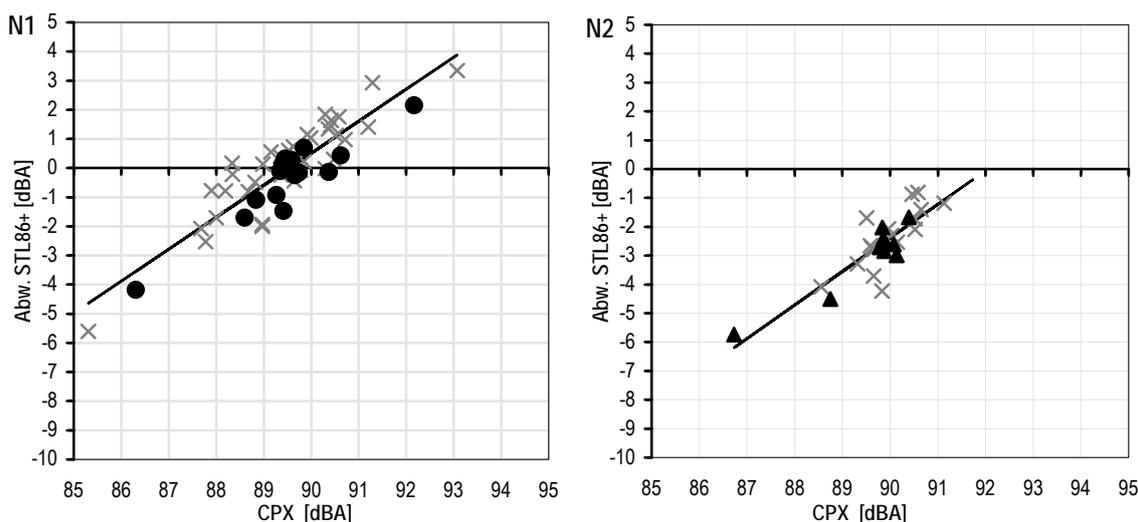
4.2.4 CPX-Messung

Korrelation

Sämtliche Teststrecken des Forschungsprojekts wurden erstmalig mit einem CPX-Messanhänger abgefahren und gemessen. Die Resultate wurden mit den in derselben Zeitspanne durchgeführten SPB-Messungen korreliert. Das Resultat der Korrelation ist in Abb. 6 dargestellt. Die fett ausgefüllten Symbole sind Wertepaare aus dem vorliegenden Forschungsprojekt, die Kreuze stellen andere SPB-CPX-Wertepaare von Strassen im Innerortsbereich dar. Aufgrund der eingezeichneten Korrelationsgerade wurden die gemessenen CPX-Werte in die im Bericht verwendete <Abweichung vom Modell STL86+> umgerechnet.

Abb. 6 Korrelation zwischen CPX-Messwerten und SPB-Messungen im Innerortsbereich (Tempo 50 km/h)

Die ausgefüllten Symbole sind Wertepaare aus dem Forschungsprojekt.



Die CPX-Methode erlaubt es, die Homogenität der Teststrecken zu beurteilen. Während die SPB-Messungen nur die akustische Belagsgüte an einem einzigen Querschnitt wiedergeben, zeigen die CPX-Pegelverläufe die akustische Belagsgüte über die ganze Länge der Teststrecke.

Die Pegelverläufe aller gemessener Teststrecken befinden sich im Anhang.

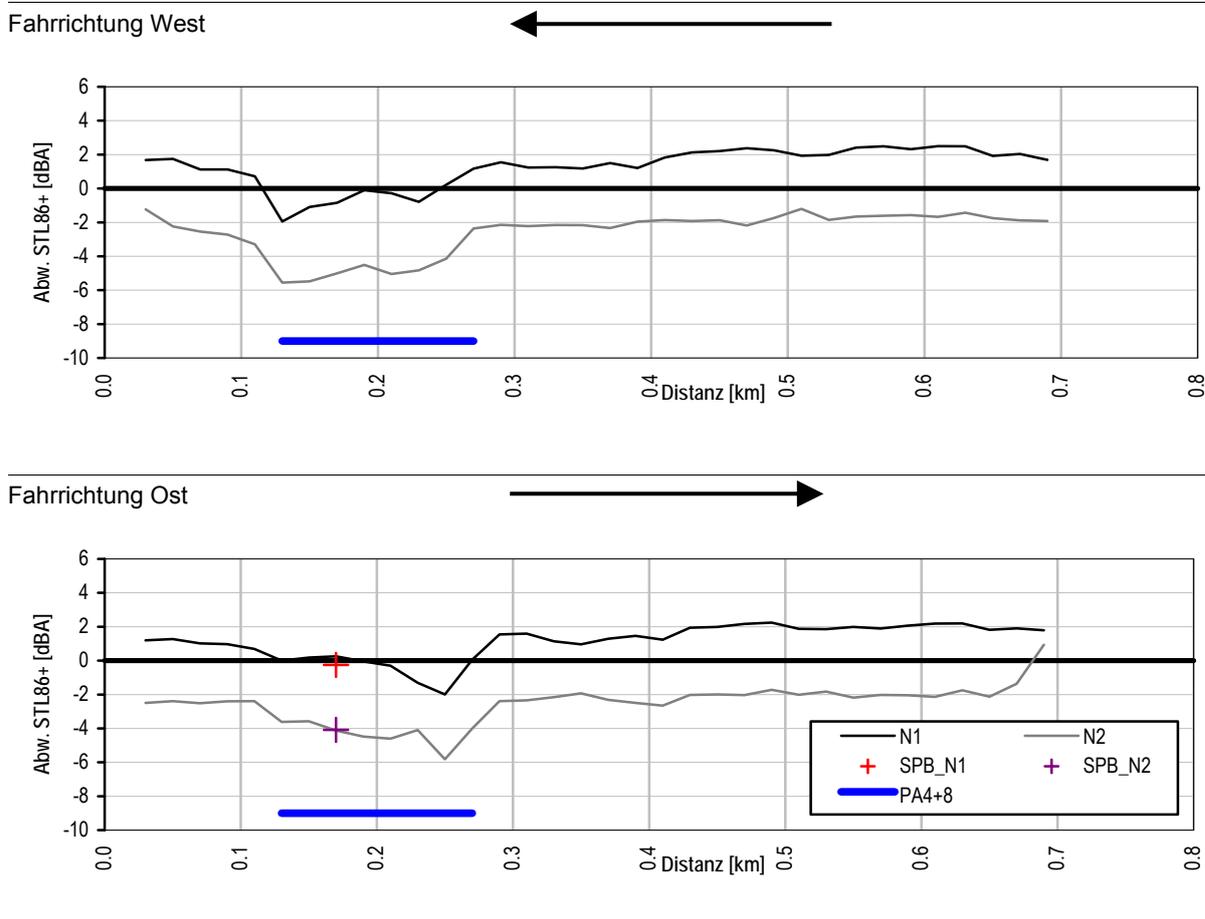
Für CPX-Messungen stellen Teststreckenlängen von 100 m die untere Grenze dar, da sich sonst die Messresultate der einzelnen Teststrecken zu stark überlagern. Deutlich erkennbar ist dies aus dem Messprotokoll von Leuggern. Längere Teststrecken sind auch aus einbautechnischer Sicht von Vorteil.

Offenporige Beläge

Die Pegelverläufe der offenporigen Beläge in Kreuzlingen und in Leuggern sind inhomogen. Beide Beläge weisen heute Kornausbrüche auf. Zudem zeigen die Pegelstreifen, dass, in Fahrtrichtung betrachtet, ihre akustische Belagsgüte zu Beginn relativ schlecht ist, um dann mit zunehmender Länge akustisch besser zu werden. Dieser Effekt ist bei beiden Fahrspuren zu beobachten und legt den Schluss nahe, dass die akustische Verschlechterung am Anfang auf verstärkten Schmutzeintrag aus dem Belagsabschnitt vor dem PA zurückzuführen ist.

CPX-Messresultate

Abb. 7 CPX-Messung der Teststrecke in Kreuzlingen



Semidichte Beläge

Tendenziell weisen Testbeläge mit kleinem Grösstkorn (4 mm) eine bessere akustische Homogenität auf als Testbeläge mit grösserem Grösstkorn. Die grössten Pegelschwankungen mit 2 dBA und mehr weisen die Testbeläge mit einer maximalen Korngrösse von 11 mm auf (AC11 Sargans und AC11 Leca Bellinzona).

Bei einzelnen Belägen sind Einflüsse von baulichen Gegebenheiten (Schachtdeckel, Fussgängerstreifen, usf.) erkennbar, die nicht mit der Homogenität des Testbelags an sich zusammenhängen. Gerade bei lärmarmen Belägen ist diesem Aspekt aber besondere Beachtung zu schenken.

5 Folgerungen

5.1 Zusammenhänge Belageigenschaften / Lärm

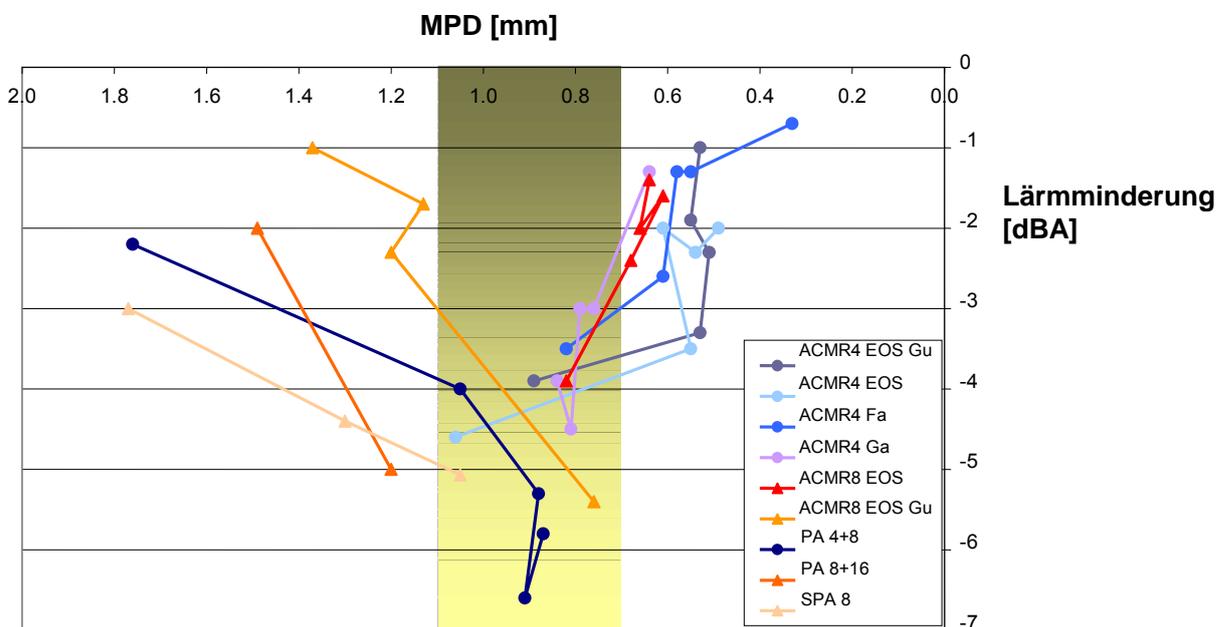
Nach der 4-jährigen Beobachtungsphase können erste Hinweise auf Zusammenhänge zwischen den Belagstexturen und dem gemessenen Lärm festgestellt werden. Dabei scheinen sich die von Sandberg und Ejsmont [Tyre/Road Noise Reference Book, Ed. Informex, Sweden (2002)] vorgeschlagenen Texturkennwerte in Bezug auf die Belagsakustik zu bestätigen. Es zeigt sich, dass hohe Werte für die effektive Rauigkeitstiefen im Textur-Wellenlängen-Bereich > 12.5 mm entscheidend für die Lärmentwicklung sind.

Bei der mittleren Profiltiefe MPD gibt es einen optimalen Bereich zwischen ca. 0.7 und 1.1 mm; wie dies in der Abbildung 8 deutlich zu erkennen ist.

Die Beläge mit Gummigranulaten zeigen Kornausbrüche und damit eine rasche Verschlechterung der Lärmeigenschaften. Dabei ist zu vermerken, dass Gummi im so genannten Dry-Verfahren, das heisst als Ersatz von Feinsand verwendet wurde. Vergleicht man die beiden AC MR 4 EOS mit und ohne Gummigranulat, so können aus den Texturkennwerten keine Vorteile des AC EOS mit Gummigranulat festgestellt werden.

Der AC 11 behält über die gesamte Messdauer eine praktisch gleich bleibende mittlere Profiltiefe um ca. 0.6 mm. Die Veränderungen der Lärmeigenschaften bei diesem Belag sind auch relativ klein.

Abb. 8 Modellabweichung in Abhängigkeit der mittleren Profiltiefe



5.2 Zusammenfassung

Alle Beläge erfüllen auch nach 4 Jahren den im Forschungsvorhaben gesetzten Zielwert für dauerhaft lärmarme Beläge von -1 dBA.

Bei den semidichten Belägen hat sich die Abnahme der akustischen Güte weiter verlangsamt. Das asymptotische akustische Alterungsverhalten scheint sich zu bestätigen.

Die PA-Beläge dagegen haben sich infolge fortschreitender Verstopfung und Kornausbrüchen weiter verschlechtert. Es ist bislang kein asymptotisches Alterungsverhalten feststellbar.

Nur der Vergleich der Beläge bezogen auf die Verkehrslast ist für die akustische Dauerhaftigkeit aussagekräftig.

Die 2008 erstmals durchgeführten CPX-Messungen zeigen, dass Beläge mit kleinem Grösstkorn akustisch homogener sind als solche mit grösserem Grösstkorn. Nicht alle Beläge weisen homogene Lärmeigenschaften über die ganze Länge der Teststrecken auf. Es wurden Pegeldifferenzen innerhalb der Teststrecken von 2 dBA und mehr festgestellt.

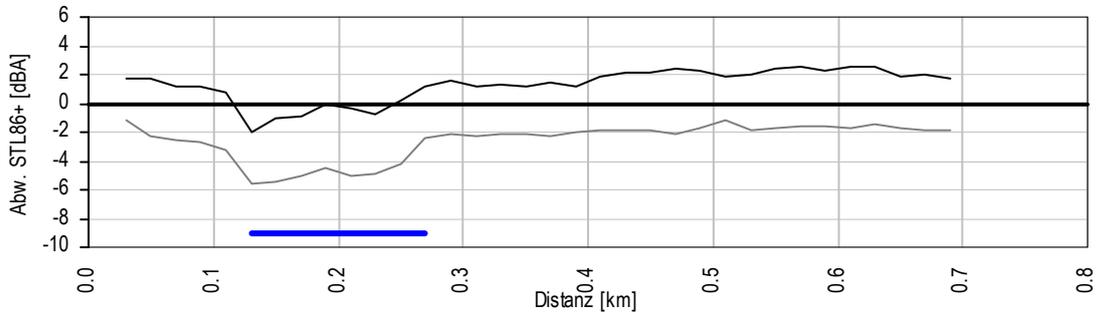
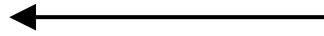
Die vorhandene Datenbasis zeigt klare Zusammenhänge zwischen Textureigenschaften und Lärmemission bzw. akustischem Alterungsverhalten der Beläge.

Die bisherigen Empfehlungen für die Aufbereitung und den Einbau lärmarmen Beläge haben weiterhin ihre Gültigkeit.

Anhang A1: CPX-Verlaufsdigramme

Abb. 9 Kreuzlingen

Fahrrichtung West



Fahrrichtung Ost

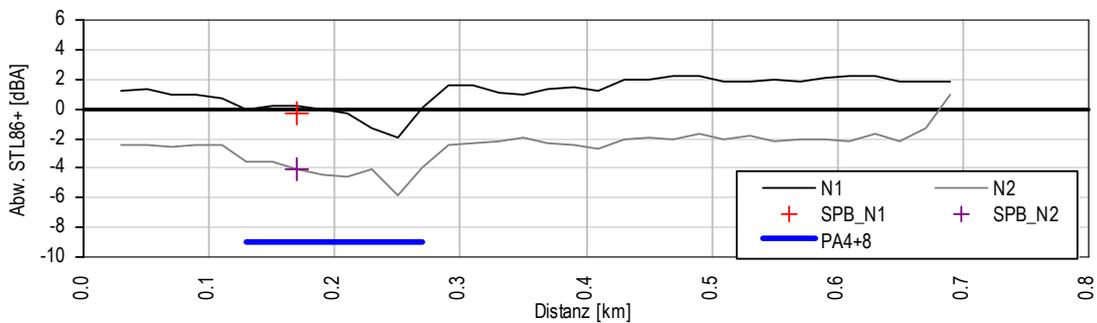
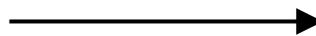
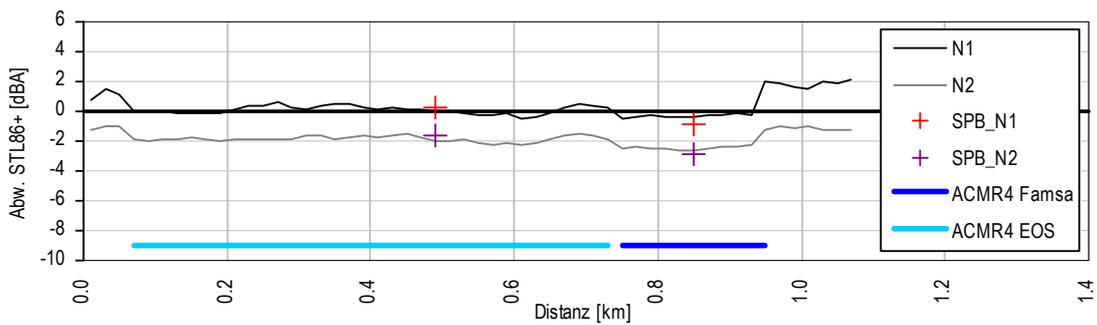


Abb. 10 Turtmann

Fahrrichtung West



Fahrrichtung Ost

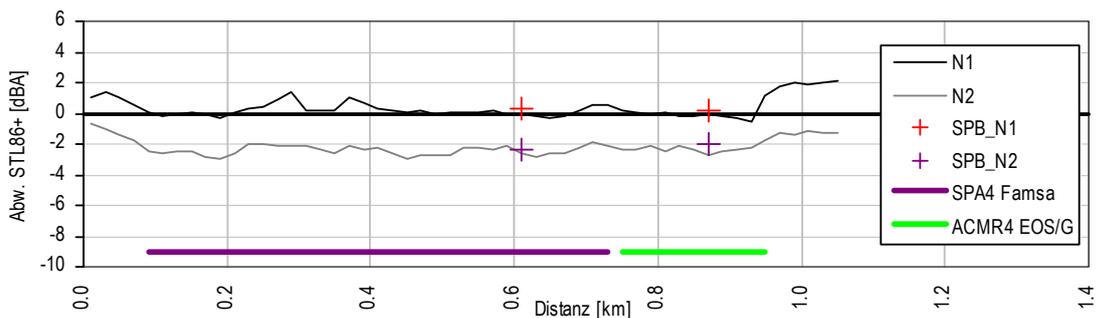
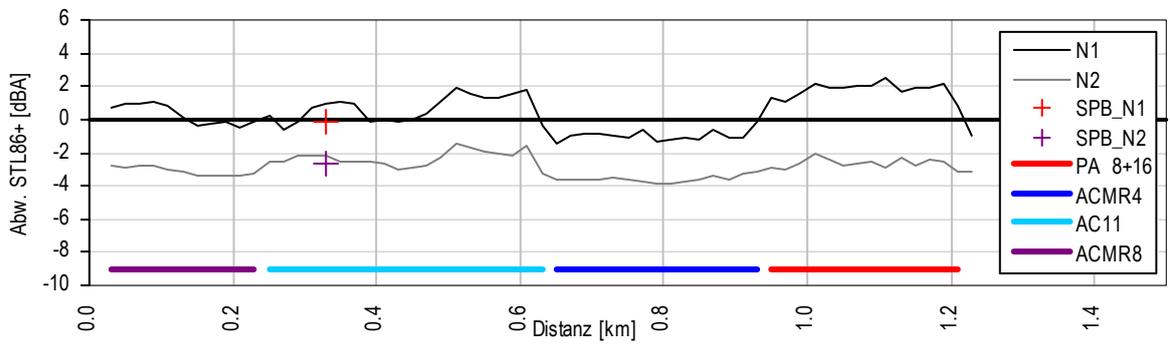
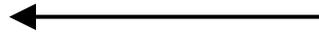


Abb. 11 Sargans

Fahrrichtung West



Fahrrichtung Ost

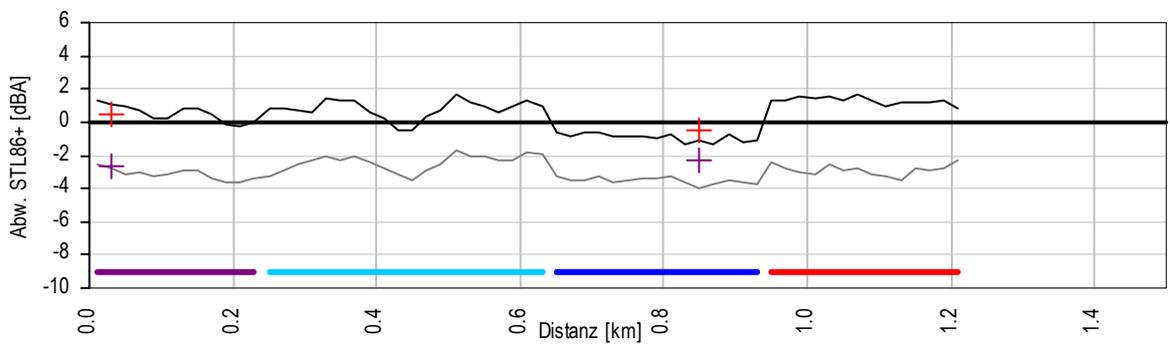
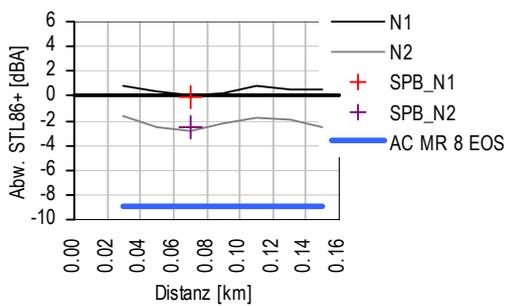


Abb. 12 Zuchwil

Fahrrichtung West



Fahrrichtung Ost

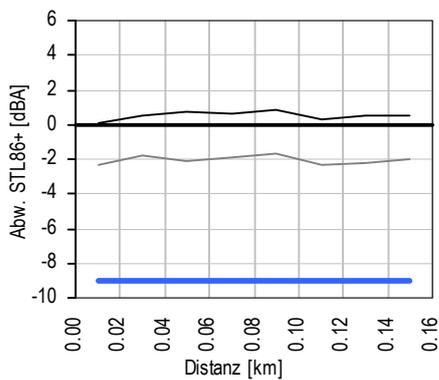


Abb. 13 Leuggern

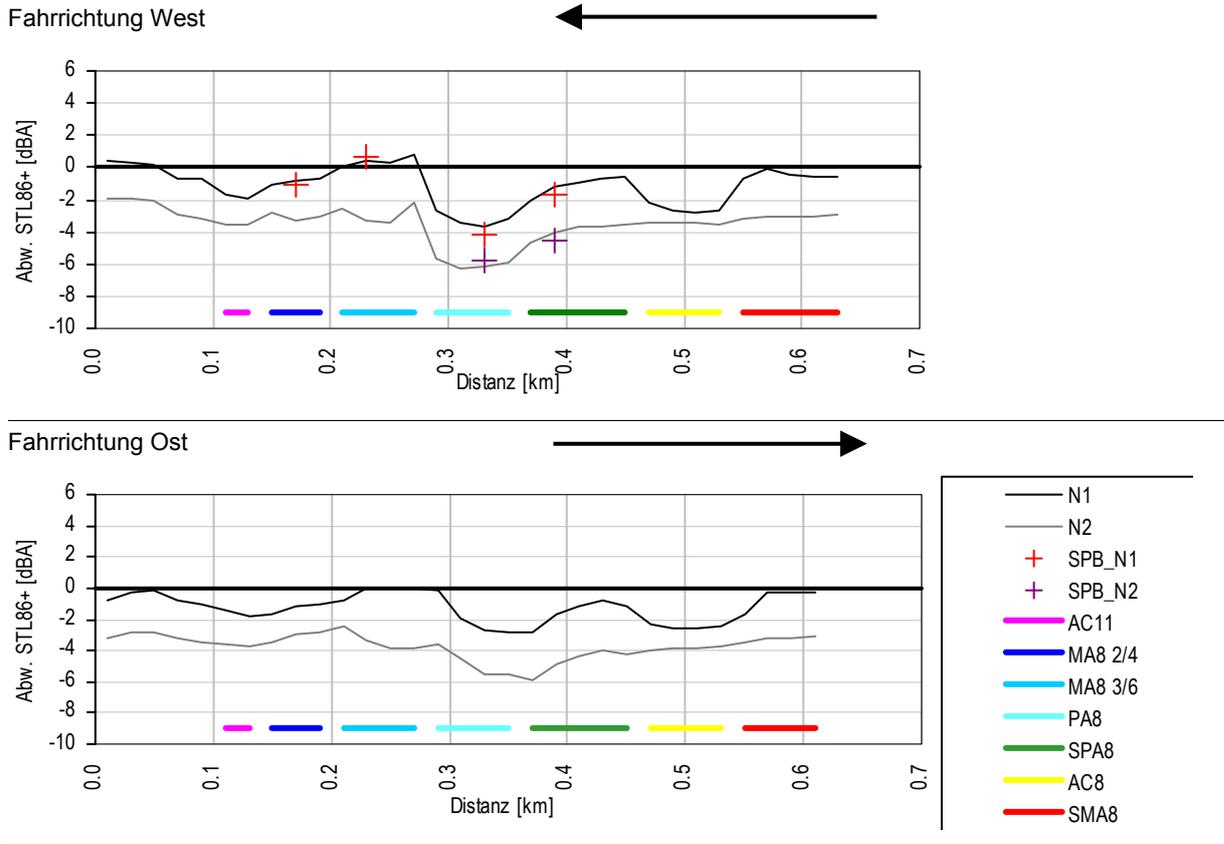


Abb. 14 Sessa

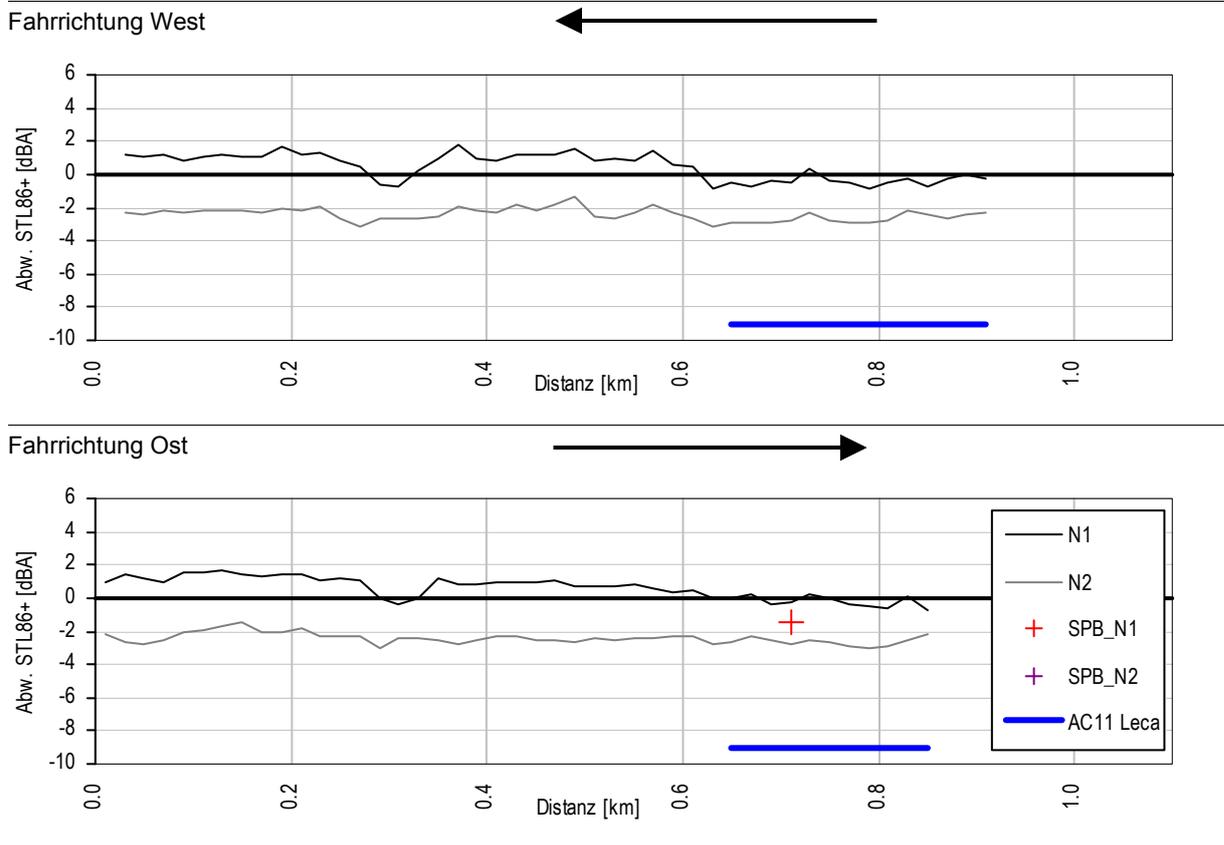


Abb. 15 Bellinzona

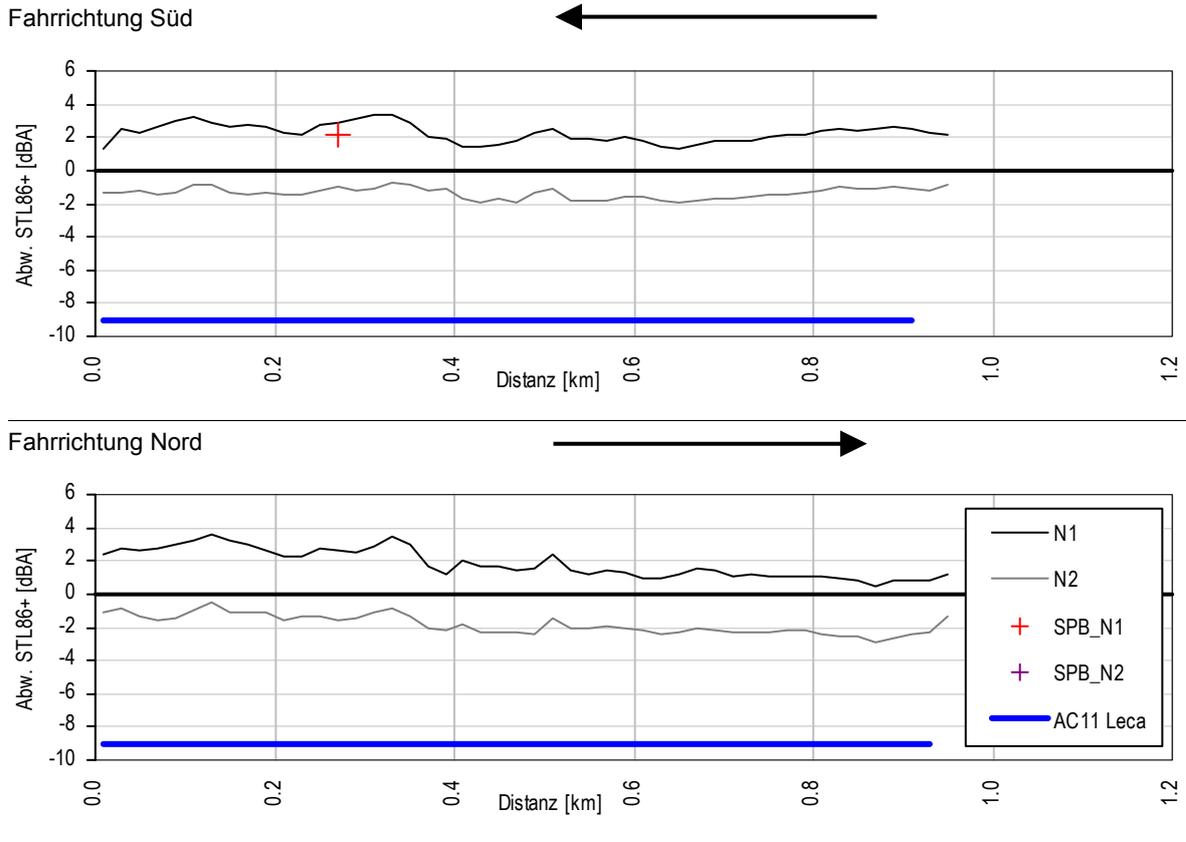
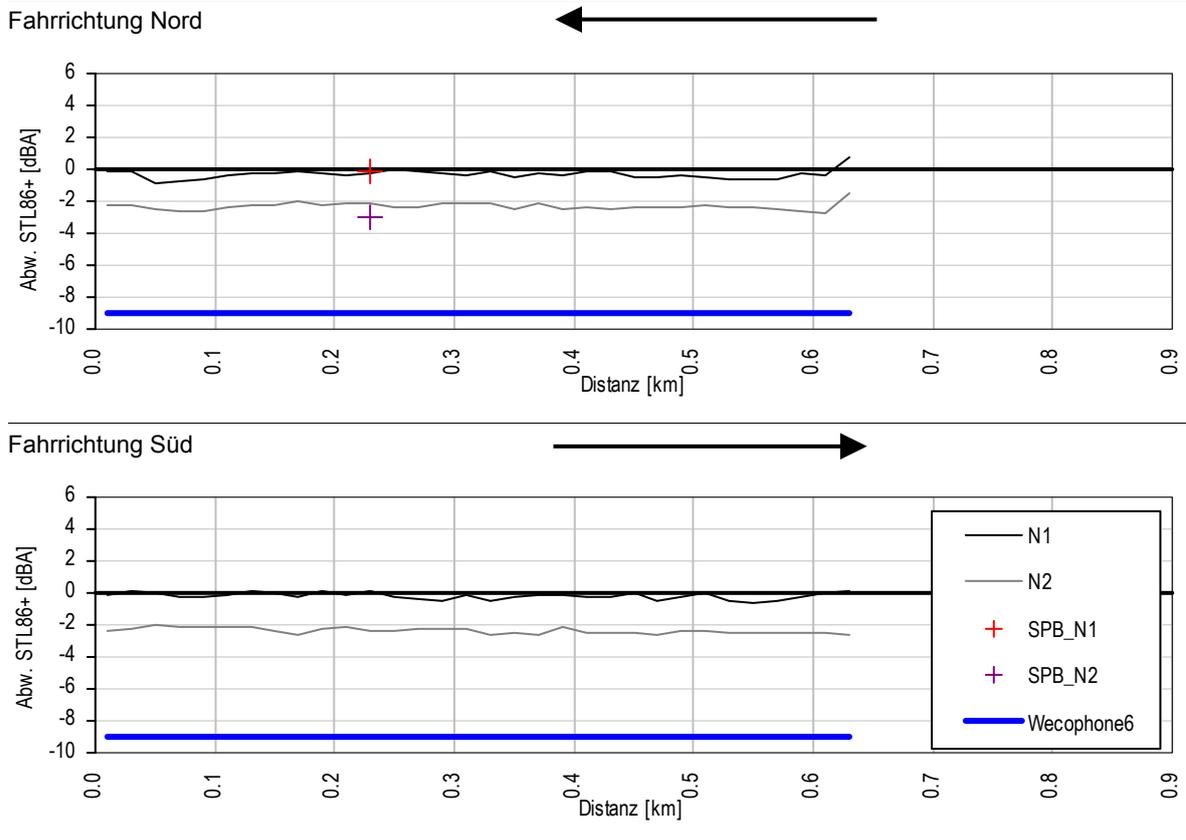


Abb. 16 Grossgurmels



Anhang A2:

Situationsplan, Spektren nur für Personenwagen und Belagsaufnahmen pro Teststrecke

Abb. 17 Kreuzlingen TG / PA 4+8

Situationsplan der Pilotstrecke

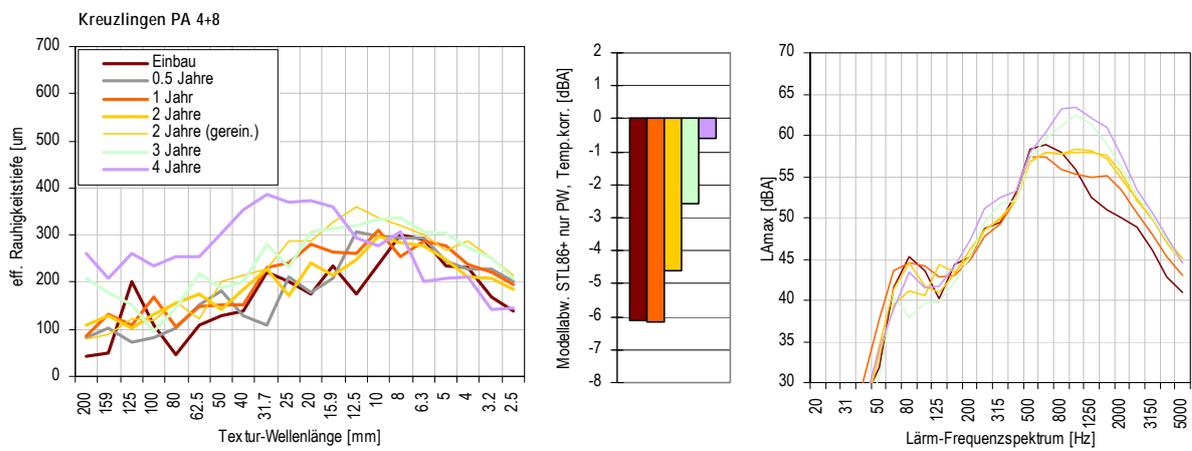


Einbaudatum
August 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
11500

Koordinaten (Swisstopo)
X = 731385
Y = 278521

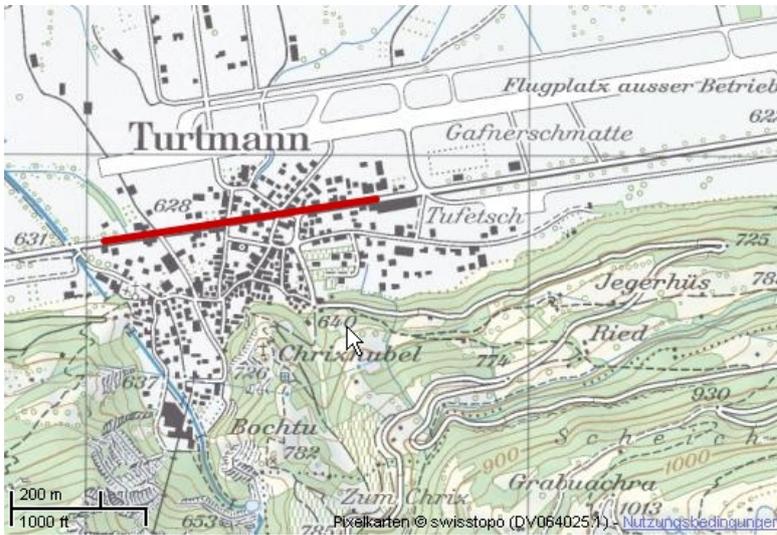
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum (nur Personenwagen)
in Abhängigkeit des Belagsalters



PA 4 (September 2008)

Abb. 18 Turtmann VS / SPA 4 Famsa

Situationsplan der Pilotstrecke



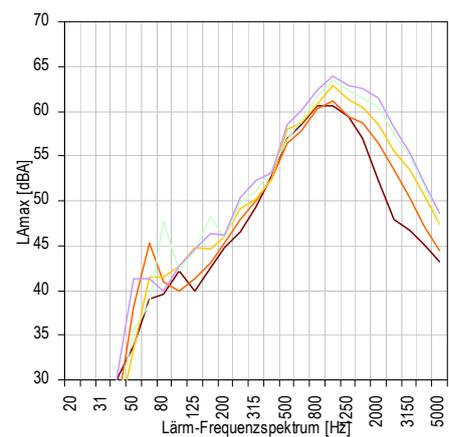
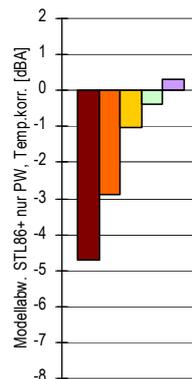
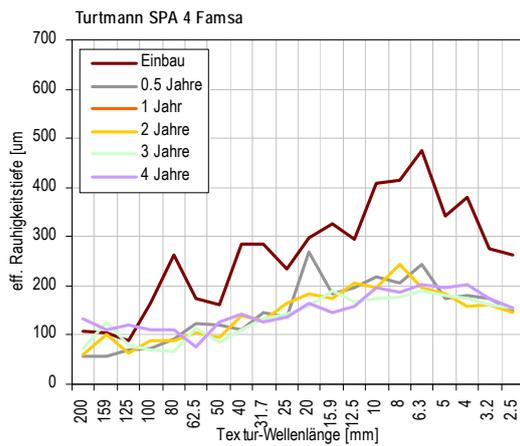
Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
14500

Koordinaten (Swisstopo)
X = 620030
Y = 127778

Fahrbahn
Richtung Brig

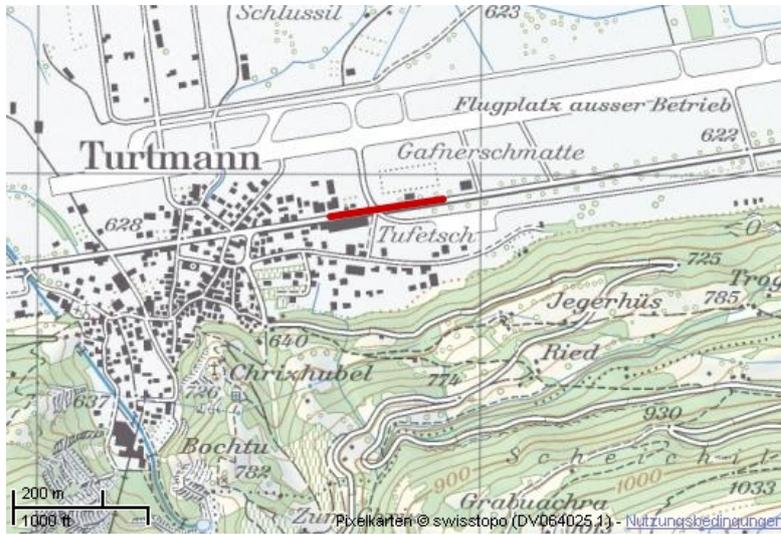
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum (nur Personenwagen)
in Abhängigkeit des Belagsalters



SPA 4 Famsa (September 2008)

Abb. 19 Turtmann VS / AC MR 4 EOS Gummigranulat

Situationsplan der Pilotstrecke



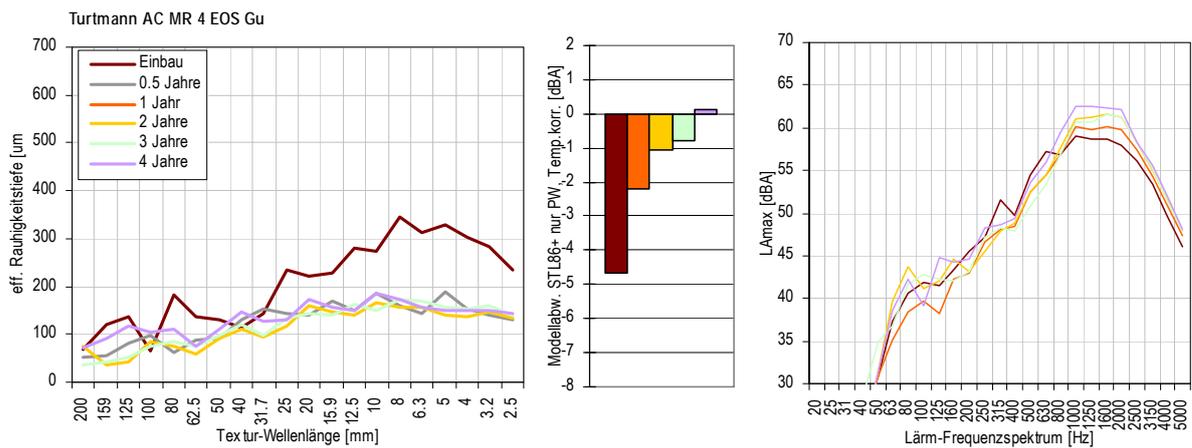
Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
14500

Koordinaten (Swisstopo)
X = 620650
Y = 127903

Fahrbahn
Richtung Brig

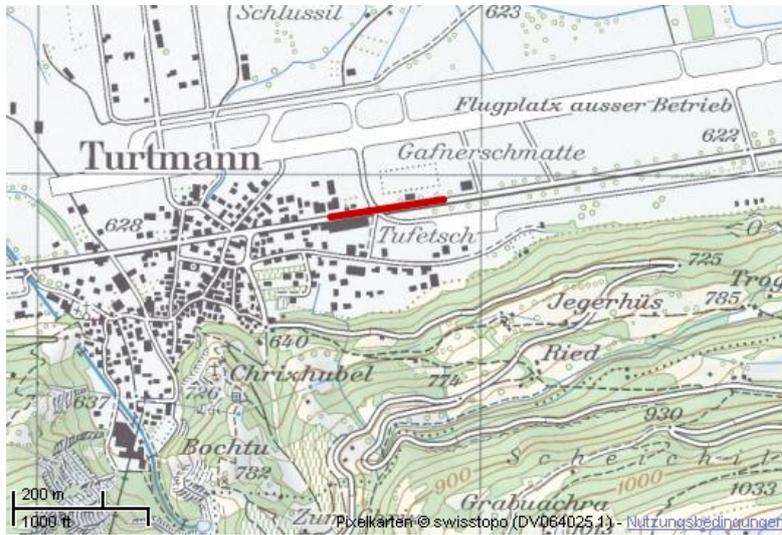
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC MR 4 EOS Gummigranulat
(September 2008)

Abb. 20 Turtmann VS / AC MR 4 EOS

Situationsplan der Pilotstrecke



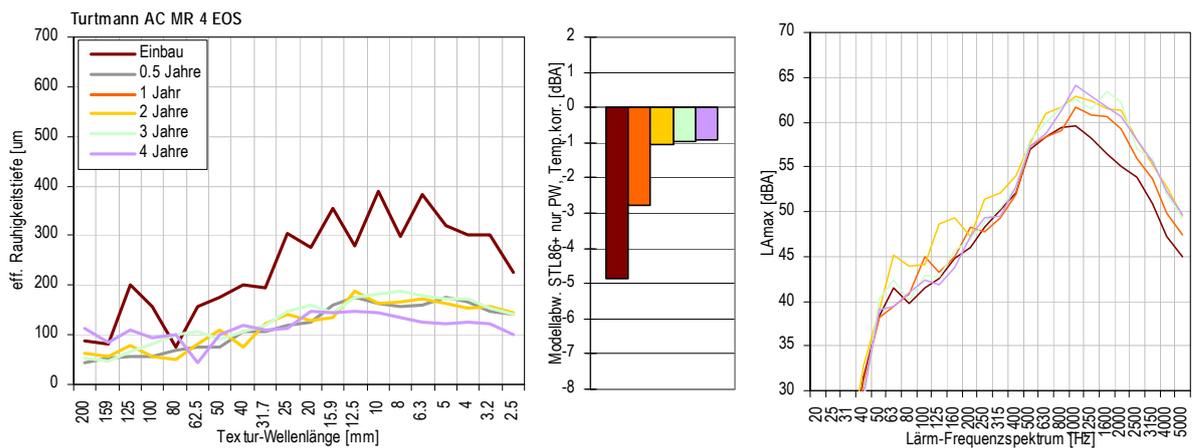
Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
14500

Koordinaten (Swisstopo)
X = 620907
Y = 127935

Fahrbahn
Richtung Sion

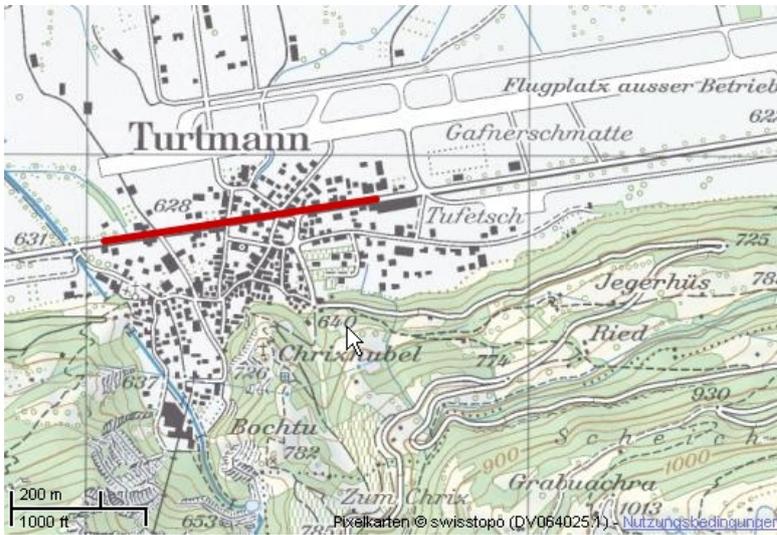
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC MR 4 EOS (September 2008)

Abb. 21 Turtmann VS / AC MR 4 Famsa

Situationsplan der Pilotstrecke



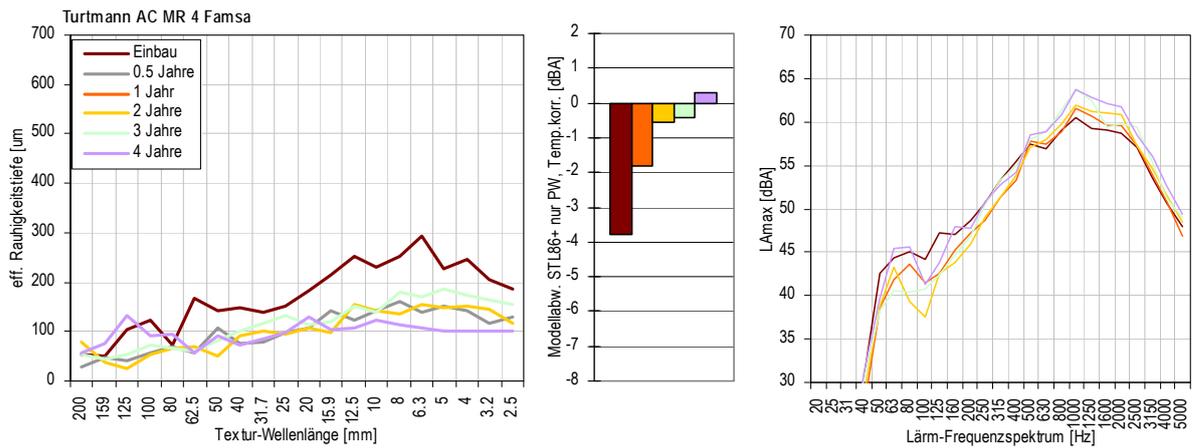
Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
14500

Koordinaten (Swisstopo)
X = 620650
Y = 127872

Fahrbahn
Richtung Sion

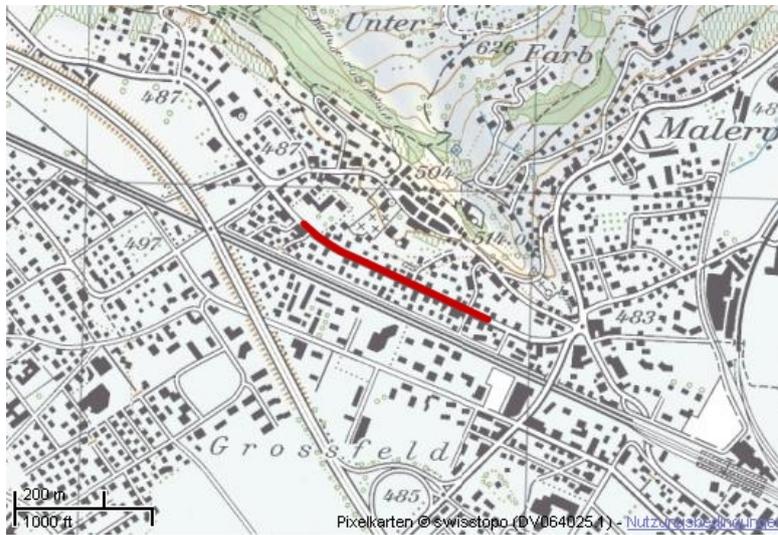
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC MR 4 Famsa (September 2008)

Abb. 22 Sargans SG / AC MR 4 Gasperini

Situationsplan der Pilotstrecke



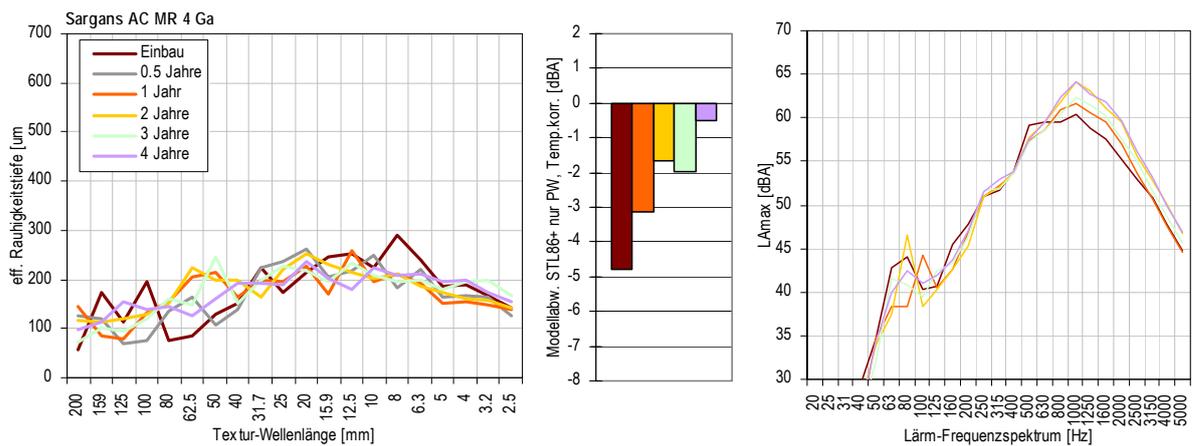
Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
6170

Koordinaten (Swisstopo)
X = 741490
Y = 212890

Fahrbahn
Richtung Sargans

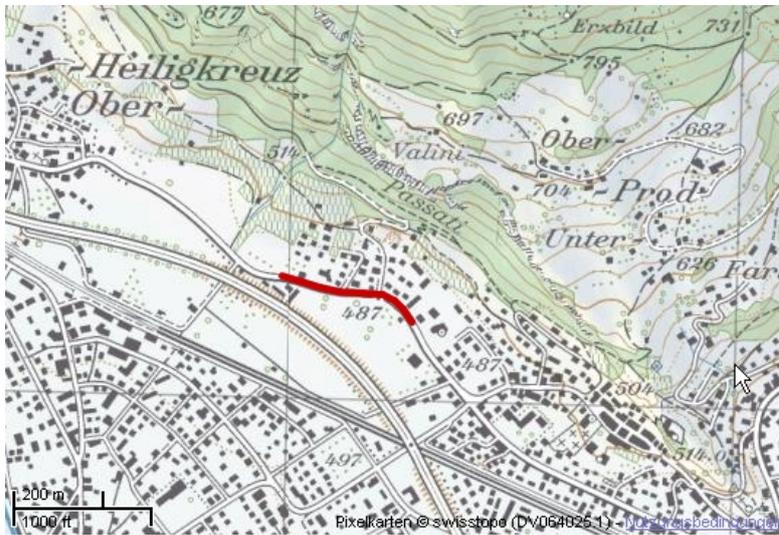
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC MR 4 Gasperini (September 2008)

Abb. 23 Sargans SG / AC MR 8 EOS Gummigranulat

Situationsplan der Pilotstrecke

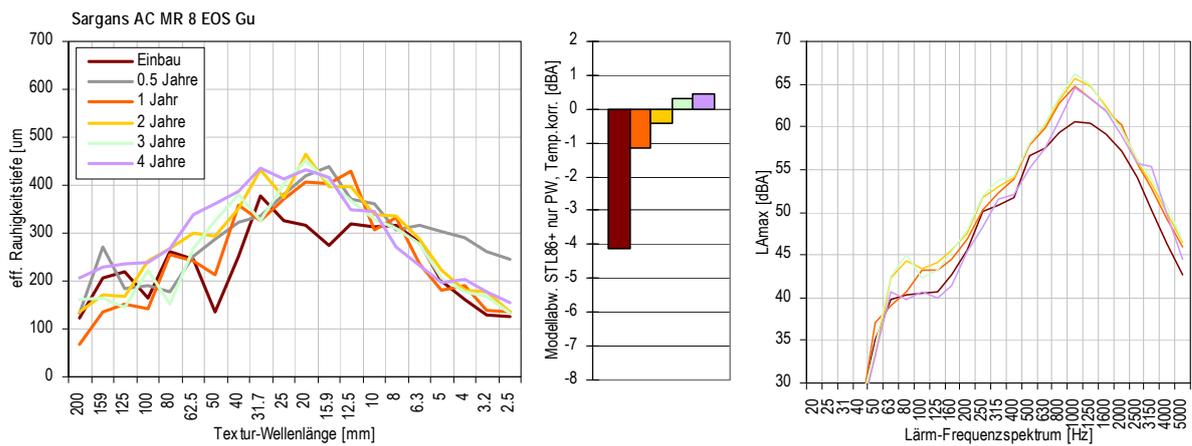


Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
6170

Koordinaten (Swisstopo)
X = 750974
Y = 213248

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC MR 8 EOS Gummigranulat
(September 2008)

Abb. 24 Zuchwil SO / AC MR 8 EOS

Situationsplan der Pilotstrecke

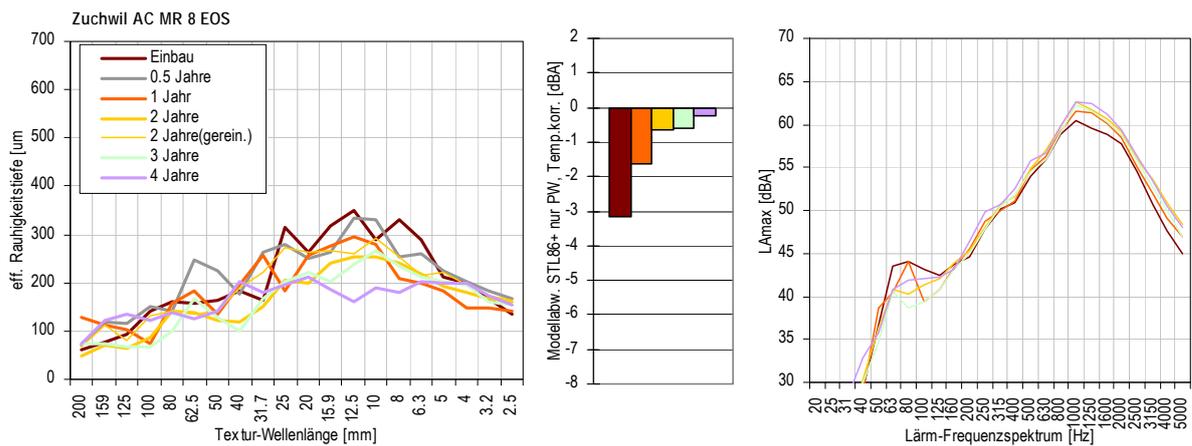


Einbaudatum
August 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
8924

Koordinaten (Swisstopo)
X = 609091
Y = 228020

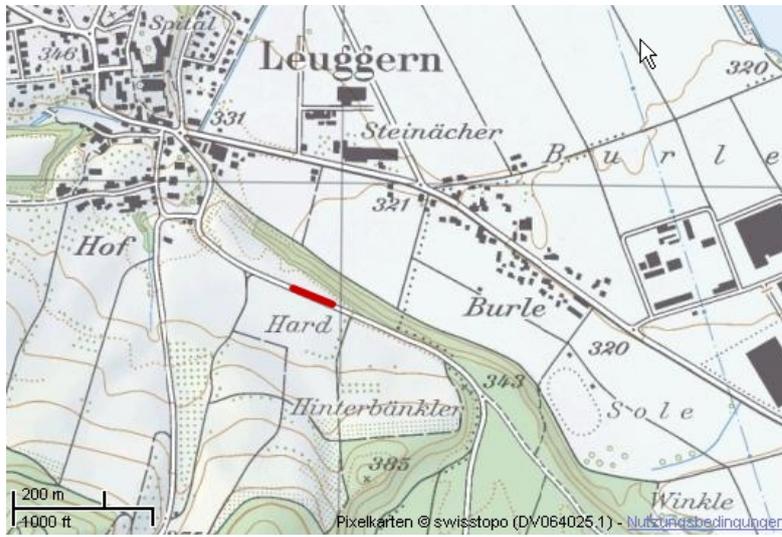
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC MR 8 EOS (August 2008)

Abb. 25 Leuggern AG / PA 8

Situationsplan der Pilotstrecke



Einbaudatum
Mai 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
2000

Koordinaten (Swisstopo)
X = 658979
Y = 269722

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters

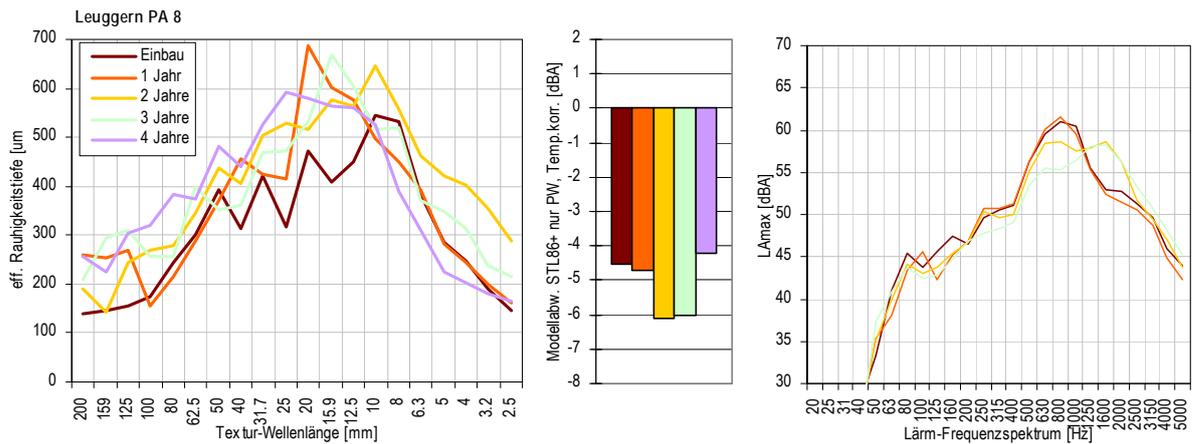
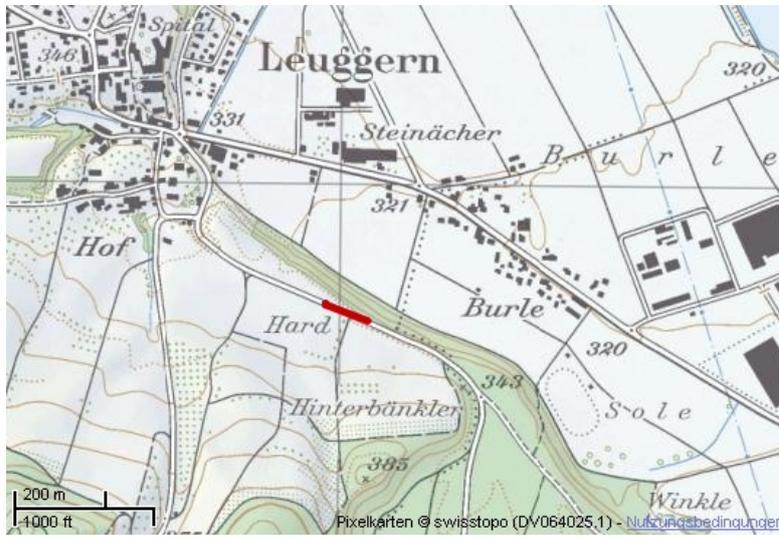


Abb. 26 Leuggern AG / SPA 8

Situationsplan der Pilotstrecke



Einbaudatum
Mai 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
2000

Koordinaten (Swisstopo)
X = 659063
Y = 269692

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters

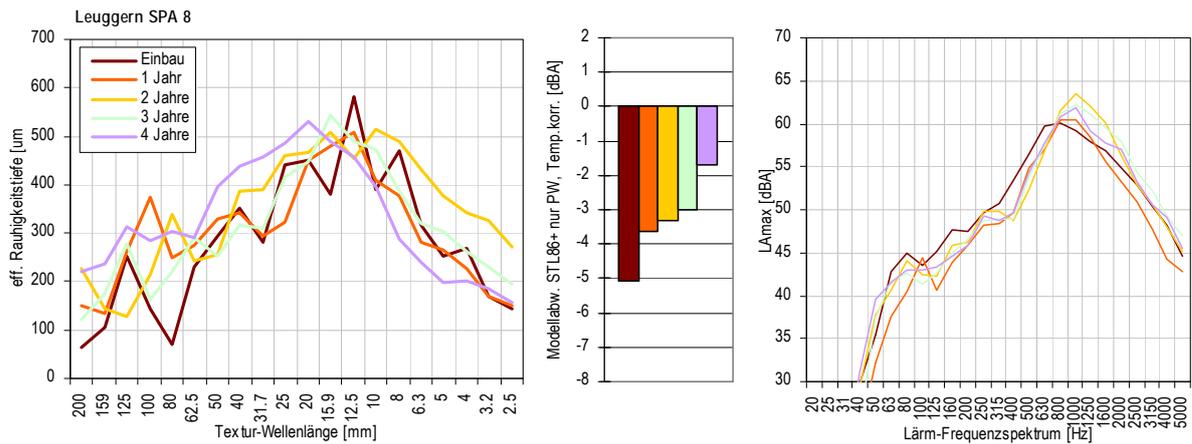


Abb. 27 Leuggern AG / MA 8 Abstreung 2/4

Situationsplan der Pilotstrecke



Einbaudatum
Mai 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
2000

Koordinaten (Swisstopo)
X = 658832
Y = 269783

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters

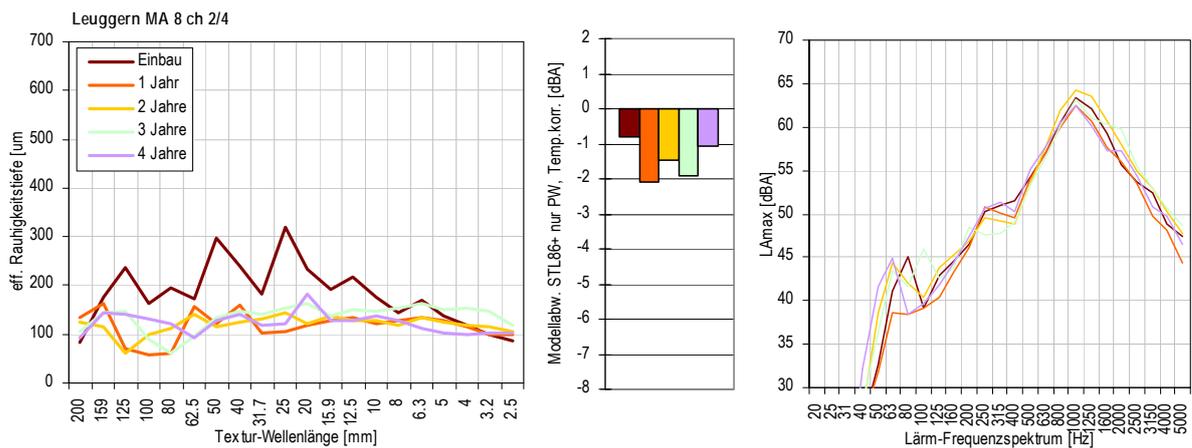
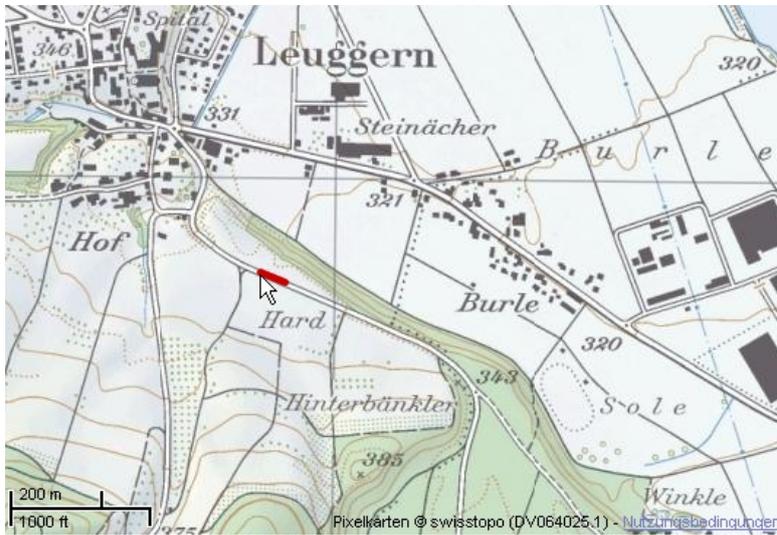


Abb. 28 Leuggern AG / MA 8 Abstreung 3/6

Situationsplan der Pilotstrecke



Einbaudatum
Mai 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
2000

Koordinaten (Swisstopo)
X = 658874
Y = 269752

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters

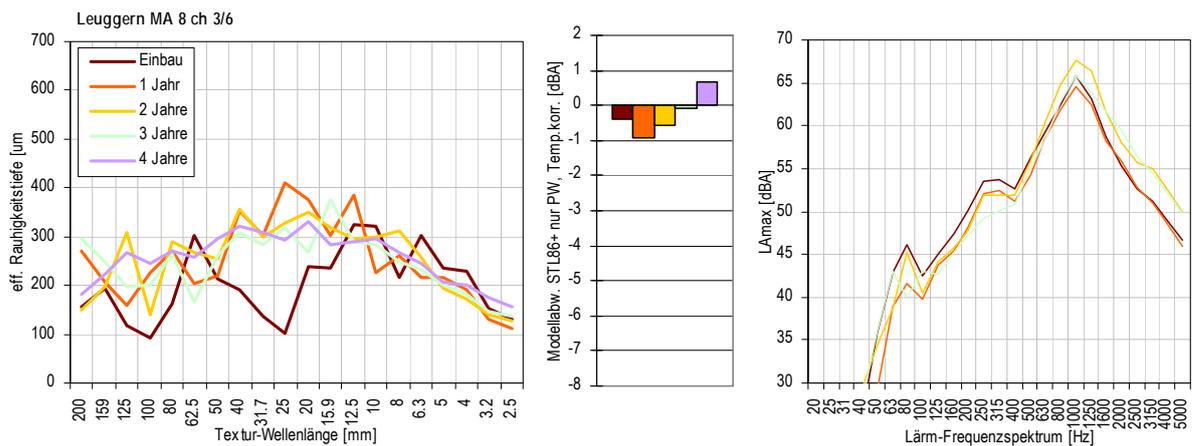
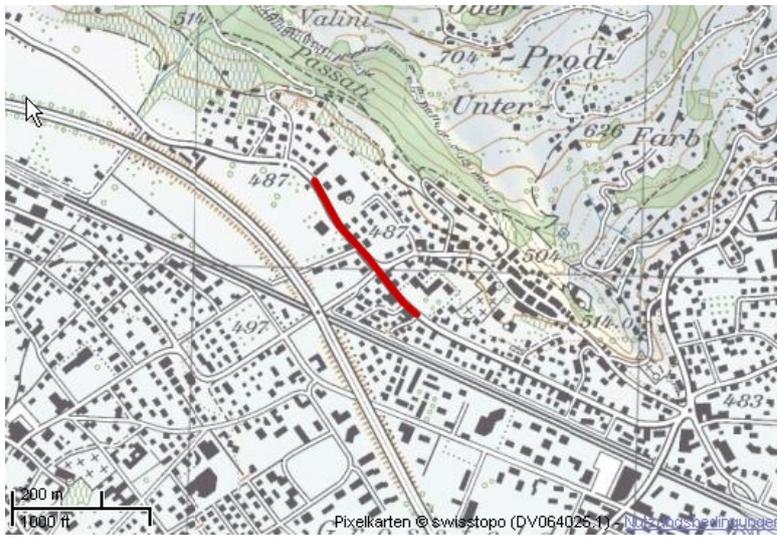


Abb. 29 Sargans SG / AC 11

Situationsplan der Pilotstrecke



Einbaudatum
September 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
6170

Koordinaten (Swisstopo)
X = 751490
Y = 212890

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters

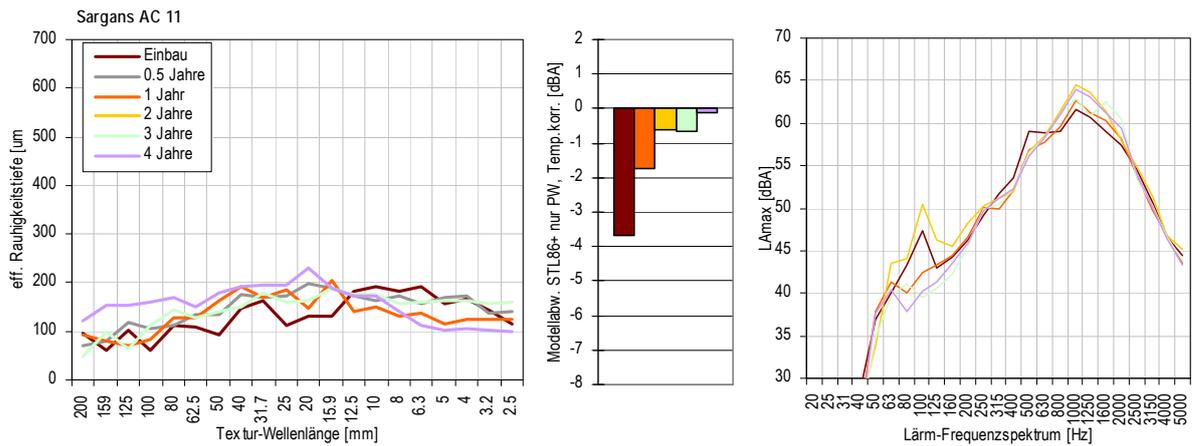


Abb. 30 Sessa TI / AC 11 Leca

Situationsplan der Pilotstrecke

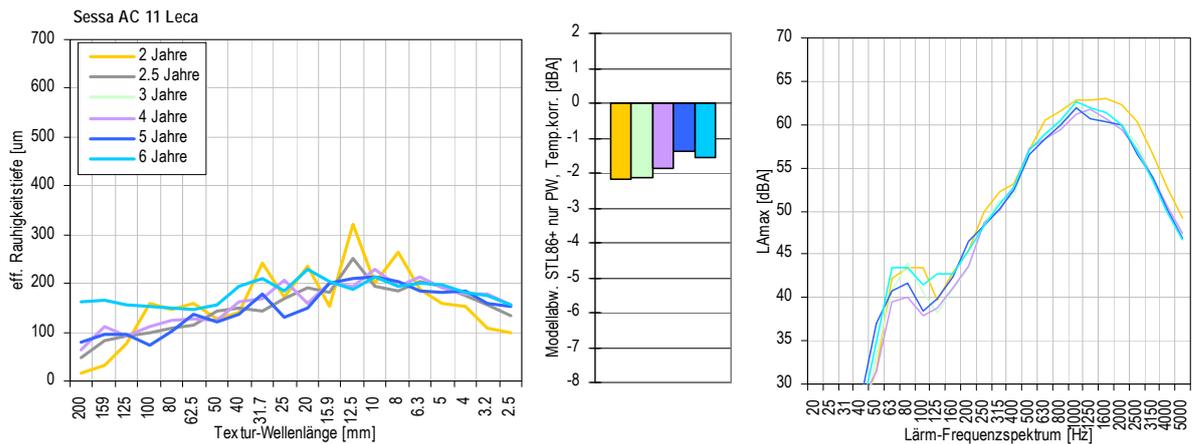


Einbaujahr
2002

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
1086

Koordinaten (Swisstopo)
X = 706433
Y = 95329

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC 11 Leca (September 2008)

Abb. 31 Bellinzona TI / AC 11 Leca

Situationsplan der Pilotstrecke

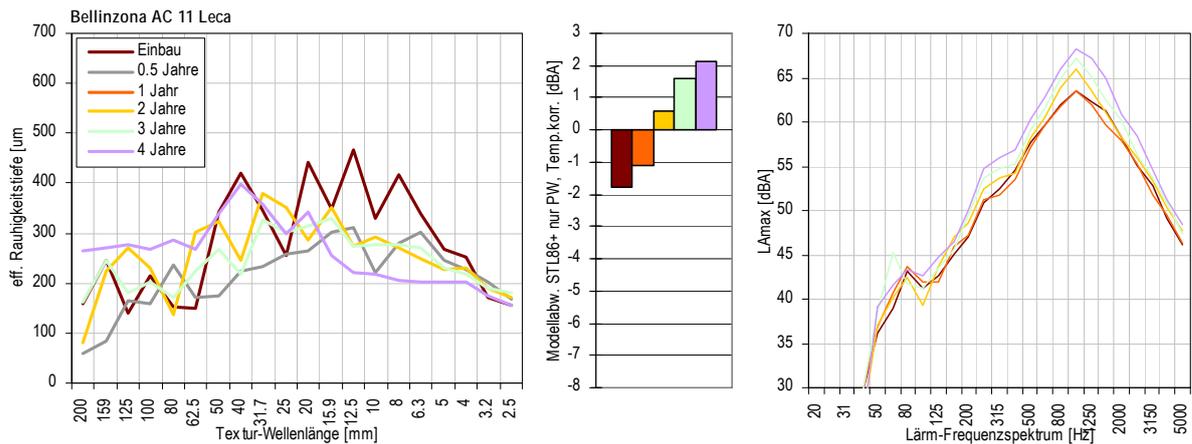


Einbaudatum
Juli 2004

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
19800

Koordinaten (Swisstopo)
X = 723187
Y = 118100

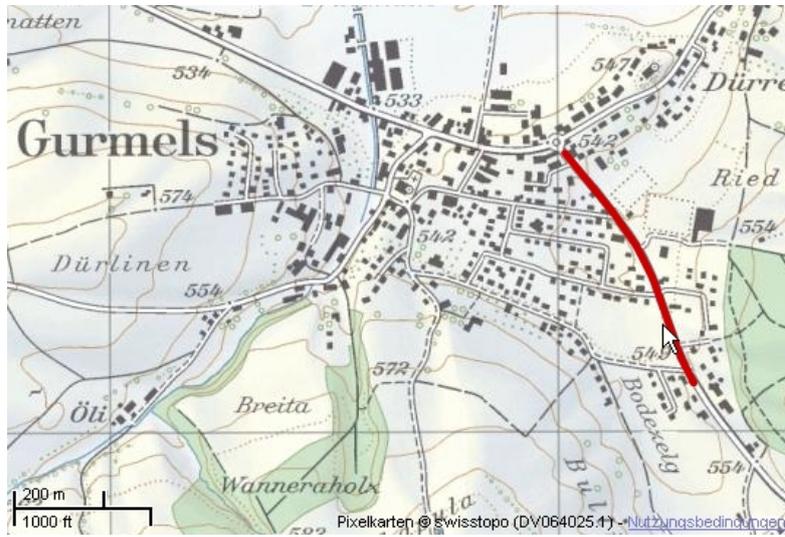
Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters



AC 11 Leca (September 2008)

Abb. 32 Gurmels FR / Wecophone© 6

Situationsplan der Pilotstrecke



Einbaudatum
Juni 2003

Durchschnittlicher täglicher Verkehr
(DTV SN 640 005a)
10400

Koordinaten (Swisstopo)
X = 580000
Y = 193600

Texturspektrum, Lärmreduktion und Lärm-Frequenzspektrum in Abhängigkeit des Belagsalters

