

MÜLLER-BBM
SCHWEIZ AG

JAHRESBERICHT 2013

FORSCHUNGSPAKET LÄRMARME BELÄGE INNERORTS TEILPROJEKT (TP) 3: LANGZEITMONITORING

Projektteam: Grolimund & Partner AG, IMP Bautest AG, Müller-BBM Schweiz AG

I:\A3690_temp\BERICHT\Forschungsbericht\2013\20140331_Jahresbericht2013_FP2lärmarmeStrassenbeläge_TP3Langzeitmonitoring.docx

Bundesamt für Umwelt BAFU
A3690
24. November 2014

GROLIMUND + PARTNER AG
THUNSTRASSE 101A, CH-3006 BERN, SCHWEIZ
info@grolimund-partner.ch

IMP BAUTEST AG
HAUPTSTRASSE 591, CH-4625 OBERBUCHSITEN, SCHWEIZ
info@impbautest.ch

MÜLLER-BBM SCHWEIZ AG
GEWERBESTRASSE 25, CH-4123 ALLSCHWIL, SCHWEIZ
info@muellerbbm.ch

IMPRESSUM

AUFTRAGGEBER

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Lärm und NIS, CH-3003 Bern

Bundesamt für Strassen (ASTRA), CH-3003 Bern

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

AUFTRAGNEHMER

IMP Bautest AG, Grolimund + Partner AG, Müller-BBM Schweiz AG

AUTOREN

- + Bühlmann Erik, Dipl. Phil. Nat. Geograf, Grolimund + Partner AG
- + Bürgisser Philip, Dr. rer. nat., dipl. Erdw, IMP Bautest AG
- + Beckenbauer Thomas, Dr.-Ing., Müller-BBM Schweiz AG
- + Schulze Sebastian, Msc. Climate Sciences, Grolimund + Partner AG
- + Ziegler Toni, Dipl. Natw. ETH, Grolimund + Partner AG
- + Angst Christian, Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH, IMP Bautest AG.

Begleitung BAFU: Dominique Schneuwly

Begleitung ASTRA: Sabine Würmli

Version	Datum	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	12.2.2014	Entwurf	Projektteam
V 2.0	12.3.2014	Entwurf	Projektteam
V 2.1	24.3.2014	Entwurf	Projektteam
V 2.2	31.3.2014	Vorläufige Endversion	Begleitkommission
V 2.3	24.11.2014	Endversion	Begleitkommission

INHALT

0.	AUSGANGSLAGE	4
0.1	Projekthintergrund	4
0.2	Projektorganisation	4
1.	EINLEITUNG	5
1.1	Ziel & Auftrag	5
1.2	Grundlagen	6
1.3	Kategorisierung der SDA Deckschichten	7
1.4	Vorgehen	9
2.	TESTBELÄGE	11
2.1	Übersicht Teststrecken	11
2.2	Mischgutuntersuchungen	13
2.3	Bohrkernuntersuchung	14
2.4	Oberflächeneigenschaften	16
3.	RESULTATE & DISKUSSION	19
3.1	Akustische Wirkung im Neuzustand	19
3.2	Veränderung der Beläge seit Einbau	33
4.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	44
5.	LITERATURVERZEICHNIS	45
	ANHANG A: METHODEN	
1	AKUSTISCHE MESSVERFAHREN	46
2	BELAGSTECHNISCHE MESSVERFAHREN	49
3	ANALYSEN BELAGSAKUSTIK	51

ANHANG B: OBJEKTBEZOGENE BERICHTERSTATTUNG

ANHANG C: MESSDATEN OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

0. AUSGANGSLAGE

0.1 PROJEKTHINTERGRUND

Mit den Forschungsprojekten ASTRA 2004/006-007 und ASTRA 2005/006 wurden im Jahr 2003 umfassende Untersuchungen zum Thema "Lärmarme Beläge im Niedergeschwindigkeitsbereich" gestartet. Sie beinhalteten die Realisierung von Pilotstrecken mit den entsprechenden belagstechnischen und akustischen Prüfungen.

Im Schlussbericht vom 14. Juli 2008 (www.Umwelt-schweiz.ch/div-6002-d) wurden erste Empfehlungen für die praktische Anwendung formuliert. Einschliesslich der im Jahre 2009 durchgeführten Messungen, verfügte man zwischenzeitlich über 5- bis 7-jährige Messreihen, welche erste Schlussfolgerungen bezüglich Langzeitverhalten sowohl in akustischer als in belagstechnischer Hinsicht zulassen.

Die positiven Erkenntnisse der Vorstudien bewogen die Bundesämter ASTRA und BAFU dazu, ein Forschungspaket zum Thema "Lärmarme Beläge innerorts" zu starten und somit Kontinuität in der Behandlung dieser wichtigen Fragestellung zu gewährleisten. Anlässlich einer Direktorenkonferenz vom 26. Juni 2008 wurden die nötigen Vorgaben definiert:

- Mit dem Forschungspaket "Lärmarme Beläge innerorts" soll ein weiterer Entwicklungsschub bei den lärmarmen Belägen lanciert werden.
- Das Forschungspaket basiert auf drei voneinander abhängigen Teilprojekten (TP):
 1. Forschung und Innovation (TP1)
 2. Validierung (Insitu-Überprüfung der Thesen und Laborversuche mittels Teststrecken) (TP2)
 3. Langfristiges Monitoring und langfristige Erfolgskontrolle (TP3)

0.2 PROJEKTORGANISATION

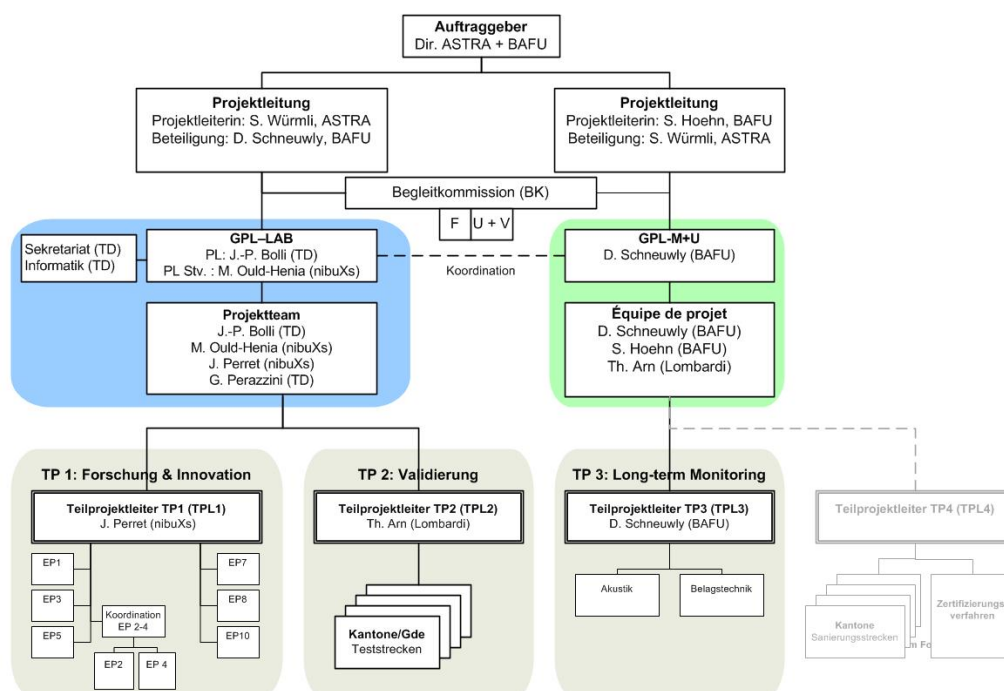


Abbildung 1: Organigramm Gesamtprojekt

1. EINLEITUNG

Die verschiedenen Einflussgrößen lärmarmen Innerortsbeläge an bestehenden und neu eingebauten Testbelägen langfristig zu untersuchen und daraus gesicherte Erkenntnisse für dauerhaft lärmarme Innerortsbeläge zu gewinnen, war das Ziel des von ASTRA und BAFU im Jahr 2003 gemeinsam lancierten Forschungsprojektes. Dieses Forschungsprojekt beinhaltete unter anderem die Realisierung von Pilotstrecken mit den entsprechenden belagstechnischen und akustischen Prüfungen.

Das Hauptproblem lärmarmen Innerortsbeläge ist ihr akustisches Langzeitverhalten: Messungen zeigen, dass Anfangs-Pegelreduktionen von 3 dB(A) und mehr gegenüber einem durchschnittlichen Asphaltbelag (Referenzbelag) durchaus möglich sind. Nach wenigen Jahren verlieren die Beläge aber einen Grossteil ihrer guten akustischen Eigenschaften.

Die Ergebnisse aus den vergangenen Forschungsprojekten belegen, dass weitere Forschungen nötig sind, um lärmarme Innerortsbeläge sowohl akustisch, als auch belagstechnisch dauerhafter zu gestalten.

Aus diesem Grund entschlossen sich die beiden Bundesämter ASTRA und BAFU dazu, ein Forschungspaket "Lärmarme Beläge innerorts" zu finanzieren.

1.1 ZIEL & AUFTRAG

Ziel des Forschungspaketes ist es, einen weiteren Entwicklungsschub im Bereich lärmarmen Belägen innerorts auszulösen, um damit die Akzeptanz derartiger Beläge zu fördern. Im Rahmen des Teilprojektes TP2 wurden Deckschichten mit erhöhtem Hohlraumgehalt (6 bis 22 Vol.-%) eingebaut.

Die Aufgabe des vorliegenden Teilprojektes TP3 ist es, die Deckschichten für den Zeitrahmen 2011 bis 2015 messtechnisch zu begleiten, sowie die Auswirkungen der belagstechnischen Oberflächeneigenschaften auf die Akustik im Quervergleich zu analysieren und zu dokumentieren.

Des Weiteren soll die akustische und belagstechnische Alterung der Beläge im zeitlichen Verlauf mittels Messungen erfasst werden. Die Ursachen bzw. Gründe für den festgestellten akustischen Alterungsverlauf der Beläge sollen unter Bezug der Ergebnisse aus den belagstechnischen Untersuchungen identifiziert werden. Gegebenenfalls sollen einzelne Einflüsse isoliert und quantifiziert werden.

Zusätzlich sollen vier Beläge des ersten Forschungsprojektes weiterhin messtechnisch begleitet werden.

Sämtliche Daten der durchgeführten Messungen wurden in einer Datenbank zusammengeführt, wodurch eine langfristige Verfügbarkeit und Nutzbarkeit der Daten gewährleistet wird.

Der vorliegende Jahresbericht dokumentiert den aktuellen Kenntnisstand des Monitorings für die Teststrecken des Teilprojektes TP2. Eine weitergehend Analyse und Würdigung der Ergebnisse erfolgt später im Abschlussbericht des Forschungspaketes Lärmarme Beläge innerorts, in dem die Ergebnisse aller Teilprojekte zusammengefasst werden.

1.2 GRUNDLAGEN

Per Definition des ASTRA und BAFU ist eine Deckschicht dann lärmarm, wenn sie unmittelbar nach Einbau gegenüber dem Referenz-Belag StL-86+ einen um mindestens 3 dB(A) reduzierten Lärmpegel aufweist und nach der 12 – 15 jährigen Nutzungsdauer eine Pegelminderung von 1 dB(A) aufweist (siehe Abbildung 2).

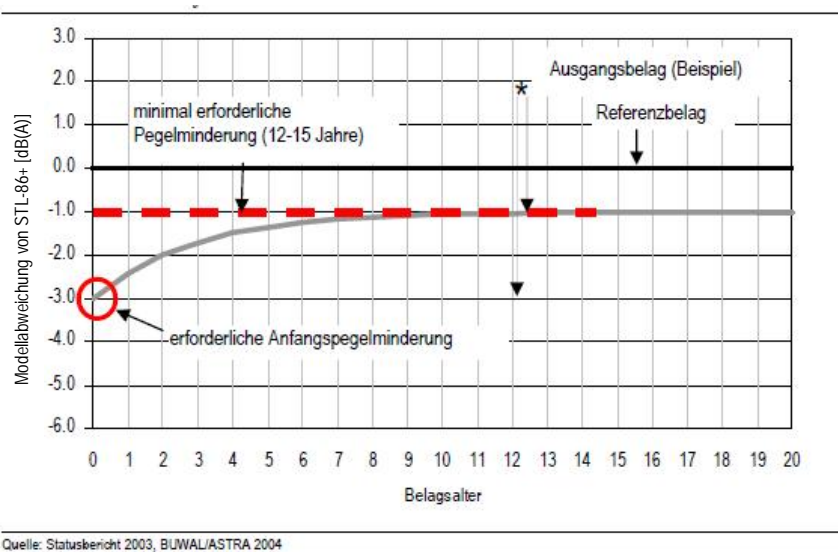


Abbildung 2: Definition des ASTRA und BAFU eines dauerhaften lärmarmen Belages

1.3 KATEGORISIERUNG DER SDA DECKSCHICHTEN

Bei den eingebauten Deckschichten handelt es sich um Mischgutsorten, welche nicht normiert sind. Die Bezeichnung SDA steht für *Semi Dense Asphalt* und ist zusammen mit der Grösstkornangabe als Sammelbegriff für die neue Generation von lärmarmen Belägen zu verstehen [SNR 640 436]. Die im Teilprojekt TP2 gewählten Unterbezeichnungen (A,B,C,D) geben den Hohlraumgehalt am Marshall-Probekörper einer Mischgutprobe (Marshall-Hohlraumgehalt) vor. Die Anforderungen an den Hohlraumgehalt am Bohrkern hingegen sind breit gefasst und überschneiden sich (siehe Abbildung 3). Da für die Beurteilung der lärmreduzierenden Wirkung der zugängliche Hohlraumgehalt der eingebauten Deckschicht massgebend ist, sind die SDA Beläge im Folgenden aufgrund des tatsächlich realisierten Hohlraumgehaltes am Bohrkern klassiert (siehe auch Abschnitt 2.3).

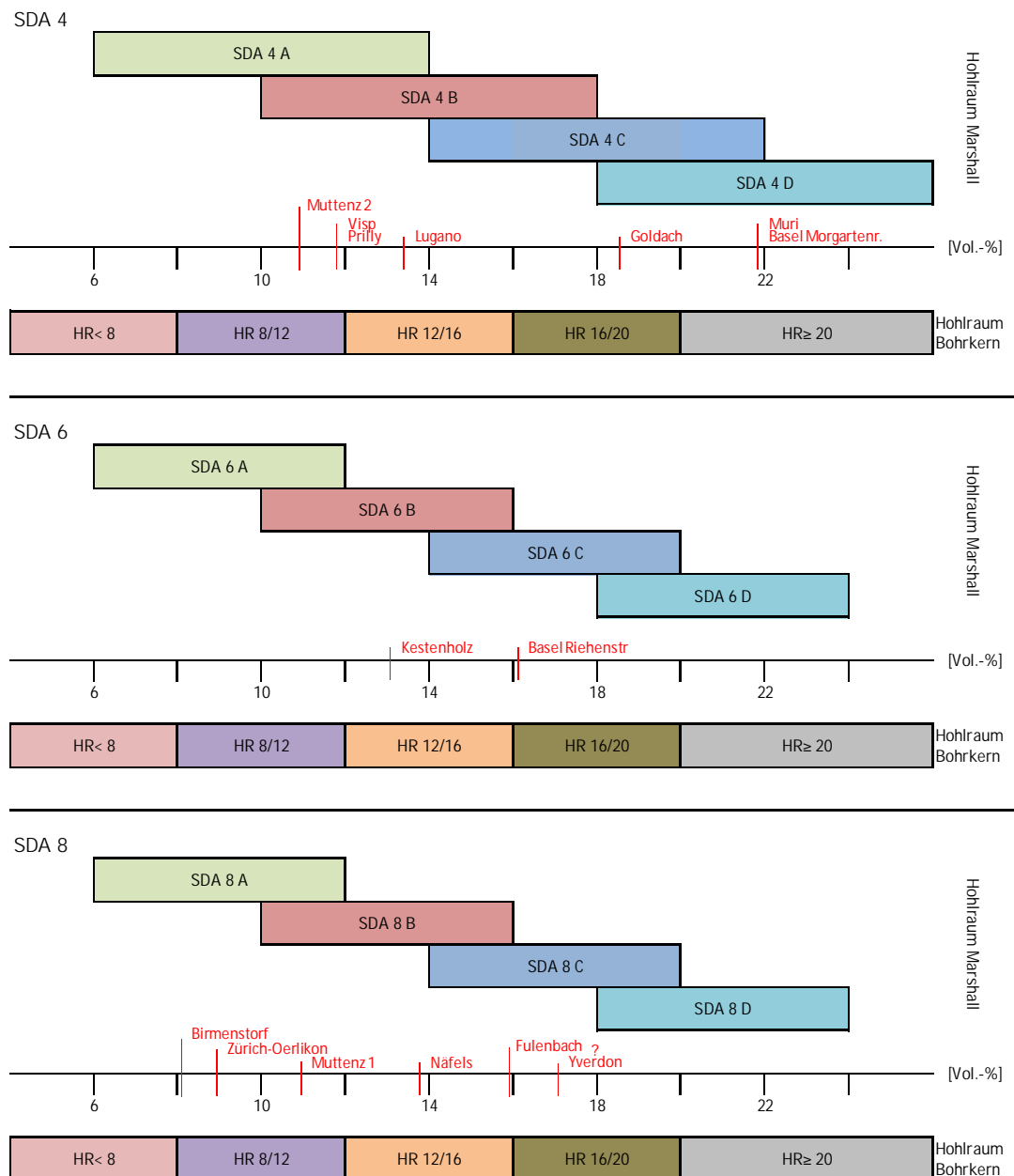


Abbildung 3: Kategorisierung der SDA Deckschichten aufgrund des Hohlraumgehaltes am Bohrern (Mittelwert). Beläge ohne Bohrernuntersuchungen sind gemäss des mittleren Zielwertes der jeweiligen Belagskategorie positioniert und mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

In der untenstehenden Tabelle 1 wird der Bezug zu den verschiedenen Bezeichnungen hergestellt.

Bezeichnung im Bericht HR: Hohlraumgehalts Klasse ¹ [Vol.-%]	Bezeichnung in Teilprojekt TP2 ²	Hohlraumgehalt [Vol.-%] Bohrkern	Verdichtungsgrad ² [%]	Schichtdicke ² [mm]
SDA 4 HR <8	SDA 4 A	<8	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR 8/12	SDA 4 A, SDA 4 B	≥8, <12	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR 12/16	SDA 4 A, SDA 4 B, SDA 4 C	≥12, <16	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR 16/20	SDA 4 B, SDA 4 C, SDA 4 D	≥16, <20	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR >20	SDA 4 C, SDA 4 D	≥20	≥ 97	20 - 35
SDA 6 HR <8	SDA 6 A	<8	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR 8/12	SDA 6 A, SDA 6 B	≥8, <12	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR 12/16	SDA 6 B, SDA 6 C	≥12, <16	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR 16/20	SDA 6 C, SDA 6 D	≥16, <20	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR >20	SDA 6 D	≥20	≥ 98	k.A.
SDA 8 HR <8	SDA 8 A	<8	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR 8/12	SDA 8 A, SDA 8 B	≥8, <12	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR 12/16	SDA 8 B, SDA 8 C	≥12, <16	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR 16/20	SDA 8 C, SDA 8 D	≥16, <20	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR >20	SDA 8 D	≥20	≥ 98	25 - 40

¹ Klasse für den effektiven Hohlraumgehalt Bohrern in [Vol.-%]

² Anforderungen Teilprojekt TP2

Tabelle 1: Nomenklatur und Anforderung an die eingebauten SDA Deckschichten

1.4 VORGEHEN

Im Rahmen des TP3 „Monitoring“ wurden messtechnische Daten nach dem folgenden Programm ermittelt (siehe Tabelle 2)

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

Tabelle 2: Mess- und Untersuchungsprogramm des Forschungspakets Lärmarme Beläge innerorts

Die Messungen wurden gemäss folgenden Normen durchgeführt (siehe Tabelle 3)

Messungen	Menge & Lage	Norm
Akustische Gütemessungen CPX (close proximity)	Menge: Mittelung von mind. 2 Messfahrten pro Fahrspur und Reifen (SRTT und Avon AV4) Lage: ganze Strecke	gemäss Leitfaden Anhang 1c, Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen (Ergänzung - CPX-Messungen), Version: 17.09.2010 und ISO DIS 11819-2; sowie Leitfaden Anhang 1d, Bericht Umrechnungsmodelle CPX – SPB, Erläuterungen zu Anhang 1c (Provisorische Version), Version: 03.03.2011.
Akustische Gütemessungen SPB (statistical pass-by)	Menge: 1 Messung pro Teststrecke Lage: Analysequerschnitt	gemäss ISO 11819-1 und Leitfaden Anhang 1c, Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen, Version: 28.06.2006
Schallabsorptionsmessungen	Menge: Mittelung von 4 Messungen Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Freifeldmessung mittels PU-Verfahren, am Bohrkern mittels Impedanzröhrenverfahren gemäss ISO 10534-2
Wirkungsanalysen (aufgrund SPERoN-Modellierungen)	Menge: je 1 Modellierung mit und ohne Schallabsorption Lage: Analysequerschnitt	Wirkungsanalyse gemäss Bühlmann und Ziegler 2012 SPERoN (Modellierung aufgrund Lasertexturprofile 2m Länge, Luftströmungswiderstand und Schallabsorption)
Längsebenheit	Menge: 1 Messung pro 10 cm Lage: rechte Radspur ganze Teststrecke	Die Messungen wurden gemäss SN 640 520 [1] mittels eines Laser-Profilometer durchgeführt.
Querebenheit	Menge: 1 Messung Lage: Analysequerschnitt	Durch Beurteilung erfolgte gemäss 640 521 c
Wasserdurchlässigkeit	Menge: Mittelung von 5 Messungen Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Die Messungen erfolgten mittels eines Profilschreibers „Planum“ gemäss SN 640 521 Die Wasserdurchlässigkeit wurde gemäss 640 430a ermittelt
Rautiefe	Menge: Mittelung von 4 Messungen Lage: Radspur Analysequerschnitt	Die Rautiefe wurde mittels der Sandfleck-Methode gemäss SN 640 511-1 ermittelt
Lasertextur	Menge: 6 Parallelprofile à 1.2m (Abstand: 2 cm) Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Die Ermittlung der Lasertextur erfolgte gemäss EN ISO 13473-1 und EN ISO 13473-4
Luftströmungswiderstand	Menge: Mittelung von 3 Messungen Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Messung in Anlehnung ISO 9053 und DIN EN 29053
Abriebwiderstand	Menge: Mittelung von Messungen an 3 Prüfkörpern Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Der Abriebwiderstand wurde im modifizierten Micro Deval-Versuch gemäss Merkblatt ASTRA bestimmt.

Tabelle 3: Übersicht der akustischen und belagstechnischen Messungen mit Lage und Menge der durchgeführten Messungen, sowie zugehöriger Norm

2. TESTBELÄGE

2.1 ÜBERSICHT TESTSTRECKEN

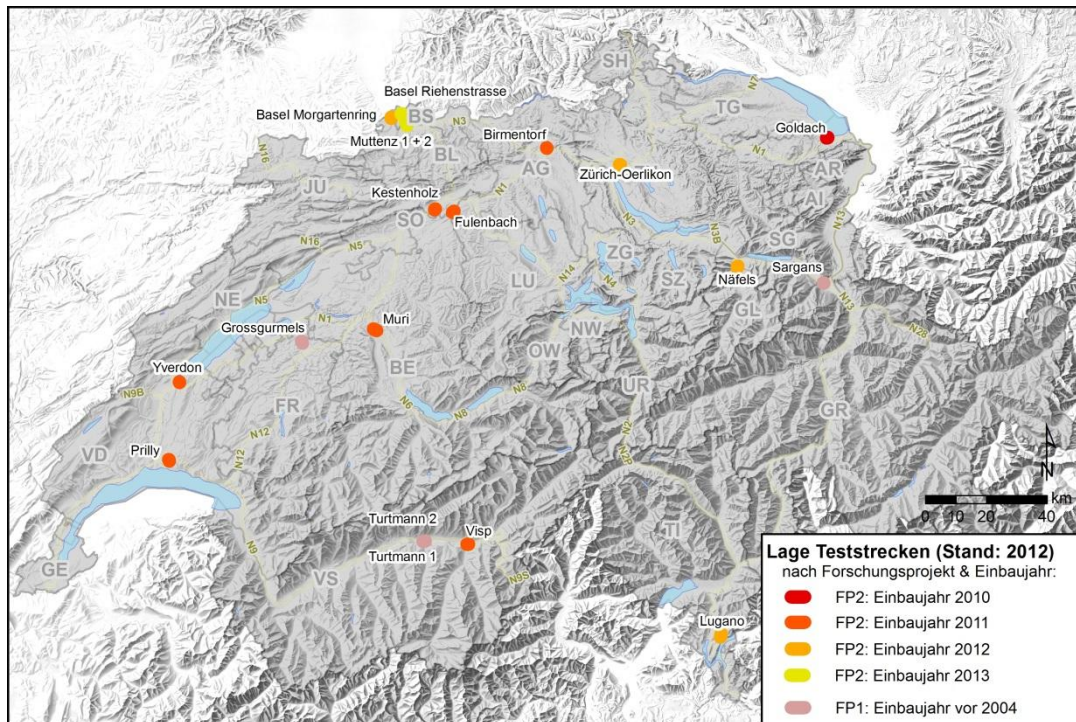


Abbildung 4: Lage der Teststrecken nach Einbaujahr

Tabelle 4: Übersicht der Teststrecken und Beläge. Beläge ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

	Teststrecke	Strasse	DTV	% LKW	Belagstyp, Korngr.& Hohlraumgeh.klasse	Bezeichnung TP2	Einb. jahr	Länge [m]
Forschungspaket LAB	Goldach SG	St. Gallerstrasse	12500		SDA 4 HR 16/20	SDA 4 C	2010	470
	Birmenstorf AG	Bruggerstrasse	11500		SDA 8 HR 8/12	SDA 8 B	2011	330
	Fulenbach SO	Dorfstrasse	7500		SDA 8 HR 16/20	SDA 8 C	2011	750
	Kestenholz SO	Gäustrasse	5500		SDA 6 HR 16/20	SDA 6 B	2011	550
	Muri BE	Thunstrasse	9700		SDA 4 HR >20	SDA 4 C	2011	1200
	Prilly VD	Vallombreuse	5000		SDA 4 HR 8/12	SDA 4 B	2011	500
	Visp VS	Kantonsstrasse	18000		SDA 4 HR 8/12	SDA 4 B	2011	800
	Basel BS 1	Morgartenring	14000		SDA 4 HR >20	SDA 4 D	2012	814
	Lugano TI	via Ciani	20000		SDA 4 HR 12/16	SDA 4 B	2012	2000
	Näfels GL	Unterdorfstrasse	20000		SDA 8 HR 12/16	SDA 8 B	2012	600
Yverdon VD	Pass. sup. Pomy	26000		SDA 8 HR ?	SDA 8 C	2012	170	
Zürich-Oerlikon ZH	Wallisellenstrasse	5000		SDA 8 HR 8/12	SDA 8 B	2012	400	
Basel BS 2	Riehenstrasse	14000	4.5	SDA 6 HR 16/20	SDA 6 C	2013	280	
Muttenz BL 1	Birsfelderstrasse	12200		SDA 8 HR 8/12	SDA 8 A	2013	520	
Muttenz BL 2	Birsfelderstrasse	12200		SDA 4 HR 8/12	SDA 4 A	2013	660	
Projekt 2003	Grossgurmels FR	Hauptstrasse	10400	0.1	Wecophone 0/6		2003	660
	Sargans SG	Zürcherstrasse	6170	4.2	ACMR 0/4 Gasperini		2004	300
	Turtmann VS 1	Hauptstrasse	14500	9	SPA 0/4 FAMSA		2004	550
	Turtmann VS 2	Hauptstrasse	14500	9	ACMR 0/4 FAMSA		2004	550

2.2 MISCHGUTUNTERSUCHUNGEN

Die Ergebnisse der Mischgutuntersuchungen aus dem Teilprojekt TP2 sind in Tabelle 5 dargestellt.

Teststrecke	Bezeichnung im Bericht	Marshall- Hohlraumgehalt [Vol.-%]		Bezeichnung TP2	Bindemittel- gehalt [M.-%]		Siebrückstände [M.-%]		
		Anforderung			IST	Soll*	Füller	2.8	5.6
		IST	TP2						
Basel Morgartenring	SDA 4 HR >20	18.2	18.0 - 22.0	SDA 4 D	5.62	≥ 6	6.2	74.4	3.7
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 16/20	16.1	14.0 - 18.0	SDA 6 C	5.70	≥ 6	8.8	72.9	1.0
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	13.7	10.0 - 14.0	SDA 8 B	5.98	≥ 5.8	6.7	82.1	39.5
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	15.5	14.0 - 18.0	SDA 8 C	5.64	≥ 5.8	6.2	84.5	33.0
Goldach	SDA 4 HR 16/20	17.6	14.0 - 18.0	SDA 4 C	6.02	≥ 6	1.7	80.3	0.4
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	13.1	10.0 - 14.0	SDA 6 B	6.28	≥ 6	8.6	74.6	1.2
Lugano	SDA 4 HR 12/16	13	10.0 - 14.0	SDA 4 B	6.32	≥ 6	k.A	k.A	k.A
Muri	SDA 4 HR >20	18.9	14.0 - 18.0	SDA 4 C	5.46	≥ 6	7.7	68.9	5.6
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12	10.8	6.0 - 10.0	SDA 8 A	6.39	≥ 5.8	8.4	71.9	3.0
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12	10.8	6.0 - 10.0	SDA 4 A	5.89	≥ 6	9.4	60.4	0.3
Näfels	SDA 8 HR 12/16	12.5	10.0 - 14.0	SDA 8 B	6.19	≥ 5.8	5.7	79.3	33.3
Prilly	SDA 4 HR 8/12	9.9	10.0 - 14.0	SDA 4 B	6.67	≥ 6	8.7	66.1	0.0
Visp	SDA 4 HR 8/12	12.6	10.0 - 14.0	SDA 4 B	6.35	≥ 6	7.6	70.6	0.1
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR ?	k.A.	14.0 - 18.0	SDA 8 C	5.98	≥ 5.8	k.A	k.A	k.A
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	8.9	10.0 - 14.0	SDA 8 B	5.76	≥ 5.8	8.0	78.0	34.0

*Richtwerte für den dosierten Bindemittelgehalt B_{min} aus der SR VSS640436

Tabelle 5: Ergebnisse und Sollwerte Mischgutuntersuchungen TP2. Beläge ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltssklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Prüfung auf Erfüllung der Anforderungen:

- + Muri, SDA 4 C: Der Hohlraumgehalt Marshall liegt mit 18.9 Vol.-% oberhalb des Sollwertbereiches von 14.0 – 18.0 Vol.-%.
- + MuttENZ 1 (Birsfelderstrasse), SDA 8 A: Der Hohlraumgehalt Marshall liegt mit 10.8 Vol.-% oberhalb des Sollwertbereiches von 6.0 - 10 Vol.-%.
- + MuttENZ 2 (Birsfelderstrasse), SDA 4 A: Der Hohlraumgehalt Marshall liegt mit 10.8 Vol.-% überhalb des Sollwertbereiches von 6.0 - 10.0 Vol.-%.
- + Zürich-Oerlikon, SDA 8 B: Der Hohlraumgehalt Marshall liegt mit 8.9 Vol.-% unterhalb des Sollwertbereiches von 10.0 - 14.0 Vol.-%
- + Von den insgesamt 15 Teststrecken erfüllen deren 4 die Anforderungen an den Hohlraumgehalt nicht (bei der Teststrecke Yverdon-les-Bains fehlen die Angaben). Somit erfüllen 10 von 15 Strecken nachweislich die gestellten Anforderungen.

Die Anforderungen an den Bindemittelgehalt werden lediglich von 10 der 15 Teststrecken erfüllt. Basel Morgartenring, Basel Riehenstrasse, Fulenbach, Muri, und MuttENZ 2 bleiben bis zu 0.5 M.-% unterhalb des Sollwerts für den Bindemittelgehalt.

2.3 BOHRKERNUNTERSUCHUNG

Die Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen aus dem Teilprojekt TP2 sind in Tabelle 6 dargestellt.

Teststrecke	Bezeichnung im Bericht	Anzahl Bohr- kerne	Hohlraumgehalt [Vol.-%]		Verdichtungsgrad [%]		Schichtdicke [mm]	
			MW	Sollw.	MW	Sollw.	MW	Sollw.
Basel Morgartenr.	SDA 4 HR >20	8	21.8	18 - 26	100.3	≥ 97.0	39	35
Basel Riehenstr.	SDA 6 HR 16/20	6	16.1	14 - 20	99.2	≥ 98.0	41	40
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	2	8.1	10 - 16	102.6	≥ 98.0	37	35
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	4	15.9	14 - 20	99.5	≥ 98.0	42	42
Goldach	SDA 4 HR 16/20	8	18.5	14 - 24	98.9	≥ 97.0	20	25
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	4	13.1	10 - 16	98	≥ 98.0	32	30
Lugano	SDA 4 HR 12/16	19	13.5	10 - 18	99.4	≥ 97.0	34	30
Muri	SDA 4 HR >20	14	21.8	14 - 22	97.2	≥ 97.0	25	30
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12	8	10.8	6 - 12	96.9	≥ 98.0	34	30
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12	8	10.8	6 - 12	97.1	≥ 97.0	31	30
Näfels	SDA 8 HR 12/16	8	13.7	10 - 16	98.9	≥ 98.0	32	35
Prilly	SDA 4 HR 8/12	16	11.7	10 - 18	98.6	≥ 97.0	37	30
Visp	SDA 4 HR 8/12	6	11.7	10 - 18	100.3	≥ 97.0	29	30
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR ?	k.A.	k.A.	14 - 20	k.A.	≥ 98.0	k.A.	40
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	6	8.8	10 - 16	100.2	≥ 98.0	34	30

Tabelle 6: Ergebnisse und Sollwerte Bohrkernuntersuchungen TP2. Beläge ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltssklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Erfüllung der Anforderungen TP2:

Hohlraumgehalt (Bohrkern)

- + Zürich-Oerlikon und Birmenstorf: Hohlraumgehalt unterhalb des Sollwertbereiches
- + Andere Strecken: Hohlraumgehalte erfüllen die Anforderungen

Verdichtungsgrad

- + MuttENZ 1: Mit 96.9 % liegt Verdichtungsgrad um 1.1 % unterhalb des Sollwerts
- + Andere Strecken: Verdichtungsgrade erfüllen die Anforderungen

Schichtdicke

- + Zur Beurteilung der mittleren Schichtdicke, wurde unter der Berücksichtigung der dünnen Schichten eine Toleranz von $\pm 10\%$ vom Sollwert angenommen. Die mittlere Schichtdicke der Strecken in Lugano, MuttENZ 1, Prilly, und Zürich-Oerlikon liegen oberhalb der tolerierbaren Abweichungen (zu dick), bei den Strecken Muri und Goldach unterhalb (zu dünn).

Akustische Anforderungen an die Schichtdicke:

- + Eine optimale lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption bedingt wesentliche Schallabsorptionseigenschaften im mittleren Frequenzbereich (800 bis 1250 Hz), in welchem bei Reifen-Fahrbahn-Geräuschen am meisten Schallenergie entsteht. Wesentliche Schallabsorptionseigenschaften im mittleren Frequenzbereich werden gemäss Sandberg und Ejsmont (2002) bei ausreichendem Hohlraumgehalt in der Regel erst ab Schichtdicken von 30 mm und mehr erreicht.

Kommentare zu den Belagsbezeichnungen:

- + Aus den Ergebnissen der Bohrkernuntersuchungen geht hervor, dass die gewählte Bezeichnung eines eingebauten Belages anhand des Grösstkorns und des tatsächlichen Hohlraumgehaltes für vergleichende Untersuchungen sinnvoll ist. So würde man mit der Klassierung in die Kategorien A, B, C, D die Deckschichten von Birmenstorf mit einem Hohlraumgehalt von 8.1 Vol.-% und die Deckschicht von Näfels (13.7 Vol.-%) der gleichen Klasse "B" zuordnen, obwohl die Differenz von 5.6 Vol.-% akustisch relevant ist. Muri (21.8 Vol.-%) und Basel (21.8 Vol.-%) hingegen sind, trotz identischem Hohlraumgehalt, verschiedenen Kategorien (Muri SDA 4C und Basel Morgartenring SDA 4D) zugeordnet.
- + Zur näheren Bezeichnung sind die SDA Beläge im vorliegenden Bericht aufgrund des tatsächlich realisierten Hohlraumgehaltes am Bohrkern aus den eingebauten Deckschichten klassiert (siehe Abschnitt 1.3).

Kommentare zu den Bohrkernuntersuchungen:

- + Bei fast allen Strecken wurde der in TP2 minimal geforderte Verdichtungsgrad von 97 % erreicht. Hierzu ist zu bemerken, dass in den SN-Normen nur bei Deckschichten für leichten Verkehr ein mittlerer Verdichtungsgrad von ≥ 97 % gefordert wird, bei höher belasteten Strecken von ≥ 98 %. Einzig die Deckschichten in Muri (97.2%) und Muttenz 1 (96.9 %) erfüllen die Anforderungen (≥ 98 %) nicht.
- + Der Verdichtungsgrad der Strecke "Birmenstorf" liegt mit 102.6 % sehr hoch. Denkbar ist ein Zusammenhang mit der ebenfalls relativ grossen Schichtdicke von 37 mm. Der angegebene Mittelwert in Birmenstorf beruht in diesem Fall leider nur auf 2 Einzelwerten, was für die Erhebung eines zuverlässigen Wertes zu wenig ist. Alle Hohlraumgehalte – mit Ausnahme von Zürich-Oerlikon und Birmenstorf – liegen innerhalb der festgelegten Anforderungen. In Zürich-Oerlikon lag bereits der Hohlraumgehalt des Mischgutes zu tief (8.9 Vol.-%), während in Birmenstorf der auffallend hohe Verdichtungsgrad zu den tiefen Werten im Hohlraumgehalt geführt hat.
- + Zum Beurteilen des Mittelwertes der Schichtdicke wird üblicherweise eine Toleranz von ± 5 % angenommen. Erfüllen die Bohrkern (=Stichprobe) diese Anforderungen nicht, dann wird die mittlere Schichtdicke aus dem Mischgutverbrauch berechnet. In Anbetracht der dünnen Schichten schlagen wir im vorliegenden Fall eine Toleranz von ± 10 % vor. Bei 4 Strecken (Lugano, Muttenz 1, Prilly, Zürich- Oerlikon) liegen die Schichtdicken oberhalb der Anforderungen, bei 2 Strecken (Muri, Goldach) unterhalb.

2.4 OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

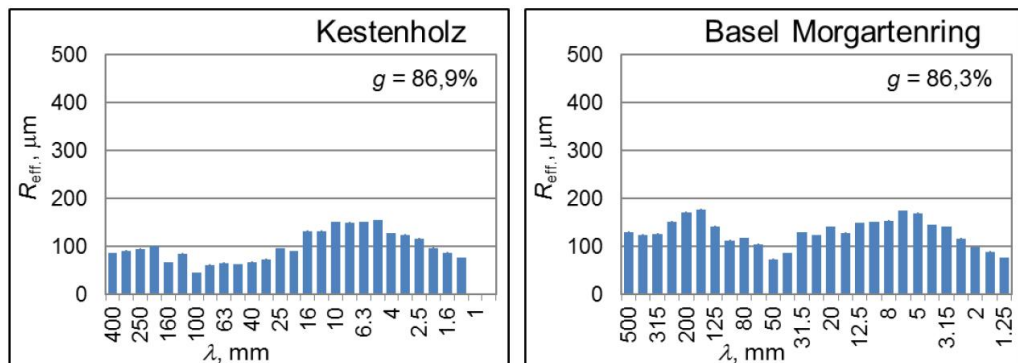
In Tabelle 7 sind die Oberflächeneigenschaften der Testbeläge bezüglich Oberflächentextur und Luftströmungswiderstand zusammengefasst.

Teststrecke	Belagstyp	Einbau	Rautiefe [mm]	Amax [μm]	$\lambda(\text{Amax})$ [mm]	Schallabsorption $MW_{500\text{Hz}}^{2000\text{Hz}}$ [Hz]	Luftströmungsw. R_s^* [Pa*s/m]
Basel Morgartenring	SDA 4 HR >20	2012	0.74	177.4	160.0	0.254	4137
Basel Riehenstr.	SDA 6 HR 16/20	2013	0.60	148	8.0	0.168	10298
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	2011	0.68	193.7	10.0	0.110	25005
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	2011	0.87	229.5	10.0	0.245	3136
Goldach	SDA 4 HR 16/20	2010	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	2011	0.59	154.4	5.0	0.148	12182
Lugano	SDA 4 HR 12/16	2012	0.54	164.6	6.3	0.133	32873
Muri	SDA 4 HR >20	2011	0.48	150.1	6.3	0.226	6531
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12	2013	0.72	194	10.0	0.069	6564
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12	2013	0.46	73	6.3	0.060	113445
Näfels	SDA 8 HR 12/16	2012	0.78	202.2	12.5	0.038	29803
Prilly	SDA 4 HR 8/12	2011	0.44	143.1	6.3	0.377	86540
Visp	SDA 4 HR 8/12	2011	0.55	135.9	5.0	k.A.	28289
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR ?	2012	0.94	273.3	10.0	0.081	5199
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	2012	0.73	252.3	10.0	0.018	43604

Tabelle 7: Oberflächentextur, mittlerer Schallabsorptionsgrad zwischen 500 und 2000 Hz und Luftströmungswiderstand im Neuzustand. In Goldach und Visp wurden im Neuzustand z.T. keine entsprechenden Messungen durchgeführt. Beläge ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Kommentar:

- + $\lambda(\text{Amax})$: Als akustisch günstig gilt ein Wert zwischen 4 mm und 16 mm. Der Grösstkorn-durchmesser bestimmt wesentlich die Lage des Maximums im Wellenlängenspektrum der Textur. Mit Grösstkorndurchmessern zwischen 4 mm und 8 mm ist das Maximum im hier festgestellten Wellenlängenbereich von 5.0 mm bis 12.5 mm zu erwarten. Einzige Ausnahmen stellen die Beläge in Kestenholz und auf dem Morgartenring in Basel dar. Bei einem Grösstkorndurchmesser von 6 mm (Kestenholz) ist nicht davon auszugehen, dass das Maximum bei den hier festgestellten 5.0 mm liegt, sondern eher bei 6.3 mm bis 10.0 mm.



Wie die Grafik zeigt, ist das spektrale Maximum bei dieser Textur jedoch untypisch breit, was die Angabe einer Wellenlänge im Maximum unsicher macht. Das breite Maximum weist darauf hin, dass viele Rauigkeitswellenlängen gleichmässig verteilt sind und dadurch eine vergleichsweise feinraue Textur mit wenig Hub in einer dichten Abfolge von Vertiefungen und Rauigkeitsspitzen bilden. Bautechnisch bedeutet dies, dass das Bindemittel zwischen der groben Gesteinskörnung gleichmässig an der Oberfläche ansteht und letztere gleichmässig verteilt ist. Dies führt per se zu vielen Kontaktpunkten zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche und damit

zu tendenziell tiefen Rollgeräuschpegeln. Für die Textur auf dem Morgartenring in Basel ergibt sich das spektrale Maximum bei einer untypisch grossen Wellenlänge von 160 mm. Wie nachfolgende Abbildung zeigt, hängt dies mit einem zweiten langwelligen Maximum im Texturspektrum zusammen, das zu einer an der Messstelle unebeneren Fahrbahn führt, akustisch jedoch nicht relevant ist. Das zweite Maximum bei einer Wellenlänge von 6.3 mm erfüllt die Erwartungen.

- + Gestaltfaktor g: Ausgehend von einem gegebenen Rauigkeitsprofil wird die anteilige Länge, über die ein in die Fahrbahnoberflächentextur eindringender Reifen mit dem Rauigkeitsprofil in Kontakt ist, in Abhängigkeit von der Eindringtiefe ermittelt. Der Gestaltfaktor entspricht dem Verhältnis der anteiligen Länge zur Gesamtlänge des Rauigkeitsprofils bei der halben der maximal möglichen Eindringtiefe. Der Gestaltfaktor ist ein Mass, das zur Unterscheidung von konkaven und konvexen Oberflächentexturen herangezogen wird. Akustisch günstige konkave Texturen tragen durch ihre plateauartige Struktur zur Verminderung der Schwingungsanregung des Reifens bei und weisen Gestaltfaktoren von deutlich mehr als 60 % auf. SDA Beläge weisen solche Texturen auf. Akustisch ungünstige Texturen ("Berge mit Tälern") mit konvexer Gestalt weisen Gestaltfaktoren von weniger als 60 % auf und regen den Reifen stärker zu Schwingungen an. Alle hier eingebauten Beläge weisen Gestaltfaktoren von weit über 60% auf und können damit bezüglich der Texturgestalt als akustisch günstig eingestuft werden.
- + Luftströmungswiderstand R_s : Der Luftströmungswiderstand, wie er hier gemessen wird, enthält grundsätzlich einen texturinduzierten und einen hohlrauminduzierten Anteil. Der texturinduzierte Strömungswiderstand ist ein Mass dafür, wie leicht oder wie schwer die im Reifen-Fahrbahn-Kontakt eingeschlossene Luft durch die Textur der Fahrbahnoberfläche hindurch entweichen kann. Der hohlrauminduzierte Strömungswiderstand hingegen ist ein Mass für den Widerstand, der dem in die Hohlräume einer hohlraumreichen Deckschicht hinein entspannte Luft entgegengesetzt ist. Niedrige hohlrauminduzierte Strömungswiderstände sind akustisch vorteilhaft, wogegen niedrige texturinduzierte Strömungswiderstände zu höheren Rollgeräuschpegeln führen. Die beiden Strömungswiderstände können mit dem hier verwendeten Messverfahren jedoch nicht getrennt erfasst werden. Die vergleichsweise niedrigen Strömungswiderstände auf den Belägen in Basel Morgartenring, Fulenbach und Muri hängen mit Hohlraumgehalten von 11 bis 22 Vol.-% zusammen, was in Verbindung mit den Schallabsorptionsgraden von über 0.2 auf eine gute Zugänglichkeit der Hohlräume dieser Beläge hinweist. Die Strömungswiderstände sind damit eindeutig hohlrauminduziert. Andere Beläge mit vergleichsweise hohen Hohlraumgehalten zwischen 14 und 19 Vol.-% (Basel Riehenstrasse, Lugano und Näfels) weisen dagegen hohe Strömungswiderstandswerte und tiefe Schallabsorptionsgrade von weniger als 0.2 auf, was auf eine schlechte Zugänglichkeit der Hohlräume und einem hohen texturinduzierten Anteil des Strömungswiderstands hinweist. Das Ergebnis für Prilly ist widersprüchlich. Ein sehr hoher Strömungswiderstand steht hier einem verhältnismässig hohen Schallabsorptionsgrad gegenüber. Letzterer wiederum weist auf einen ausgeprägten Hohlraumanteil mit guter Zugänglichkeit der Hohlräume in der Deckschicht hin, was damit dem sehr hohen Strömungswiderstand widerspricht.
- + Den oben beschriebenen Ergebnissen nach können nur die Beläge in Basel Morgartenring, Fulenbach und Muri als porös bzw. semi porös bezeichnet werden. Die Hohlraumkategorien dieser Beläge reichen von C bis D, weshalb die akustischen Eigenschaften den Erwartungen entsprechen. Die Beläge in Birmenstorf, Lugano, Muttenz 2, Näfels und Zürich-Oerlikon hingegen sind als dicht zu bezeichnen. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in den Hohlraumkategorien dieser Beläge wider, die von A bis B reichen und damit ausnahmslos auch unter den Hohlraumkategorien der oben beschriebenen Beläge liegen. Insofern ist festzustellen, dass die nicht an den tatsächlichen Hohlraumgehalten der fertigen Schicht festgemachte kategoriale Einteilung der Beläge dennoch einen Indikator für die am Bau erzielten akustischen Eigenschaften darstellt. Bemerkenswert ist, dass der Belag in Näfels, der den tatsächlichen akustischen Oberflächeneigenschaften nach ein dichter Belag ist, einen bautechnischen Hohlraumgehalt von 13,7 Vol.-% aufweist. Das bedeutet, dass die Deckschicht zwar Hohlräume enthält, diese Hohlräume jedoch in keiner Weise akustisch zugänglich sind.

In Tabelle 8 sind die Oberflächeneigenschaften der Testbeläge bezüglich Wasserdurchlässigkeit und Ebenheit zusammengefasst.

Teststrecke	Belagstyp	Einbau	Längsebenheit W/SW [‰]	Querebenheit [mm]
Basel Morgartenring	SDA 4 HR >20	2012	12.3 / 1.5	1.9
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 16/20	2013	9.5 / 2.0	k.A.
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	2011	6.5 / 2.0	4
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	2011	10.8 / 1.8	2
Goldach	SDA 4 HR 16/20	2011	k.A.	3.0
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	2011	12.1 / 1.6	2.5
Lugano	SDA 4 HR 12/16	2012	15.6 / 2.6	4
Muri	SDA 4 HR >20	2011	6.7 / 1.4	3.5
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12	2013	7.3 / 1.3	0
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12	2013	8.0 / 1.8	3.1
Näfels	SDA 8 HR 12/16	2012	8 / 1.8	3.3
Prilly	SDA 4 HR 8/12	2011	6.3 / 1.4	1.8
Visp	SDA 4 HR 8/12	2011	7.2 / 0.9	3.5
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR ?	2012	12.5 / 2.0	1.5
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	2012	9.4/1.8	2.1

Tabelle 8: Ebenheit im Neuzustand. Beläge ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Kommentare:

- + Längsebenheit: Die Längsebenheit wird mit den beiden Kennzahlen W und SW bewertet, wobei der Wert W der grössten einzelnen Unebenheit entspricht und der Wert SW (Standardabweichung der W-Werte) zur Gesamtbeurteilung eines Abschnittes dient. Für Hauptverkehrsstrassen legt die Norm SN 640 521c folgende Anforderungen fest:
 $W \leq 14 \text{ ‰}$
 $SW \leq 1.8 \text{ ‰}$
 Bei den Strecken Lugano, Birmenstorf, Basel Riehenstrasse und Yverdon wird der Grenzwert von $SW \leq 1.8 \text{ ‰}$ überschritten. Auf einigen Teststrecken erfolgte der Einbau zum Teil auf Kunstbauten (z.B. in Yverdons und Basel, Riehenstrasse), weshalb die Anforderungen an die Längsebenheit auf diesen Strecken schwieriger einzuhalten sind. Bemerkenswert ist auch, dass bei weiteren 4 Strecken die Anforderungen knapp erfüllt werden.
- + Querebenheit: Die Querebenheit wird durch die maximale Muldentiefe unter einer 4-m-Latte (T4) charakterisiert. Alle gemessenen Strecken erfüllen die Anforderungen der Norm SN 640 521c für Hauptverkehrsstrassen von $T4 \leq 5 \text{ mm}$.

3. RESULTATE & DISKUSSION

3.1 AKUSTISCHE WIRKUNG IM NEUZUSTAND

Auf sämtlichen Testbelägen wurden Messungen der akustischen Wirkung mittels der beiden unabhängigen Verfahren CPX und SPB ermittelt. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit, wird die Beurteilung der lärmreduzierenden Wirkung auf die Streckenmittelwerte der CPX Anhängermessungen abgestützt (sämtliche Messungen bei 50 km/h). Die Ergebnisse der SPB Vorbeifahrtsmessungen gelten für den Analysequerschnitt und sind in der objektbezogenen Berichterstattung im Anhang B wiedergegeben. Die Wirkungsanalysen in Abschnitt 3.1.4 und Abschnitt 3.1.5 beziehen sich jeweils auf die im Analysequerschnitt gemessenen Werte.

Hinweis zur Interpretation der Werte in Abweichung zum Strassenlärm-Emissionsmodell StL86+: Der Wert 0 entspricht dem mittels Modell bestimmten Emissionswert für die jeweilige Fahrzeugkategorie auf einem fiktiven neutralen Referenzbelag. Das Modell StL86+ dient zur Bestimmung der Strassenlärmemissionen für eine in der Schweiz durchschnittliche Situation bezüglich Fahrzeugtypen, Fahrverhalten und Strassenbelag. Für die Beurteilung der Ergebnisse und der Auswirkungen für die Praxis ist es wertvoll, die für die Testbeläge ausgewiesene lärmreduzierende Wirkung bezüglich dem akustischen Kennwert eines mittleren Strassenbelages in der Schweiz einordnen zu können. Dazu kann ein Vergleich mit dem mittleren Innerortsbelag (Median aller CPX Messungen der Grolimund + Partner AG bei 50 km/h basierend auf einer Gesamtstreckenlänge von ca. 3300 km) verwendet werden: Die akustische Güte für den mittleren Strassenbelag beträgt demnach +1.0 dB(A) für die Fahrzeugkategorie Personenwagen und -2.1 dB(A) für LKW. Sämtliche im Folgenden präsentierte Werte beziehen sich jedoch direkt auf das Modell StL86+.

3.1.1 STRECKENMITTELWERTE

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Rollgeräuschmessungen CPX (Streckenmittelwerte und Werte für den Analysequerschnitt) zusammengefasst. Ein Quervergleich der erzielten akustischen Wirkung ist in Abbildung 5 gegeben (Sortierung nach akustischer Wirkung für PW in aufsteigender Reihenfolge).

Teststrecke	Belagstyp	Einb. jahr	Testbelag (Mittelwert)				Analysequerschnitt			
			CPX _P (PW) [dB(A)]	CPX _H (LKW) [dB(A)]	CPX _{PW} Abw. StL86+ [dB(A)]	CPX _{LKW} Abw. StL86+ [dB(A)]	CPX _P (PW) [dB(A)]	CPX _H (LKW) [dB(A)]	CPX _{PW} Abw. StL86+ [dB(A)]	CPX _{LKW} Abw. StL86+ [dB(A)]
Goldach SG	SDA 4 HR 16/20	2010	86.7	89.0	-4.6	-5.5	86.2	89.1	-5.1	-5.4
Birmenstorf AG	SDA 8 HR 8/12	2011	87.6	89.2	-3.0	-4.6	87.4	89.5	-3.3	-4.3
Fulenbach SO	SDA 8 HR 12/16	2011	86.0	87.4	-5.1	-7.1	85.9	87.5	-5.2	-7.0
Kestenholz SO	SDA 6 HR 12/16	2011	84.9	87.9	-6.4	-6.5	84.6	87.4	-6.8	-7.1
Muri BE	SDA 4 HR >20	2011	83.6	87.7	-8.0	-6.8	83.0	87.2	-8.9	-7.4
Prilly VD	SDA 4 HR 8/12	2011	84.9	88.5	-6.5	-5.6	85.4	89.3	-5.8	-4.6
Visp VS	SDA 4 HR 8/12	2011	85.2	88.6	-6.1	-5.5	84.7	88.8	-6.7	-5.3
Basel 1 BS	SDA 4 HR >20	2012	84.6	86.3	-6.8	-8.7	84.1	86.3	-7.4	-8.6
Lugano TI	SDA 4 HR 12/16	2012	85.2	87.0	-6.0	-7.6	85.1	87.4	-6.2	-7.2
Näfels GL	SDA 8 12/16	2012	88.7	88.5	-1.7	-5.6	89.3	88.8	-1.0	-5.2
Yverdon VD	SDA 8 HR ?	2012	87.8	88.4	-2.8	-5.8	87.3	87.9	-3.5	-6.4
Zürich-Oerlikon ZH	SDA 8 HR 8/12	2012	89.6	89.8	-0.6	-3.9	89.3	89.5	-1.0	-4.3
Basel 2 BS	SDA 6 HR 16/20	2013	85.3	89.7	-6.0	-4.0	85.8	90.2	-5.4	-3.3
MuttENZ 1 BL	SDA 8 HR 8/12	2013	88.7	90.5	-1.7	-3.0	89.1	90.1	-1.2	-3.5
MuttENZ 2 BL	SDA 4 HR 8/12	2013	86.6	89.4	-4.3	-4.4	85.9	89.0	-5.2	-5.0

Tabelle 9: Akustische Wirkung in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A) im Neuzustand, der CPX Indexwert CPXP steht für PW (passenger cars), der Indexwert CPXH steht für LKW (heavy vehicles). Strecken ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

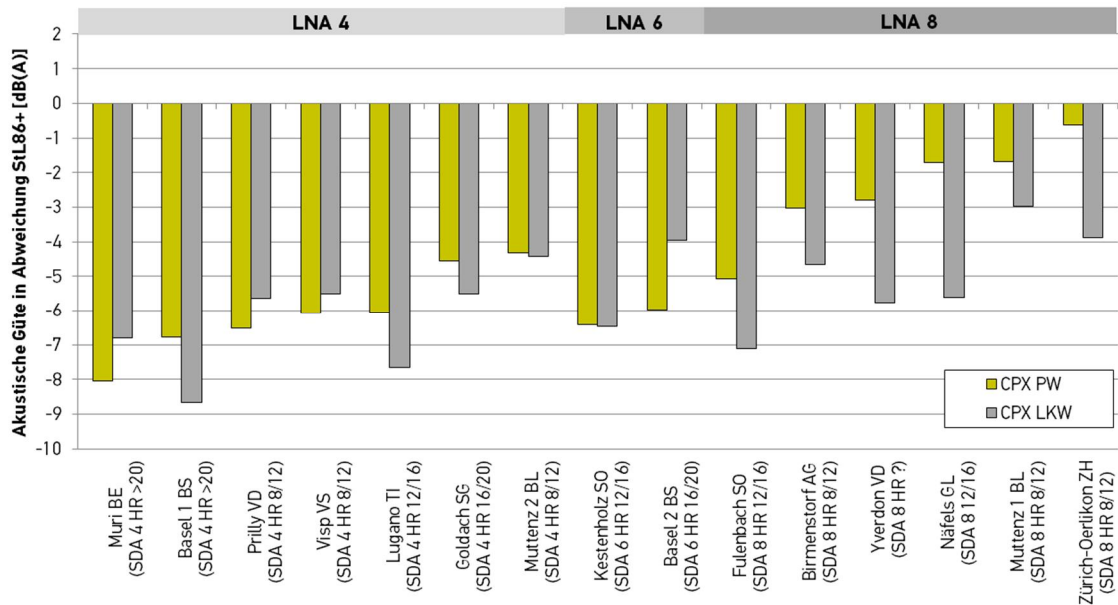


Abbildung 5: Akustische Wirkung in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A) im Neuzustand. Strecken ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltssklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Kommentare:

- + Von den SDA 4 Belägen, schneidet der SDA 4 HR >20 Belag in Muri mit einer akustischen Güte von ca. -8 dB(A) für PW und ca. -7 dB(A) für LKW am besten ab.
- + Die akustische Güte der SDA 4 Beläge liegt im Mittel zwischen ca. -4 und -8 dB(A) für PW und zwischen ca. -4.5 und -8.5 dB(A) für LKW. Damit variiert die akustische Güte der SDA 4 Beläge um bis zu 4 dB(A).
- + Die akustische Güte der SDA 6 Beläge liegt im Mittel zwischen ca. -6 und -6.5 dB(A) für PW und zwischen -4 und -6.5 dB(A) für LKW. Die akustische Qualität der beiden LNA6 Beläge ordnet sich damit ungefähr in der Mitte zwischen SDA 4 und SDA 8 Beläge ein.
- + Von den SDA 8 Belägen, schneidet der SDA 8 HR 12/16 Belag in Fulenbach mit einer akustischen Güte von ca. -5 dB(A) für PW und ca. -7 dB(A) für LKW am besten ab.
- + Die akustische Güte der SDA 8 Beläge liegt im Mittel zwischen ca. -0.5 und -5 dB(A) für PW und zwischen ca. -3 und -7 dB(A) für LKW. Damit variiert die akustische Güte der SDA 8 Beläge um bis zu 4.5 dB(A).
- + Wird die akustische Wirkung der SDA Beläge in Abhängigkeit der Hohlraumklasse betrachtet, fällt auf, dass Beläge mit den höheren Hohlraumgehaltssklassen (>20, 16/20 und 12/16) im Allgemeinen besser abschneiden als Beläge der Hohlraumklasse 8/12 mit demselben Grösstkorn. Die akustische Performanz der Beläge in Goldach und Näfels widerspricht den Hohlraumgehalten dieser Beläge von 18.5 Vol.-% bzw. 13.7 Vol.-%, die eigentlich auf ein ausgeprägtes Schallabsorptionsverhalten hinweisen. Wie in Abschnitt 2.4 bereits beschrieben, ist der Belag in Näfels, diesen Sachverhalt widersprechend einen hohen Strömungswiderstand von 29'803 Pa s/m und einen vernachlässigbar kleinen Schallabsorptionsgrad gekennzeichnet. Damit entspricht das CPX-Messergebnis in vollem Umfang den Ergebnissen der in situ Messungen und belegt im Grunde, wie ungeeignet die bautechnische Methode der Hohlraumgehaltsbestimmung am Bohrkern ist, wenn es um die Feststellung akustisch relevanter Deckschichteigenschaften geht. Im Fall des Belags in Goldach hängt die schlechte akustische Performanz dagegen mit einer schlechten Anpassung des Schallabsorptionsspektrums an das Spektrum der

Reifen-Fahrbahn-Geräusche zusammen. Dies wiederum ist zurück zu führen auf eine schlechte Abstimmung der Schichtdicke. Der Belag in Goldach ist mit einer Schichtdicke von nur 20 mm zu dünn, was dazu führt, dass das eigentlich aufgrund des hohen Hohlraumgehaltes akustisch sehr wirksame Schallabsorptionsverhalten des Belags zu hohen Frequenzen hin und damit aus dem für die Reifen-Fahrbahn-Geräusche wichtigen Frequenzbereich von 800 Hz bis 1600 Hz hinaus verschoben ist. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Absorptionsspektrum. Blauer Rahmen: Hauptfrequenzbereich der Reifen-Fahrbahn-Geräusche.

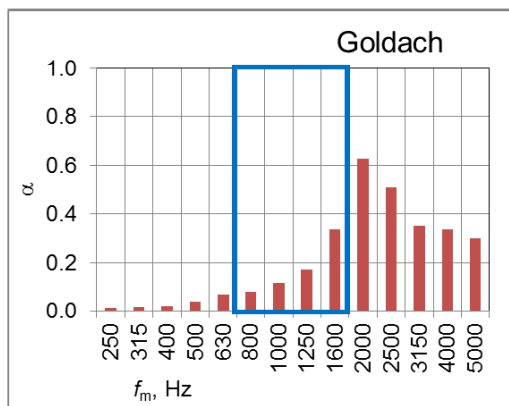


Abbildung 6: Spektraler Schallabsorptionseigenschaften (Schallabsorptionsgrad α) des SDA 4 C Belags in Goldach.

- + Der SDA 4 C Belag in Goldach und der SDA 4 Belag in Muttenz 2 vermögen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche sogar weniger zu reduzieren, als einzelne Beläge mit größerem Maximal Korn (SDA 6 HR 12/16 in Kestenholz und SDA 8 HR 12/16 in Fülenbach).

3.1.2 HOMOGENITÄT

Für die Analyse der akustischen Homogenität der Teststrecken wurde der *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT) nach Alexandersson und Moberg (1997) angewandt. Dieser ermöglicht es, eine oder mehrere signifikante Veränderungen des Mittelwerts in einer Datenserie zu identifizieren. Für nähere Informationen zur verwendeten Methode wird auf den Anhang A3C verwiesen.

Bei der Beurteilung der akustischen Homogenität ist zudem zu beachten, dass akustisch homogene Einbauten bei dichten Belägen grundsätzlich einfacher zu erreichen sind, als dies bei offenporigen Belägen der Fall ist. Akustische Inhomogenität kann durch die Variabilität folgender Einflussgrößen verursacht werden:

- + dichte Beläge: Variabilität der Oberflächentextur.
- + semi-dichte Beläge: Variabilität des Hohlraumgehaltes, des Verbindungsgrades der einzelnen Hohlräume sowie der Oberflächentextur.
- + semi-poröse und offenporige Beläge: Variabilität der Schichtdicke, des Hohlraumgehaltes, des Verbindungsgrades der einzelnen Hohlräume sowie der Oberflächentextur.

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der akustischen Homogenitätsanalyse wiedergegeben.

Teststrecke	Belagstyp	Anzahl Teilabschnitte*	Max. Abweichung MW Teilabschnitt zum Hauptabschnitt** [dB(A)]	Länge des Teilabschn. mit max. Abweichung [m]	Lage des abweichenden Teilabschnittes
Basel Morgartenring	SDA 4 HR >20	3	+1.0	180	südl. Streckenende
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 16/20	2	-1.4	150	westl. Streckenende
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	0	-	-	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	3	+0.8	100	nördl. Streckenende
Goldach	SDA 4 HR 16/20	1	+1.6	180	westl. Streckenende
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	1	+0.9	80	nördl. Streckenende
Lugano	SDA 4 HR 12/16	2	-0.8	180	südl. Streckenende
Muri	SDA 4 HR >20	6	+1.2	160	nördl. Streckenende
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12	0	-	-	
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12	2	+0.5	250	nördl. Streckenende
Näfels	SDA 8 HR 12/16	4	-1.0	240	südl. Streckenende
Prilly	SDA 4 HR 8/12	4	-1.6	120	südl. Streckenende
Visp	SDA 4 HR 8/12	0	-	-	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR ?	1	+0.8	60	südl. Streckenende
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	0	-	-	

* Anzahl Teilabschnitte mit statistisch signifikant abweichendem Mittelwert (SNHT nach Alexandersson und Moberg, 1997)

** Die Zahlenwerte bezeichnen die Differenz zwischen dem Mittelwert des Hauptabschnitts (jeweils längster, akustisch homogene Teilabschnitt) und dem Mittelwert desjenigen Teilabschnitts, welcher am stärksten vom Mittelwert des Hauptabschnitts abweicht.

Tabelle 10: Beurteilung der Homogenität der akustischen Wirkung im Streckenverlauf im Neuzustand. Strecken ohne Bohrernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Kommentar:

- + Auf sämtlichen Teststrecken mit einem Hohlraumgehalt am Bohrkern von > 12% befinden sich ein oder mehrere Teilabschnitte deren Mittelwerte statistisch signifikant von demjenigen des Hauptabschnittes abweichen.
- + Auf den Teststrecken in Basel Morgartenring, Basel Riehenstrasse, Goldach, Muri, Näfels und Prilly befinden sich Teilabschnitte deren Mittelwerte besonders stark (≥ 1 dB(A)) vom Mittelwert des Hauptabschnittes abweichen (siehe Beispielspiel in Abbildung 7).
- + Die Teilabschnitte mit der grössten Abweichung zum Hauptabschnitt befinden sich auf sämtlichen Strecken an den Streckenenden.

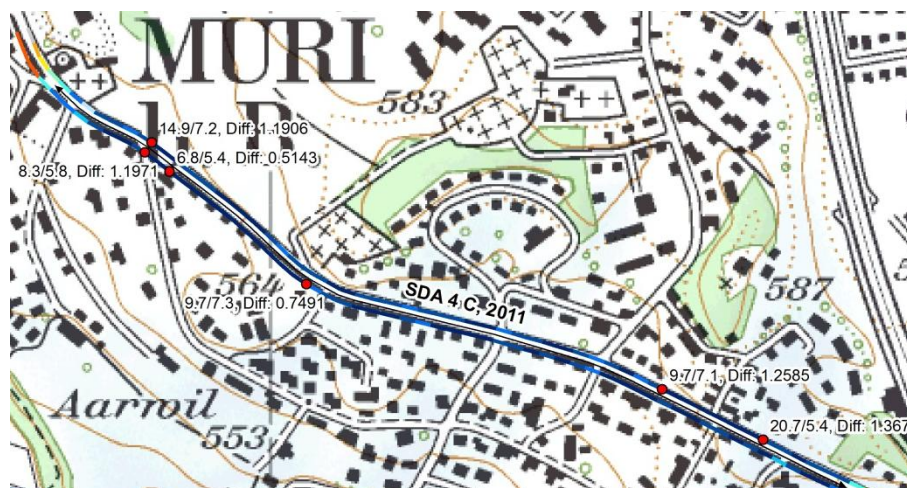


Abbildung 7: Veranschaulichungsbeispiel Homogenitätsanalyse SNHT auf dem SDA 4 C Belag in Muri. Breakpoints (rot), jeweils mit Ergebnis des T-Tests, sowie der Differenz der Mittelwerte benachbarter Teilabschnitte in dB.

3.1.3 ROLLGERÄUSCHSPEKTREN

Die mittels CPX Methode erhobenen Rollgeräuschspektren auf SDA 4 Belägen sind in Abbildung 8 dargestellt.

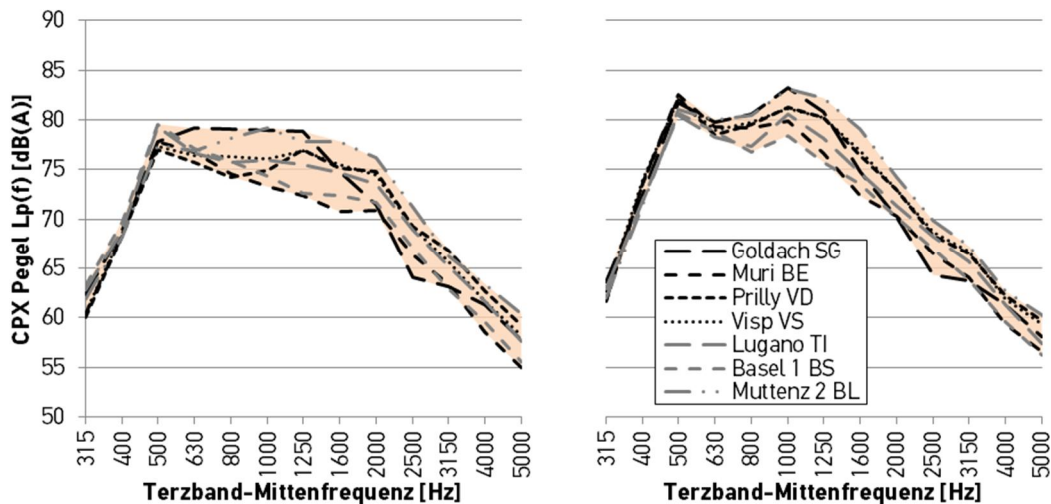


Abbildung 8: Rollgeräuschspektrum CPX SDA 4 Beläge für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (links) und LKW (rechts) im Neuzustand.

Kommentare:

- + Der SDA 4 C Belag in Muri vermag die Reifen-Fahrbahngeräusche über die meisten Terzband-Mittenfrequenzen am besten zu reduzieren. Im Vergleich zu den anderen SDA 4 Belägen, weist der Belag in Muri insbesondere im mittleren und hohen Frequenzbereich tiefere Schallpegel auf.
- + Die Peak-Frequenz, welche auf Standardstrassenbelägen typischerweise zwischen 800 und 1000 Hz liegt, verschiebt sich bei den SDA 4 Belägen in den im Allgemeinen als weniger lästig empfundenen Frequenzbereich um 500 Hz (Ausnahme: SDA 4 Beläge in Goldach und Lugano).

Die mittels CPX Methode erhobenen Rollgeräuschspektren auf SDA 6 Belägen sind in Abbildung 9 dargestellt.

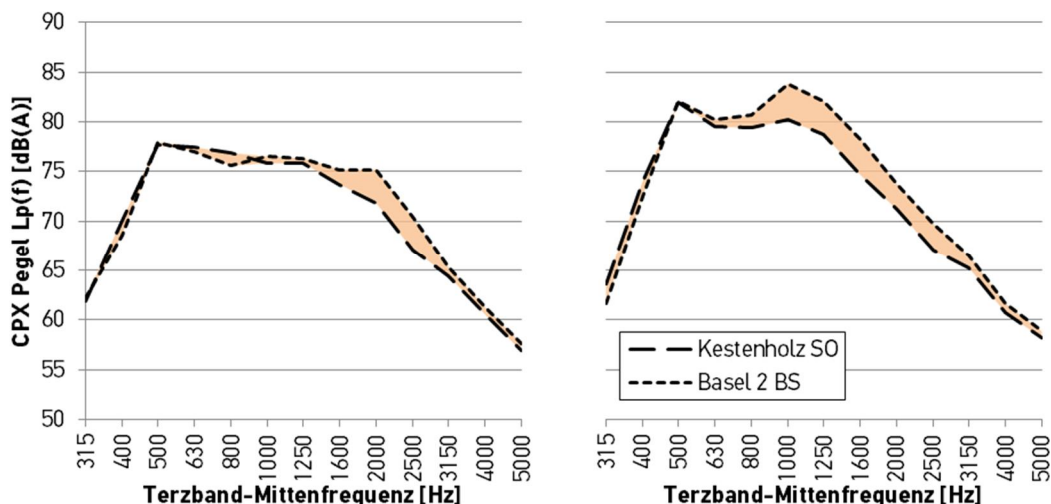


Abbildung 9: Rollgeräuschspektrum CPX SDA 6 Beläge für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (links) und LKW (rechts) im Neuzustand.

Kommentar:

- + Die Rollgeräuschspektren auf den SDA 6 B Belägen in Kestenholz und Basel 2 (Riehenstrasse) verhalten sich ähnlich wie diejenigen der SDA 4 Beläge.
- + Die Peak-Frequenzen verschieben sich ebenfalls in den tieffrequenten Bereich um 500 Hz.

Die mittels CPX Methode erhobenen Rollgeräuschspektren auf SDA 8 Belägen sind in Abbildung 10 dargestellt.

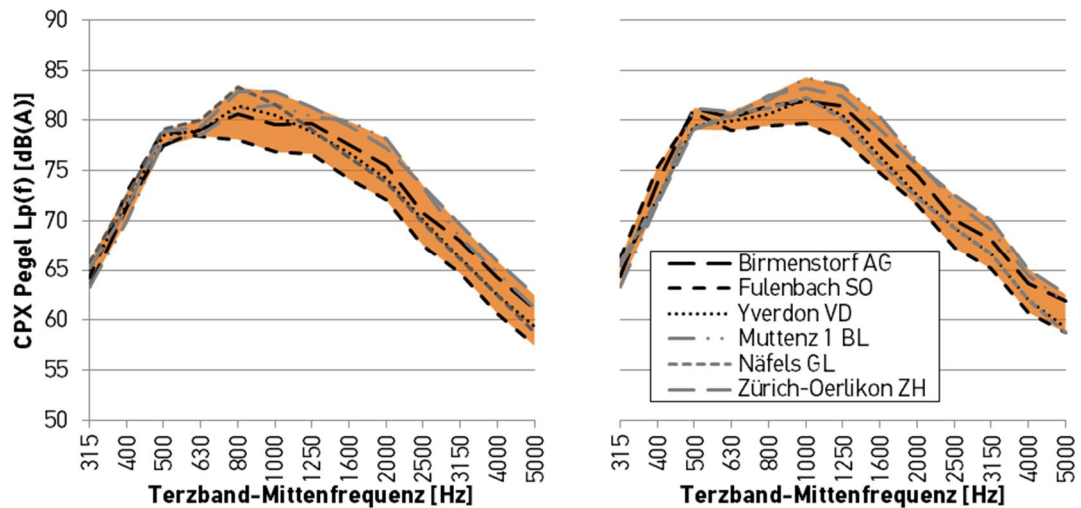


Abbildung 10: Rollgeräuschspektrum CPX SDA 8 Beläge für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (links) und LKW (rechts) im Neuzustand.

Kommentar:

- + Die Rollgeräusche auf dem SDA 8 Belag in Fulenbach fallen insbesondere im mittleren und hohen Frequenzbereich deutlich tiefer aus als die übrigen SDA 8 Beläge in Birmenstorf, Yverdon, MuttENZ 1, Näfels und Zürich-Oerlikon.
- + Als einziger der gemessenen SDA 8 Beläge, vermag der Belag in Fulenbach – ähnlich wie die SDA 4 Beläge - die Peak-Frequenz von typischerweise 800 bis 1000 Hz in den im Allgemeinen als weniger lästig empfundenen Frequenzbereich um 500 Hz zu verschieben.

3.1.4 WIRKUNGSANALYSE SCHALLABSORPTION

Die Wirkungsanalyse Schallabsorption wurde gemäss der in Anhang 1B) beschriebenen Methode durchgeführt. Folgende lärmreduzierende Wirkungen durch Schallabsorption wurden berechnet.

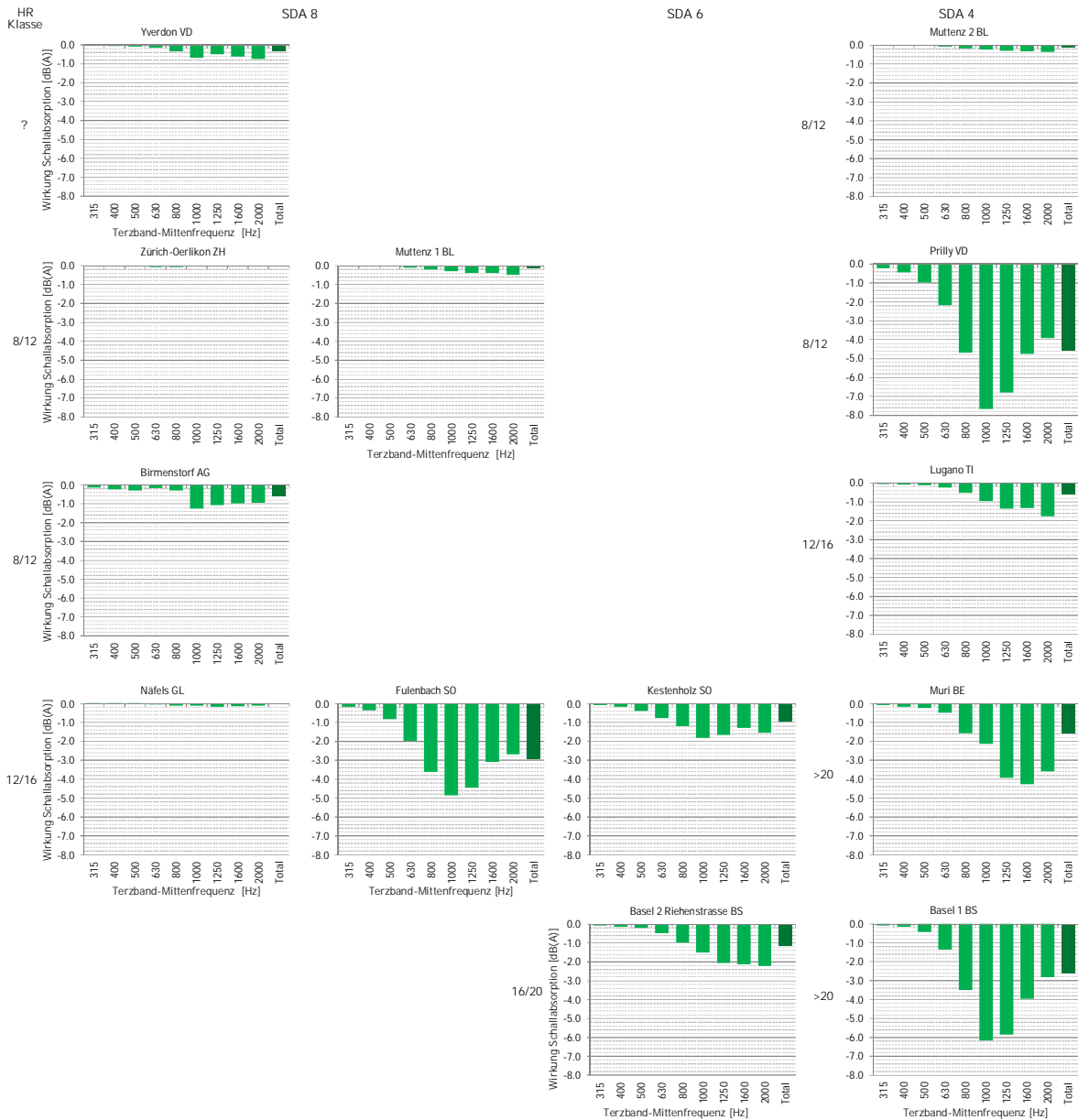


Abbildung 11: Lärmreduzierende Wirkung Schallabsorption aufgrund Wirkungsanalyse (siehe Anhang 1B) im Neuzustand. Strecken ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet. Für die Beläge in Goldach und Visp liegen für den Neuzustand keine Wirkungsanalysen vor.

Kommentar:

- + Die lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption ist beim SDA 4 Belag in Prilly am Grössten (ca. 7.5 dB bei 1000 Hz und ca. 5 dB auf den Gesamtpegel).
- + Die SDA 4 Beläge in Basel 1 und Muri weisen Lärmreduktionen durch Schallabsorption von ca. 1.5-3 dB aus.
- + Bei den SDA 8 Belägen weist einzig der Belag SDA 8 C in Fülenbach wesentliche Schallabsorptionseigenschaften auf. Die Lärmreduktion durch Schallabsorption beträgt ca. 3 dB.
- + Eine geringe lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption von ca. 1 dB zeigen die Beläge in Kestenholz, Birmenstorf, Lugano und Yverdon.
- + Die SDA 8 Beläge in Zürich-Oerlikon, Muttenz 1 und Näfels wirken praktisch nicht schallabsorbierend, ebenso wenig wie der SDA 4 Belag in Muttenz 2.
- + Für die Beläge in Goldach und Visp liegen für den Neuzustand keine Schallabsorptionsmessungen vor und können daher keine Aussagen betreffend der Wirkung durch Schallabsorption gemacht werden.

3.1.5 WIRKUNGSANALYSE SCHALLENTSTEHUNG

Die Wirkungsanalyse Schallentstehung wurde gemäss der in Anhang 1B) beschriebenen Methode durchgeführt. Folgende Beiträge der einzelnen Lärmentstehungsarten wurden berechnet.

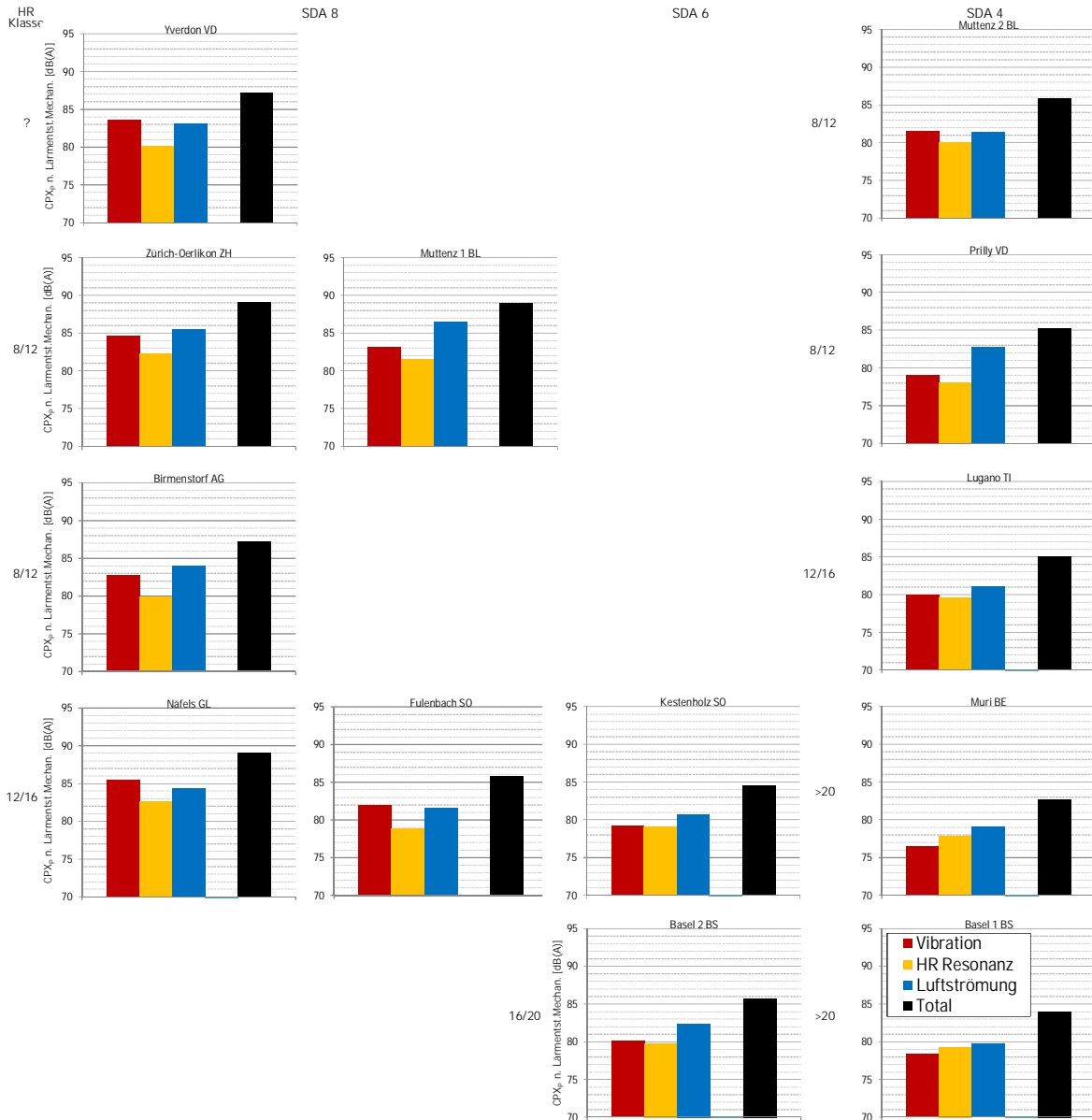


Abbildung 12: Rollgeräusch pro Lärmentstehungsart aufgrund Wirkungsanalyse Schallentstehung (siehe Anhang 1B) im Neuzustand.

Bem: Für die Beläge in Goldach und Visp liegen für den Neuzustand keine Wirkungsanalysen vor. Strecken ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltssklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Kommentar:

- + Bei den SDA 8 Belägen sind die Vibrationsgeräusche dominierend.
- + Bei den SDA 4 und SDA 6 Belägen nehmen die Vibrationsgeräusche deutlich ab. Die Luftströmungsgeräusche sind hier überwiegend.
- + Der SDA 4 Belag in Muri und der SDA 4 Belag in Basel 1 weisen deutlich geringere Vibrationsgeräusche und weniger Hohlraumresonanzen auf als die Beläge in Prilly, Lugano und Muttenz 2 mit demselben Grösstkorn.
- + Für die Beläge in Goldach und Visp liegen für den Neuzustand keine Schallabsorptionsmessungen und Messungen der Oberflächenbeschaffenheit vor und können daher keine Aussagen betreffend der Wirkung der einzelnen Schallentstehungsmechanismen gemacht werden.

3.1.6 ZUSAMMENFASSUNG & DISKUSSION ERGEBNISSE

Der leiseste SDA 4 Belag im Neuzustand

Der SDA 4 HR >20 Belag in Muri (Hohlraumgehalt BK: 21.8%, Schichtdicke: 25 mm) weist von allen SDA 4 Belägen des Forschungsprojektes die grösste lärmreduzierende Wirkung von -8.0 dB(A) in Abweichung zum Modell StL86+ für die massgebende Fahrzeugkategorie Personenwagen auf. Die für die Fahrzeugkategorie LKW erreichte Lärmreduktion von -6.8 dB(A), wird durch den Belag SDA 4 HR >20 in Basel mit -8.7 dB(A), durch den SDA 4 HR 12/16 in Lugano mit -7.6 dB(A), sowie durch den SDA 8 HR 12/16 in Fuluibach mit -7.1 dB(A) übertroffen.

- ➔ Durch eine akustisch gesehen optimale Oberflächentextur (MPD: 0.48 mm, A_{\max} : 140.1 μm , λA_{\max} : 5 mm) vermag der SDA 4 HR >20 Belag in Muri die Vibrationsgeräusche von allen untersuchten Belägen am stärksten zu senken.
- ➔ Durch den relativ hohen Hohlraumgehalt und die günstige Beschaffenheit der Oberfläche kann die Luft in der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn relativ einfach entweichen (Luftströmungswiderstand: ca. 6500 Pa*s/m), was zu einer Abnahme der Luftströmungsgeräusche führt.
- ➔ Die Kombination von einem relativ hohen Hohlraumgehalt von 21.8% und einer Schichtdicke von im Mittel 25 mm führt zusammen mit einem begünstigenden Einfluss des Luftströmungswiderstandes zu einem guten Schallabsorptionsvermögen im Frequenzbereich um 1600 Hz und einer lärmreduzierenden Wirkung durch Schallabsorption von ca. 1.5 dB(A). Um die lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption zu steigern, müssten diese Wirkung im Bereich um 800 bis 1000 Hz erreicht werden, wo beim Abrollen der Reifen auf dem Strassenbelag typischerweise am meisten Schallenergie entsteht. Um das maximale Schallabsorptionsvermögen in diesem Frequenzbereich zu erreichen, bedarf es längerer Poren im Belag, was im Allgemeinen durch eine Verbesserung des Verbindungsgrades der Poren untereinander oder durch grössere Schichtdicken erreicht werden kann.

Der leiseste SDA 8 Belag im Neuzustand

Der SDA 8 HR 12/16 Belag in Fuluibach (Hohlraumgehalt BK:15.9%, Schichtdicke: 42 mm) weist mit einer akustischen Güte von ca. -5 dB(A) für PW und ca. -7 dB(A) für LKW im Vergleich zu allen anderen SDA 8 Belägen des Forschungsprojektes eine um ca. 2 bis 4 dB(A) grössere lärmreduzierende Wirkung aus.

- ➔ Der relativ grosse Wirkungssprung zwischen dem SDA 8 HR 12/16 Belag in Fuluibach und den anderen SDA 8 Belägen ist hauptsächlich auf dessen günstiges Schallabsorptionsvermögen im Bereich um 1000 Hz zurückzuführen. Die lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption beträgt ca. 2.6 dB(A).
- ➔ Luftströmungswiderstandsmessungen deuten darauf hin, dass einzig der SDA 8 HR 12/16 Belag in Fuluibach (Hohlraumgehalt BK: 15.9%) und der SDA 8 Belag in Yverdon (Hohlraumgehalt BK unbekannt) über einen ausreichenden Verbindungsgrad zwischen den einzelnen Poren im Belag verfügen. Dadurch kann die Luft in der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn besser entweichen, was zu einer Reduktion der Luftströmungsgeräusche führt.

Der leiseste SDA 6 Belag im Neuzustand

Interessanterweise verhält sich der SDA 6 HR 12/16 Belag in Kestenholz akustisch gesehen trotz größerem Grösstkorn sehr ähnlich wie die SDA 4 Beläge. Dies betrifft sowohl die gemessene spektrale Zusammensetzung des Rollgeräusches, wie auch die durch das SPERoN-Modell und die Wirkungsanalysen prognostizierte Verteilung der einzelnen Lärmentstehungsarten. Die lärmreduzierende Wirkung auf dem SDA 6 Belag in Kestenholz für die stark auf Oberflächentextur reagierenden Reifen der Fahrzeugkategorie Personenwagen, entspricht etwa derjenigen der SDA 4 Beläge in Basel, Prilly oder Lugano.

Lärmreduzierende Wirkung & Grösstkorn

Grundsätzlich wird mit SDA 4 und SDA 6 Belägen eine grössere lärmreduzierende Wirkung erzielt, als dies mit SDA 8 Belägen der Fall ist. Betrachtet man die mittels SPERoN-Modell und Wirkungsanalysen prognostizierte Verteilung der einzelnen Lärmstehungsarten, wird durch ein kleineres Maximalkorn eine wesentliche Reduktion des Vibrationslärms und der Hohlraumresonanzen des Reifens erreicht (Abnahme Vibrationslärm: 5 bis 10 dB(A), Abnahme Hohlraumresonanzen: 0 bis 3 dB(A)). Tragen bei SDA 8 Belägen im Allgemeinen die Vibrationsgeräusche den grössten Anteil zur Gesamtschallenergie bei, sind es bei den SDA 4 und SDA 6 Belägen entsprechend die Luftströmungsgeräusche, die dominieren.

Insgesamt ist zwischen den Testbelägen innerhalb der jeweiligen Grösstkornklasse eine grosse Streuung der lärmreduzierenden Wirkung zu beobachten (Streuung SDA 4 Belägen: 3.5 dB(A), Streuung SDA 8 Beläge: 4.5 dB(A)). Dies ist insofern nicht erstaunlich, da die lärmreduzierende Wirkung neben der maximalkornbeeinflussten Oberflächenbeschaffenheit von einer Anzahl weiteren Einflussgrössen abhängig ist, welche untenstehend näher betrachtet werden.

Lärmreduzierende Wirkung & Hohlraumgehalt

Wird die lärmreduzierende Wirkung der SDA Beläge in Abhängigkeit der Hohlraumklasse betrachtet, fällt auf, dass Beläge der Hohlraumgehaltklassen 12/16, 16/20 und >20 im Allgemeinen besser abschneiden als Beläge der Hohlraumklasse 8/12 mit demselben Grösstkorn.

Mit steigendem Hohlraumgehalt steigt der Verbindungsgrad zwischen den einzelnen Poren im Belag. Dies führt zu einer Abnahme der Luftströmungsgeräusche, da die Luft aus der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn besser entweichen kann. Ausserdem wirkt der Strassenbelag schallabsorbierend, wenn die einzelnen Poren der hohlraumreichen Deckschicht zugänglich und gut miteinander vernetzt sind. Der Frequenzbereich in dem die schallabsorbierende Wirkung eintritt hängt von der Schichtdicke ab.

Von den hohlraumreichen Belägen weisen der SDA 4 HR 16/20 Belag in Goldach (Hohlraumgehalt BK: 18.5%) und der SDA 8 HR 12/16 Belag in Näfels (Hohlraumgehalt BK: 13.7%), eine vergleichsweise geringe lärmreduzierende Wirkung auf. Trotz des hohen Hohlraumgehaltes entspricht der in Näfels gemessene Luftströmungswiderstand demjenigen eines dichten Belages.

Dies ist im Fall des Belages in Näfels ein eindeutiges Indiz dafür, dass die Hohlräume in der Deckschicht zwar bautechnisch nachweisbar, akustisch jedoch nicht wirksam werden, weil sie für Luft von aussen nicht zugänglich sind. Ursache hierfür könnte nicht angemessenes Verdichten während des Einbaus sein. Der SDA 8 HR 12/16 in Näfels verhält sich akustisch deshalb ähnlich wie die SDA 8 Beläge in Zürich-Oerlikon und Birmensdorf mit Hohlraumgehalten von weniger als 9 Vol.-%.

Lärmreduzierende Wirkung & Schichtdicke

Laut den Ergebnissen der Luftströmungswiderstandsmessungen besitzt der SDA 4 HR 16/20 Belag in Goldach die Eigenschaften eines offenporigen Belages. Die aufgrund von Modellberechnungen bestimmte Wirkung durch Schallabsorption gibt an, dass der Belag in Goldach im Frequenzbereich um 2000 Hz stark schallabsorbierend wirkt (siehe Abbildung 13). Da in diesem Frequenzbereich bei Reifen-Fahrbahn-Geräuschen vergleichsweise wenig Schallenergie entsteht, beträgt die durch Schallabsorption erreichte lärmreduzierende Wirkung in Goldach jedoch nur ca. 0.5 dB(A). Der SDA 4 HR 16/20 Belag in Goldach wurde mit einer mittleren Schichtdicke von nur 20 mm eingebaut. Mit zunehmender Schichtdicke verschiebt sich die schallabsorbierende Wirkung eines Belages in den mittleren Frequenzbereich, wo bei Reifen-Fahrbahn-Geräuschen typischerweise am meisten Schallenergie entsteht und dadurch wesentlich grössere lärmreduzierende Wirkungen erreicht werden. Der Grund für die vergleichsweise schlechtere lärmreduzierende Wirkung des SDA 4 Belages in Goldach liegt in der geringen Schichtdicke der eingebauten Deckschicht.

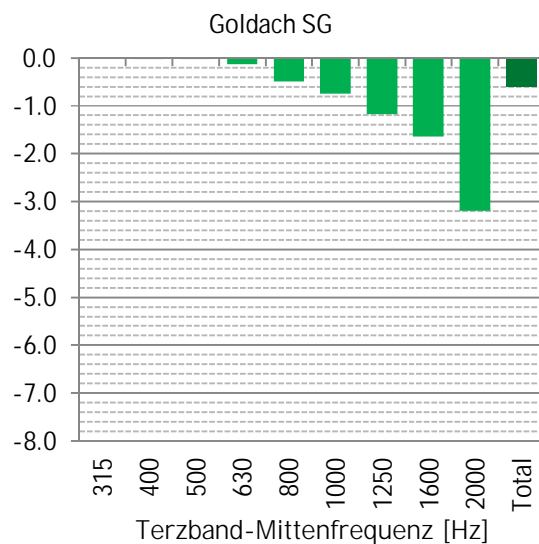


Abbildung 13: Lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption SDA 4 HR 16/20 in Goldach (Zustand 2011, in Goldach sind für den Neuzustand keine Schallabsorptionsmessungen und Modellierungen verfügbar)

3.2 VERÄNDERUNG DER BELÄGE SEIT EINBAU

3.2.1 AKUSTISCHE WIRKUNG 2013 (1 BIS 3 JAHRE NACH EINBAU)

Teststrecke	Typ	Zustand (J.n.Einb.)	Testbelag (Mittelwert)				Analysesequerschnitt			
			CPX _P	CPX _H	CPX _{PW}	CPX _{LKW}	CPX _P	CPX _H	CPX _{PW}	CPX _{LKW}
			[dB(A)]	[dB(A)]	Abw. StL86+ [dB(A)]	Abw. StL86+ [dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	Abw. StL86+ [dB(A)]	Abw. StL86+ [dB(A)]
Goldach SG	SDA 4	3	88.6	89.7	-1.8	-4.1	89.2	90.1	-1.1	-3.5
Birmenstorf AG	SDA 8	2	89.5	90.3	-0.7	-3.2	89.9	90.4	-0.3	-3.1
Fulenbach SO	SDA 8	2	87.3	88.8	-3.4	-5.3	87.3	88.9	-3.5	-5.2
Kestenholz SO	SDA 6	2	87.0	88.5	-3.8	-5.6	86.2	87.8	-4.8	-6.6
Muri BE	SDA 4	2	85.2	87.2	-6.0	-7.4	87.2	88.4	-3.5	-5.9
Prilly VD	SDA 4	2	86.9	88.3	-4.0	-5.9	87.3	88.7	-3.5	-5.4
Visp VS	SDA 4	2	90.9	91.9	1.1	-1.0	91.1	91.9	1.2	-1.0
Basel 1 BS	SDA 4	1	85.4	87.3	-5.8	-7.2	85.3	87.1	-6.0	-7.6
Lugano TI	SDA 4	1	85.6	88.4	-5.6	-5.9	85.9	88.7	-5.2	-5.4
Näfels GL	SDA 8	1	91.1	91.7	1.3	-1.3	91.2	91.6	1.4	-1.4
Yverdon VD	SDA 8	1	90.1	90.8	0.0	-2.5	89.9	90.5	-0.2	-3.0
Zürich-Oerlikon ZH	SDA 8	1	89.0	89.8	-1.4	-3.8	88.8	89.8	-1.6	-3.9

Tabelle 11: Akustische Wirkung der Testbeläge 2013 in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A).

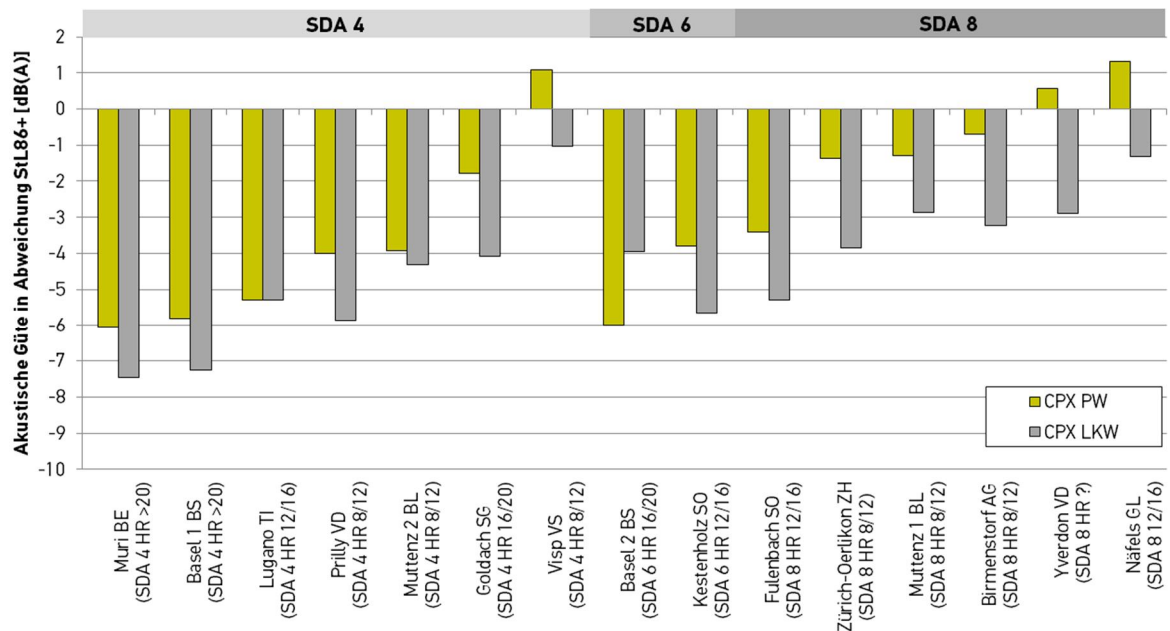


Abbildung 14: Akustische Wirkung der Testbeläge 2013 in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A).

Kommentar:

- + Im Vergleich mit den Messungen im Neuzustand hat die lärmreduzierende Wirkung für die Fahrzeugkategorie Personenwagen seit Belagseinbau systematisch abgenommen.
- + Die erzielte lärmreduzierende Wirkung für die Fahrzeugkategorie LKW hat sich im selben Zeitraum weniger stark verändert.
- + Nach den CPX Messungen 2013 liegen mit zwei Ausnahmen sämtliche Beläge immer noch im Bereich der minimal geforderten akustischen Wirkung für lärmarme Beläge. Der SDA 4 Belag in Visp, sowie der SDA 8 Belag in Näfels erfüllen dieses Kriterium nicht mehr.

3.2.2 VERÄNDERUNG DER AKUSTISCHEN WIRKUNG SEIT EINBAU

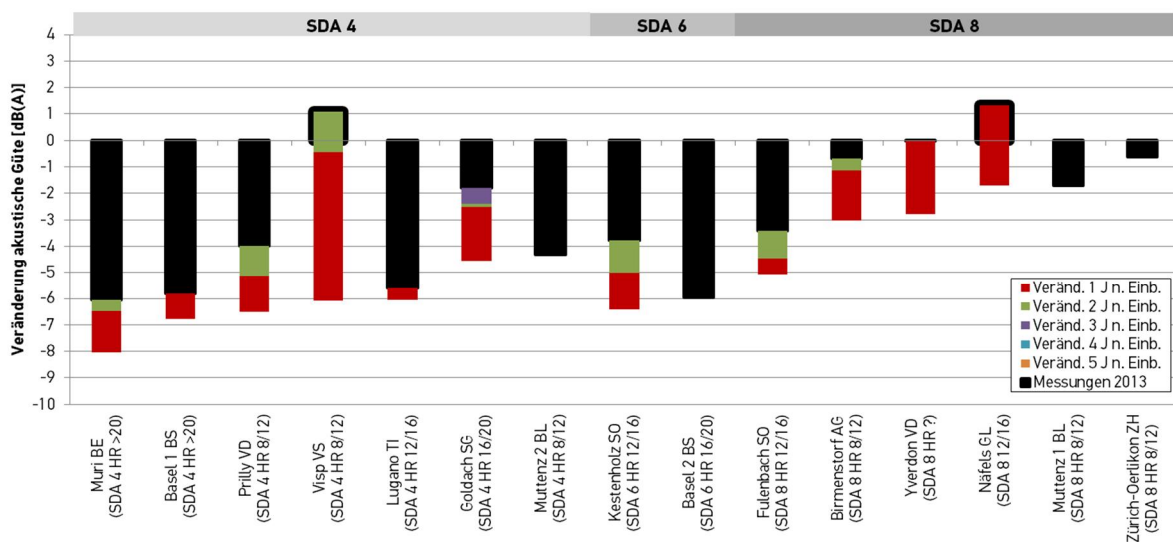


Abbildung 15: Veränderung der akustischen Wirkung seit Einbau (Streckenmittelwerte CPX PW). Strecken ohne Bohrkernuntersuchungen sind in der Hohlraumgehaltsklasse mit einem Fragezeichen gekennzeichnet.

Akustische Veränderung 1 Jahr nach Einbau

- + Der SDA 8 Belag in Fulenbach und der SDA 4 Belag in Lugano haben sich im ersten Jahr nach Einbau akustisch nicht oder wenig verändert (Veränderung zwischen 0 und +0.5 dB(A)).
- + Bei den SDA 4 Belägen in Basel 1 Morgartenring, Muri und Prilly, beim SDA 6 Belag in Kestenholz, sowie beim SDA 8 Belag in Birmenstorf betrug die akustische Alterung im ersten Jahr nach Einbau zwischen +1 und +1.5 dB(A).
- + Auf den SDA 4 Belägen in Goldach und Visp sowie auf dem SDA 8 Belägen in Näfels und Yverdon ist die akustische Wirkung im ersten Jahr nach Einbau um mehr als 2 dB(A) zurückgegangen.
- + In Visp hat die akustische Wirkung im Vergleich zu den Messungen kurz nach Belagseinbau stärker als erwartet abgenommen. Die Verschlechterung ist auf Schäden an der Oberflächenstruktur zurückzuführen.

Akustische Veränderung 2 Jahre nach Einbau

- + Im zweiten Jahr nach Einbau hat sich die akustische Wirkung auf den SDA 4 Belägen in Muri und Goldach und auf dem SDA 8 Belag in Birmenstorf akustisch nicht oder nur wenig verändert (Veränderung zwischen 0 und +0.5 dB(A))

- + Die SDA 4 Beläge in Prilly und Visp, der SDA 6 Belag in Kestenholz und der SDA 8 Belag in Fulenbach haben sich im zweiten Jahr nach Einbau zwischen 1 und 1.5 dB(A) akustisch verschlechtert.
- + Entsprechend der allgemeinen Tendenz, verlangsamt sich die Abnahme der akustischen Wirkung im zweiten Jahr nach Einbau bei den meisten Belägen. Einzig beim Belag SDA 8 Belag in Fulenbach hat die akustische Wirkung im zweiten Jahr stärker abgenommen als im Jahr zuvor.

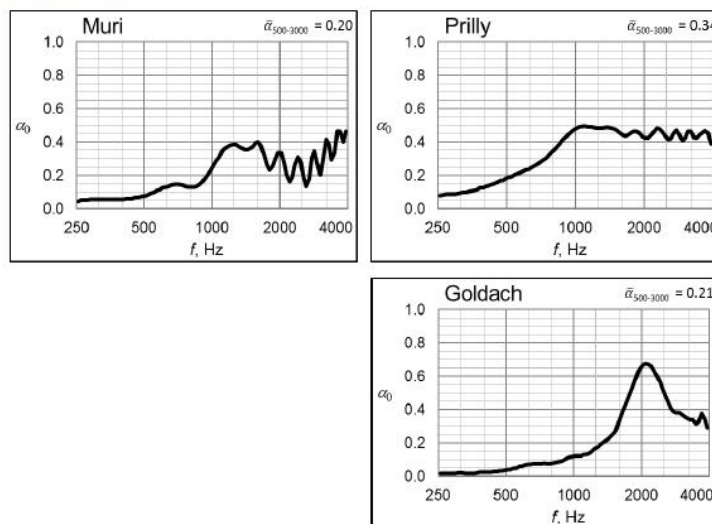
Akustische Veränderung 3 Jahre nach Einbau

- + Nach einer anfänglich starken Abnahme der akustischen Wirkung im ersten Jahr nach Einbau, bleibt der SDA 4 Belag in Goldach akustisch relativ stabil (+0.5 dB(A)).

3.2.3 VERÄNDERUNG DER SCHALLABSORPTIONSEIGENSCHAFTEN SEIT EINBAU

In der untenstehenden Abbildung sind die Veränderungen der Schallabsorptionseigenschaften einiger ausgewählter Beläge dargestellt. Erläuterungen dazu sind in Abschnitt 3.2.6 aufgeführt.

Neuzustand



Zustand 2013

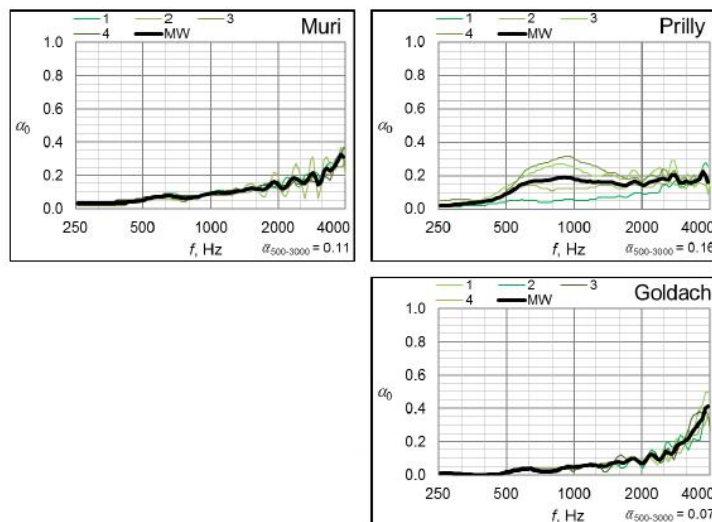


Abbildung 16: Veränderung des Schallabsorptionsgrades (α) einiger ausgewählter Beläge (siehe auch Anhang 1B)

3.2.4 VERÄNDERUNGEN IN BEZUG AUF DIE LÄRMSTEHUNG

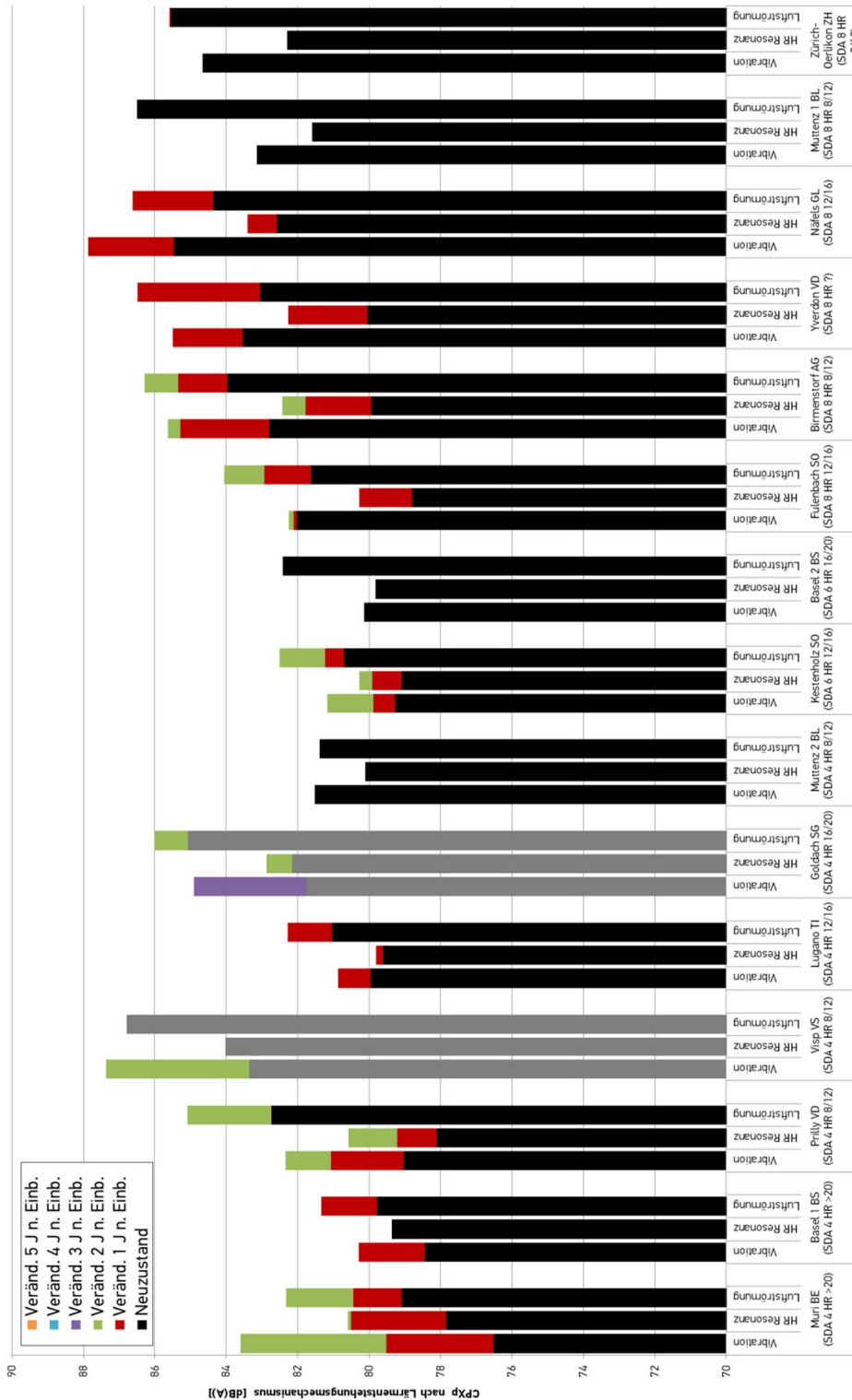


Abbildung 17: Veränderung des Vibrations-, des Hohlraum-Resonanz- und des Luftströmungsanteils an der Schallentstehung nach jeweiliger Wirkungsanalyse (siehe Anhang 1B). Für die Beläge Visp und Goldach liegen für den Neuzustand keine Messungen vor. Stattdessen sind deren Erstmessungen ein Jahr nach Einbau abgebildet (grau gekennzeichnet).

Abbildung 17 zeigt die Veränderung des Vibrations-, des Hohlraum-Resonanz- und des Luftströmungsanteils an der Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Schalls nach jeweiliger Wirkungsanalyse (siehe Anhang 1B). Für die Beläge in Visp und Goldach liegen für den Neuzustand keine Messungen vor. Stattdessen sind deren Erstmessungen ein Jahr nach Einbau abgebildet (grau gekennzeichnet).

Kommentar:

- + Grundsätzlich zeigt sich auf allen gemessenen Belägen eine zunehmende Tendenz der Lärmpegel für die einzelnen Schallentstehungsmechanismen mit steigendem Belagsalter. Das Ausmass dieser Zunahmen verhält sich über die Schallentstehungsmechanismen innerhalb eines Jahres relativ symmetrisch. Ausnahmen bilden die Beläge in Muri, Visp, Goldach, Fulenbach und Näfels, wo der Lärmpegel für einzelne Schallentstehungsmechanismen überdurchschnittlich zunimmt.
- + Ein besonderes Verhalten bei der Entwicklung der Schallentstehung mit zunehmendem Belagsalter zeigen die Messtrecken Visp, Muri und Goldach. Auf diesen drei Strecken ist ein abrupter und massiver Anstieg der Vibrationsgeräusche jeweils 2 Jahre bzw. 3 Jahre nach Einbau der Beläge zu verzeichnen, welcher ohne eine gleichwertige Zunahme der beiden anderen Schallentstehungsmechanismen stattfindet. Eine ähnliche, etwas weniger stark ausgeprägte Tendenz zeigt sich für den SDA 8 Belag in Näfels.
- + Beim Belag in Fulenbach nahmen im ersten Jahr nach Einbau zunächst die Luftströmungsgeräusche überproportional zu. Im zweiten Jahr nach Einbau ist dann eine überproportionale Zunahme der Vibrationsgeräusche zu verzeichnen.

3.2.5 VERÄNDERUNG DER OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN SEIT EINBAU

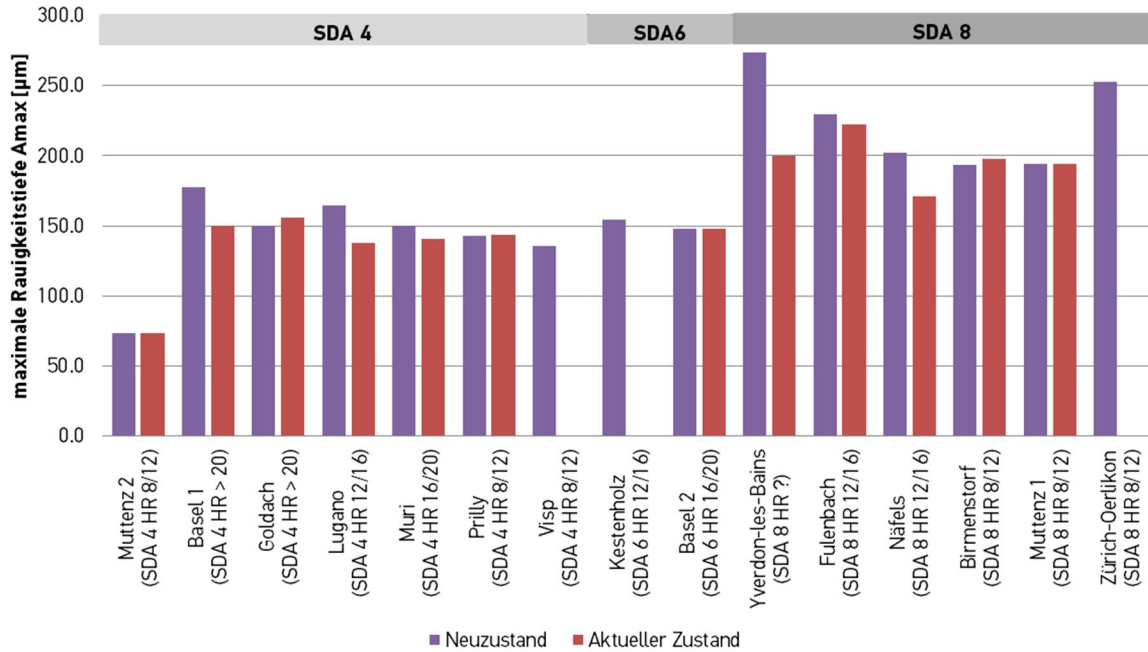


Abbildung 18: Veränderung der maximalen spektralen Rauigkeitstiefe A_{max} seit Einbau

Kommentar:

- + Auf den Teststrecken in Prilly, Goldach, Muri, Kestenholz, Fulenbach und Birmenstorf verändert sich die maximale Rauigkeitstiefe nur geringfügig.
- + Markante Abnahmen der maximalen Rauigkeitstiefe sind auf den SDA 4 Belägen in Visp und Basel 1 und auf den SDA 8 Belägen in Zürich-Oerlikon, Näfels und Yverdon zu verzeichnen.
- + In Muttenz 2 liegt die maximale Rauigkeitstiefe mit 73 µm deutlich unterhalb derjenigen der anderen Beläge.

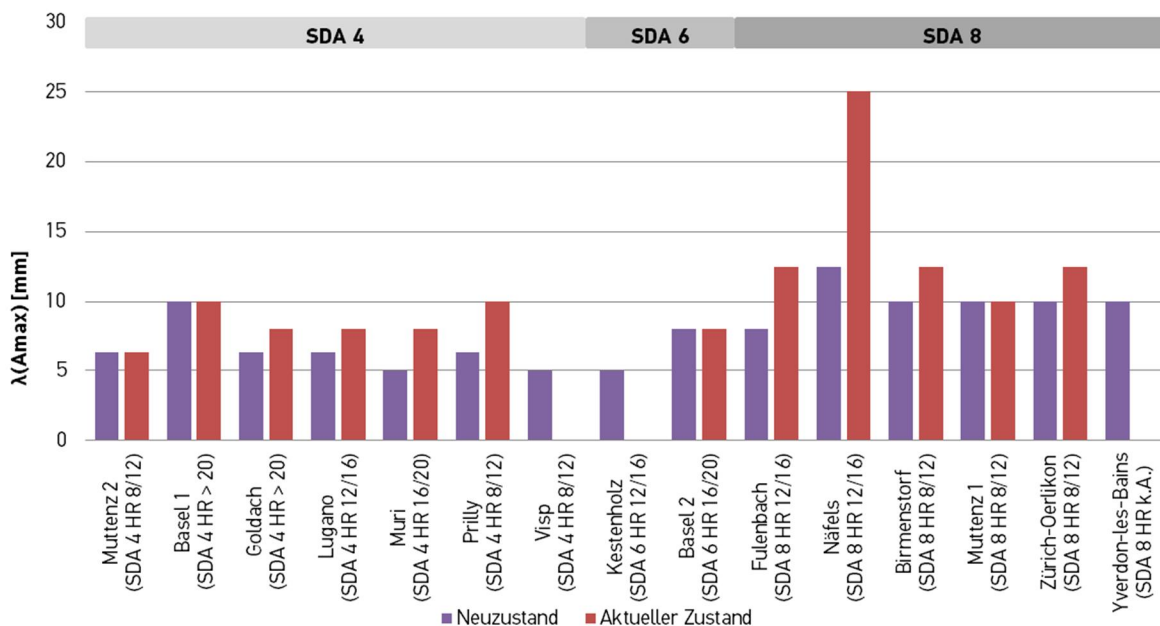


Abbildung 19: Veränderung der Wellenlänge bei maximaler, spektraler Rauigkeitstiefe seit Einbau.

Kommentar:

- + Die Wellenlänge, bei der die maximale Rauigkeitstiefe auftritt, hat sich auf den Teststrecken in Basel 1 und Yverdon nicht bzw. unwesentlich verändert.
- + Auf den Teststrecken in Prilly, Lugano, Muri, Kestenholz, Zürich-Oerlikon, Birmenstorf und Fulenbach verschob sich die Rauigkeitstiefe um ein bis zwei Terzbänder in den langwelligeren Bereich.
- + In Visp und Näfels ist die Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe seit Einbau markant auf jeweils 25 mm angestiegen, was auf eine wesentliche Veränderung der Oberflächentextur hinweist.

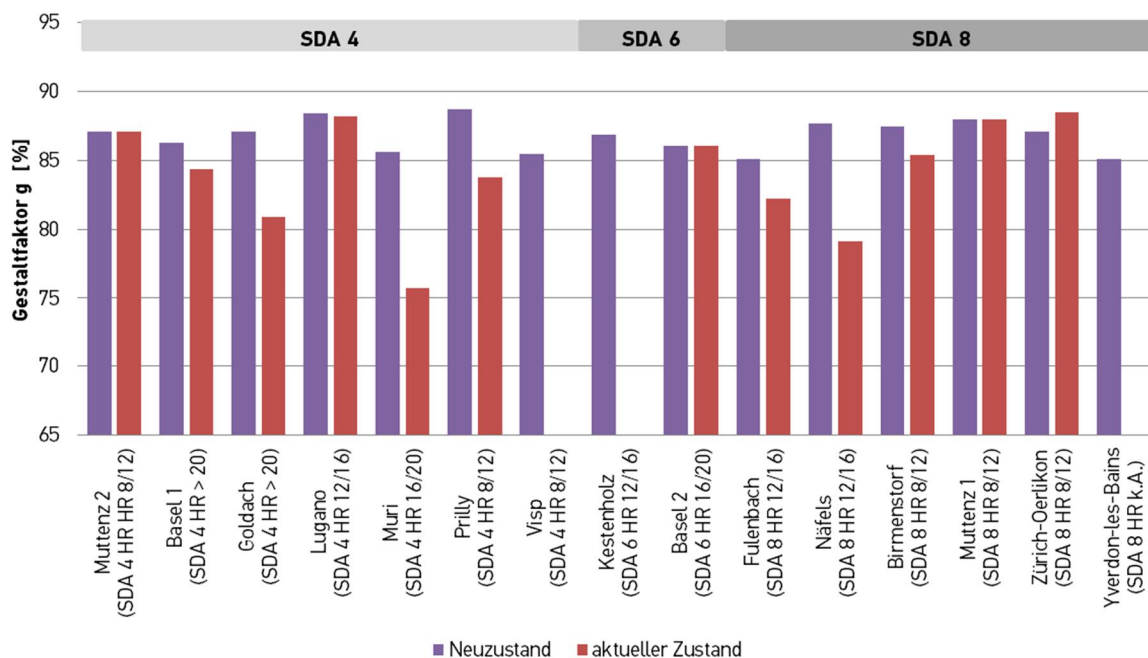


Abbildung 20: Veränderung des Gestaltfaktors seit Einbau.

Kommentar:

- + Der Gestaltfaktor hat sich seit dem Einbau auf den Testbelägen in Prilly, Lugano, Basel 1, Kestenholz, Zürich-Oerlikon, Birmenstorf, Fulenbach, und Yverdon nur wenig verändert.
- + Wesentliche Abnahmen des Gestaltfaktors sind hingegen in Visp, Muri und Näfels zu verzeichnen. Die Abnahme des Gestaltfaktors bedeutet eine akustisch ungünstige Veränderung der Oberflächentextur hin zu einer eher konvexen anstelle einer eher konkaven Gestalt.

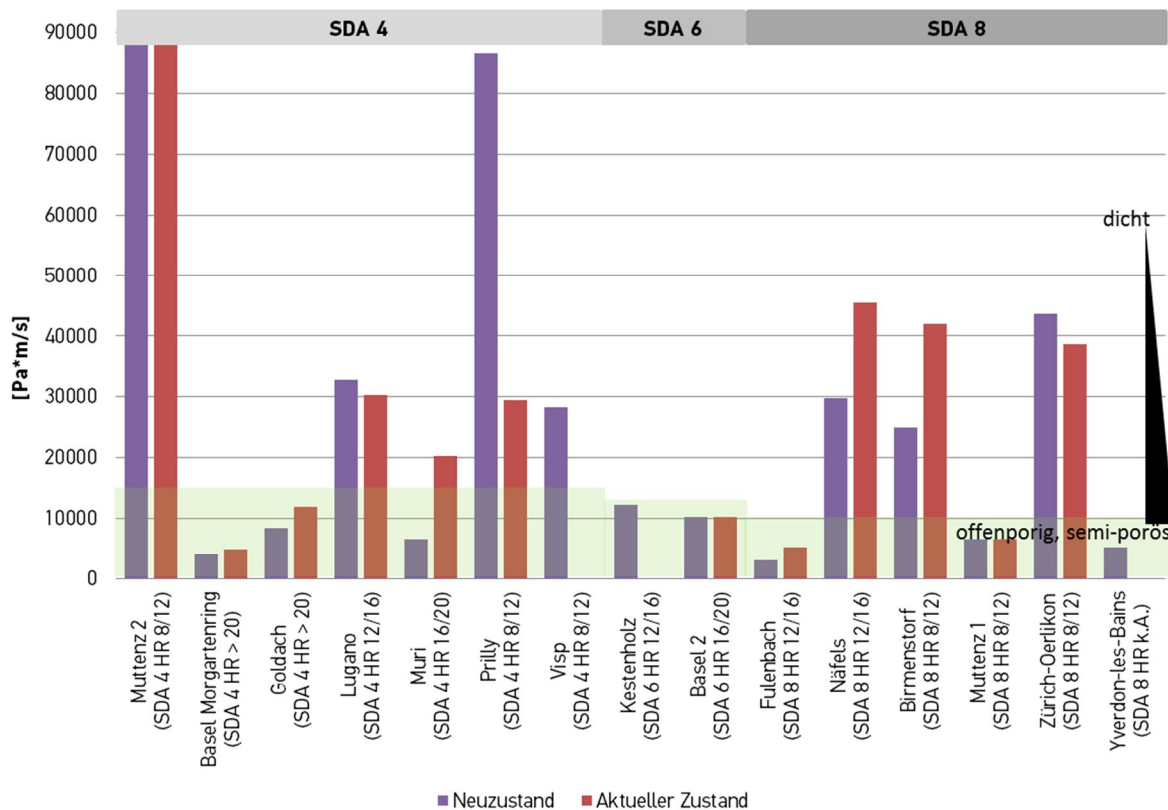


Abbildung 21: Veränderung des Luftströmungswiderstands seit Einbau.

Kommentar:

- + Von den Belägen mit den Eigenschaften eines porösen bzw. semi-porösen Strassenbelages im Neuzustand, hat der Luftströmungswiderstad bei den SDA 4 Belägen in Muri und Goldach, dem SDA 6 Belag in Kestenholz und den SDA 8 Belägen in Fulenbach und Yverdon zugenommen. Der Testbelag in Kestenholz hat zunehmend die Eigenschaften eines dichten/semi-dichten Strassenbelages.

In der untenstehenden Abbildung sind die Veränderungen des Oberflächentexturspektrums ms Schallabsorptionseigenschaften einiger ausgewählter Beläge dargestellt. Erläuterungen dazu sind in Abschnitt 3.2.6 aufgeführt.

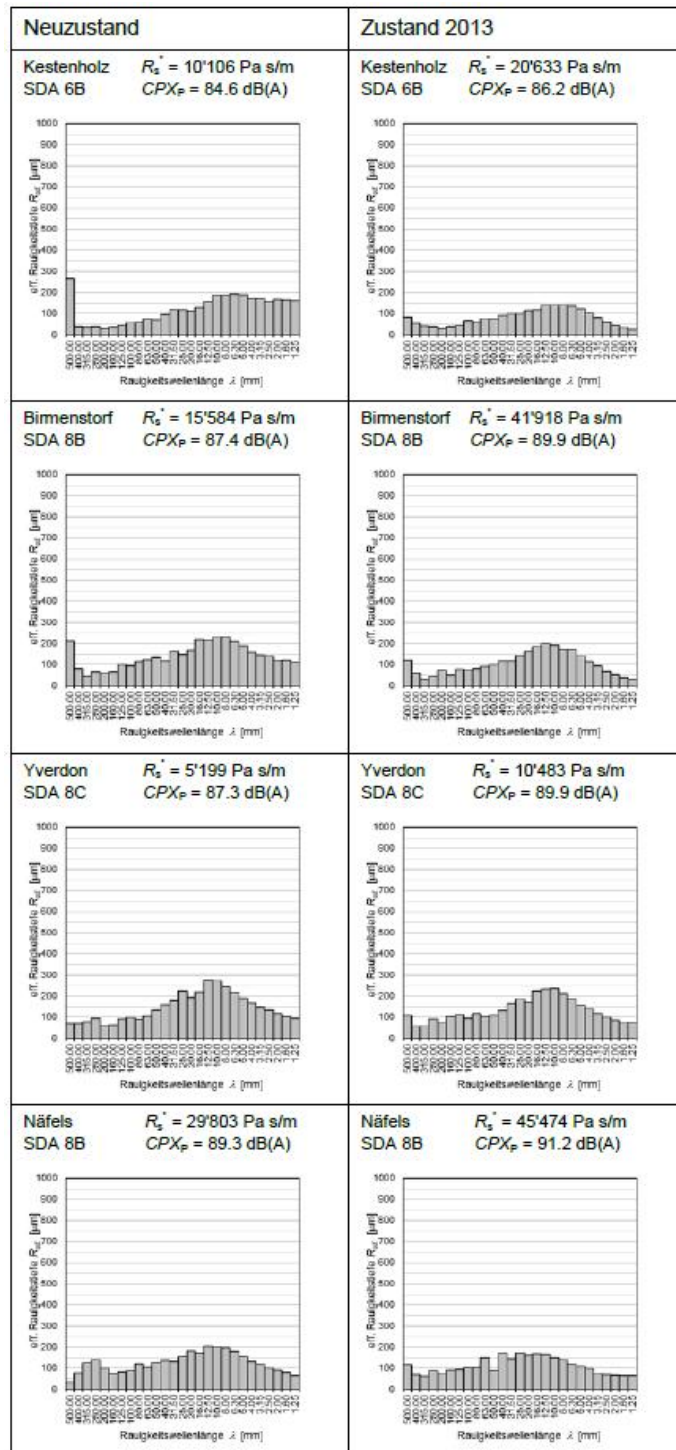


Abbildung 22: Veränderung des Oberflächentexturspektrums seit Einbau einiger ausgewählter Beläge (siehe auch Anhang 1B)

3.2.6 ZUSAMMENFASSUNG & DISKUSSION ERGEBNISSE

Veränderung der akustischen Wirkung seit Einbau

Bei den SDA 8 Belägen Fulenbach und Birmenstorf, Zürich-Oerlikon dem SDA 6 Belag in Kestenholz, sowie bei den SDA 4 Belägen in Basel, Lugano, Muri und Prilly bewegt sich die Abnahme der akustischen Wirkung im erwarteten Rahmen, ähnlich wie dies auch bei dichten Standardstrassenbelägen beobachtet wird. Entsprechend der allgemeinen Tendenz, verlangsamt sich die Abnahme der akustischen Wirkung im zweiten Jahr nach Einbau bei den meisten Belägen. Einzig beim Belag SDA 8 Belag in Fulenbach hat die akustische Wirkung im zweiten Jahr etwas stärker abgenommen als im Jahr zuvor. Wie sich die Beläge mit zunehmendem Alter entwickeln, müssen zukünftige Messungen zeigen.

In Visp hat die akustische Wirkung im ersten Jahr im Vergleich zu den Messungen kurz nach Belagseinbau stärker als erwartet abgenommen. Die Verschlechterung ist auf wesentliche Veränderungen der Oberflächeneigenschaften zurückzuführen (siehe unten). Aufgrund der heute vorliegenden Erfahrungen kann davon ausgegangen werden, dass die in Visp gemessene akustische Verschlechterung nicht dem üblichen Alterungsverlauf von SDA 4 Belägen entspricht.

Eine ebenfalls atypische und überdurchschnittliche starke Abnahme der akustischen Wirkung weisen die SDA 8 Beläge in Yverdon und Näfels auf. Im ersten Jahr nach Einbau ist die lärmreduzierende Wirkung dort um 2 bis 3 dB(A) zurückgegangen.

Ursachen

Bezüglich der Ursachen für die Veränderung der lärmreduzierenden Wirkung, können die Beläge in zwei Gruppen aufgeteilt werden:

1. Die erste Gruppe, bestehend aus den Belägen Muri, Prilly, Visp und Goldach weist im Neuzustand nennenswerte Schallabsorptionsgrade von > 0.2 auf. Die Verschlechterung der akustischen Wirkung dieser Beläge hängt eindeutig mit einem Verlust des anfänglich im Neuzustand der Beläge ausgeprägten Schallabsorptionsvermögens zusammen (siehe objektbezogene Berichterstattung in Anhang B).
2. Bei der zweiten Gruppe, bestehend aus den restlichen der genannten Beläge, handelt es sich von Anfang an um dichte oder nahezu dichte Beläge. Verschlechterungen der akustischen Wirkung können also bei diesen Belägen nur auf akustisch ungünstige Veränderungen der Textur zurückzuführen sein. Bei diesen Belägen handelt es sich um die Hohlraumkategorien B und C. Ein bis zwei Jahre nach Einbau sind alle Beläge um rund 2 dB(A) lauter geworden. Der Anstieg hängt eindeutig mit einer Veränderung der Textur hin zu kleineren Rauigkeitstiefen zusammen, die in allen Fällen zu einer signifikanten Erhöhung der Strömungswiderstände führt. Die Erhöhung der Strömungswiderstände hat mit einem Verlust der im Neuzustand noch vorhandenen oberflächlichen Hohlräume und einer durch die Verkehrsbeanspruchung hervorgerufenen nachträglichen Verdichtung und Verschlussung dieser Hohlräume bei einer gleichzeitigen Verfeinerung der Oberflächentextur zu tun. Das Strömungsverhalten im Reifen-Fahrbahn-Kontakt verändert sich also von einem anfangs eher hohlrauminduzierten zu einem nach der Texturveränderung eher texturinduzierten Strömungswiderstand.

Auf der Teststrecke in Visp konnte 2013 im Gegensatz zu den letztjährigen Beobachtungen kein Kornausbruch mehr festgestellt werden, sondern die Strecke wies eine geschlossene, glänzende und speckige Oberfläche auf. Diese visuelle Beobachtung wird auch durch den hohen Luftströmungswiderstand, der 2013 gemessen wurde, bestätigt. Im Falle von Kornausbrüchen, müsste dieser markant tiefer ausfallen, da diese das Entweichen der Luft an der Oberfläche begünstigen würde. Des Weiteren ist eine kontinuierliche Abnahme der Rautiefe beobachtbar.



Abbildung 23 Belagsoberfläche auf der Teststrecke in Visp

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Lärmreduzierende Wirkung im Neuzustand

- + Die akustische Wirkung der SDA 4 Beläge liegt im Mittel zwischen ca. -4.5 und -8 dB(A) für PW und zwischen ca. -5.5 und -8.5 dB(A) für LKW. Damit variiert die akustische Güte der SDA 4 Beläge um bis zu 3.5 dB(A).
- + Die zwei realisierten SDA 6 Beläge liegen mit einer akustischen Güte von ca. -6.5 bis -6 dB(A) für PW und von ca. -6.5 und -4 dB(A) für LKW akustisch gesehen im Bereich der SDA 4 Beläge.
- + Die akustische Wirkung der SDA 8 Beläge liegt im Mittel zwischen ca. -0.5 und -5 dB(A) für PW und zwischen ca. -4 und -7 dB(A) für LKW. Damit variiert die akustische Güte der SDA 8 Beläge um bis zu 4.5 dB(A).
- + Wird die akustische Wirkung der SDA Beläge in Abhängigkeit der Hohlraumklasse betrachtet, fällt auf, dass Beläge mit den höheren Hohlraumgehaltklassen im Allgemeinen besser abschneiden als Beläge mit einem Hohlraumgehalt von weniger als 12% mit demselben Grösstkorn.

Veränderung der lärmreduzierenden Wirkung seit Einbau. Bei den meisten Belägen bewegt sich die Abnahme der akustischen Wirkung im erwarteten Rahmen, ähnlich wie dies auch bei dichten Standardstrassenbelägen beobachtet wird. Entsprechend der allgemeinen Tendenz, verlangsamt sich die Abnahme der akustischen Wirkung im zweiten Jahr nach Einbau. Eine atypische und überdurchschnittlich starke Abnahme der akustischen Wirkung weisen die Beläge in Yverdon, Näfels und Visp auf. Wie sich die Beläge mit zunehmendem Alter entwickeln, müssen zukünftige Messungen zeigen.

Akustische Anforderungen an die Schichtdicke. Eine optimale lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption bedingt wesentliche Schallabsorptionseigenschaften im mittleren Frequenzbereich (800 bis 1250 Hz), in welchem bei Reifen-Fahrbahn-Geräuschen am meisten Schallenergie entsteht. Wesentliche Schallabsorptionseigenschaften im mittleren Frequenzbereich werden bei ausreichendem Hohlraumgehalt in der Regel erst ab Schichtdicken von 30 mm und mehr erreicht.

Eingesetztes Verfahren zur Erhebung der Wasserdurchlässigkeit/Porosität. Mit dem im vorliegenden Forschungsprojekt angewandten Verfahren können aufgrund zu geringer Porendurchmesser keine Aussagen über die Porosität der 4 mm Beläge gemacht werden. Es wurden Versuche mit einem angepassten Verfahren durchgeführt, mit welchem anstelle des Wassers eine Seifenlösung verwendet wurde. Dadurch erhoffte man sich – dank der niedrigeren Oberflächenspannung der Seifenlösung – messbare Werte zu erhalten. Leider konnten mit dem angepassten Verfahren keine gültigen Messwerte festgestellt werden.

Veränderung der Oberfläche auf dem Testbelag in Visp. Auf der Teststrecke in Visp konnte 2013 im Gegensatz zu den letztjährigen Beobachtungen kein Kornausbruch mehr festgestellt werden, sondern die Strecke wies eine geschlossene, glänzende und speckige Oberfläche auf. Diese visuelle Beobachtung wird auch durch den hohen Luftströmungswiderstand, sowie einer abnehmenden Rautiefe, die 2013 gemessen wurden, bestätigt. Dies hat negative Auswirkungen auf die Akustik.

Mischgut- und Bohrkernuntersuchungen. Im Falle des SDA 8 Belages in Yverdon lagen vonseiten des Teilprojektes TP2 keine Ergebnisse zu den Mischgut- und Bohrkernuntersuchungen vor.

5. LITERATURVERZEICHNIS

- Alexandersson, H. und A. Moberg, 1997: Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, 17, 25-34.
- ASTRA / BAFU, 2011: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen, Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c (Provisorische Version: 03.03.2011).
- BAST, 2011: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphaltten – Teil 2: Neue Baumassnahmen; Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Strassenbau, Heft 72, BAST
- Beckenbauer, T., 2001: Akustische Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen. *Strasse und Autobahn*, 10/2001, 553-561, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- Bühlmann E. and T. Ziegler, 2011: Temperature effects on tyre/road noise measurements. *Proc. InterNoise*, Osaka.
- Bühlmann E. and T. Ziegler, 2012: Interpreting measured acoustic performance on Swiss low-noise road surfaces using a tyre/road interaction model *Proc. Acoustics Hong Kong*, Hong Kong.
- BUWAL, 1995: Korrekturen zum Strassenlärm – Berechnungsmodell.
- DIN EN 29053, 1993: Akustik – Materialien für akustische Anwendungen – Bestimmung des Strömungswiderstandes.
- EN ISO 13473-4, 2009: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen - Teil 4: Spektralanalyse von Oberflächenprofilen
- EN-ISO 13473-1, 2004: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe
- ISO 13473-1, 1997: Caractérisation de la texture d'un revêtement de chaussée à partir de relevés de profils de la surface – Partie 1: Détermination de la profondeur moyenne de profil.
- ISO 13473-4, 2008: Charakterisierung der Textur von Fahrbahnbelägen unter Verwendung von Oberflächenprofilen – Teil 4: Spektralanalyse von Oberflächenprofilen.
- ISO 9053, 1991: Acoustique – Matériaux pour applications acoustiques – Détermination de la résistance à l'écoulement de l'air
- ISO/DIS 11819-2, 2012: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close proximity method, Information from the working group WG33.
- ISO11819-1, 1997: Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method
- Kuijpers A., B. Peeters, W. Kropp and T. Beckenbauer, 2007: Acoustic Optimization Tool RE4 – Modelling refinements in the SPERoN framework", Rep. M+P.
- Männel M. 2008: Prüfung akustisch relevanter Parameter im Labor und in-situ, 4. Informationstage, Geräuschkindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis, Müller-BBM, Gelsenkirchen.
- Peeters B., I. Ammerlaan and A. Kuijpers, 2010: Noise reduction by absorbing road surfaces: destroying the horn effect, *Proc. of ISMA*, Leuven.
- Sandberg U. and J.A. Ejsmont 2002: Tyre/Road Noise Reference Book, Ed. Informex, Sweden.
- SN 640 430 b; Walzasphalt- Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten, VSS
- SN 640 512-4b, 2003: Oberflächeneigenschaften von Strassen und Flugplätzen – Teil 4: Verfahren zur Griffigkeit von Oberflächen: Der Pendeltest, VSS
- SN 640 520 a; Ebenheit-Prüfung der Geometrie, VSS
- SN 640 521 c; Ebenheit-Qualitätsanforderung, VSS
- SNR 640 436, 2012: Semidichtes Mischgut und Deckschichten, Festlegung, Anforderungen, Konzeption und Ausführung, VSS.
- SPERoN: Statistcal and physical explanation of Rolling Noise, www.speron.net

ANHANG A: METHODEN

1 AKUSTISCHE MESSVERFAHREN

A) CPX-Messverfahren

Die eingesetzte CPX-Methode richtet sich nach ISO/DIS 11819-2 sowie ASTRA/BAFU 2011. Bei dieser Methode werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt.

Beim CPX-Messsystem wird der Schallpegel in zwei separaten schallgedämmten Kammern innerhalb des Messanhängers in unmittelbarer Reifennähe mit je zwei Mikrofonen gemessen. Der eingesetzte G+P Anhänger erfüllt die in der ISO/DIS 11819-2 festgelegten Kriterien betreffend Beeinflussung der Messergebnisse durch geräteeigene Schallreflexionen sowie durch interne und externe Schallgeräusche.



Abbildung 24: CPX Messanhänger

Folgende Testreifen wurden verwendet: SRTT 225/60-R16 (Testreifen für die Fahrzeugkategorie Personenwagen) und Avon AV4 195-R14C (Testreifen für die Fahrzeugkategorie Lastwagen). Es wurden jeweils mindestens 2 Messfahrten pro Testreifen und Fahrbahn bei 50 km/h durchgeführt. Die Korrektur der Einflüsse der Umgebungstemperatur erfolgte gemäss Bühlmann und Ziegler 2011.

CPX-Indexwerte repräsentieren die absoluten Schallpegel in 20 cm Distanz zum Reifen. Für die Interpretation der Resultate interessiert aber die Abweichung vom in der Schweiz gültigen Emissions-Modell StL86+. Dazu wurden die CPX-Indexwerte an 67 Standorten mit SPB Messungen (Statistical Pass-By - Vorbeifahrtmessungen) korreliert. Die zur Korrelation verwendeten SPB-Messungen wurden gemäss dem *Technischen Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen* (ASTRA/BAFU, 2006, Dokument UV-0637, Anhang 1c) durchgeführt.

Die Korrelationsmessungen der Umrechnungsmodelle 50 km/h wurden mehrheitlich auf in der Schweiz verbreiteten Standardbelägen (AC, SMA, MA) sowie auf Belägen mit 8 mm Grösstkorn (ACMR 8 mit unterschiedlichen Hohlraumgehalten: n=22) und neuartigeren Belägen mit 4 mm Grösstkorn (Nanosoft & Sapaphone: n=7) erhoben. Dementsprechend sind die Umrechnungsmodelle im Bereich der SDA Beläge des Forschungsprojektes gut abgesichert.

Die Genauigkeit dieser Umrechnungsmodelle wurde anhand von Korrelations- und Regressionsanalysen überprüft. Die Bestimmtheitsmasse (R^2) für die verwendeten Umrechnungsmodelle betragen 94% für CPX_P und SPB N1 (Vorbeifahrtmessungen von Personenwagen und leichten Fahrzeugen) und 64% für CPX_H und SPB N2 (Vorbeifahrtmessungen von Lastwagen und schweren Fahrzeugen).

B) SPB Statistische Vorbeifahrtsmessungen

Die akustischen Belagsgütemessungen wurden nach der statistischen Vorbeifahrtmethode (statistical passby method SPB, ISO 11819-1) durchgeführt. Dabei wurden die Vorbeifahrtspegel von 80 bis 100 Personenwagen und 30 Lastwagen gemessen, wobei auf den Innerortsstrecken nicht immer die nötige Anzahl Lastwagenvorbeifahrten innerhalb angemessener Zeit registriert werden konnten. Neben dem maximalen Schalldruckpegel L_{max} wurde auch der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq jeder Vorbeifahrt in dB(A) gemessen, wie dies im Leitfaden Strassenlärm des BAFU/ASTRA beschrieben ist, da dieser Wert direkt mit dem in der Schweiz üblichen Lärm-Berechnungsmodell StL-86+ der EMPA verglichen werden kann. Die Distanzen der Mikrophone zu den Fahrstreifenachsen betragen an allen Messorten 7.5 m für L_{max} und 5m für Leq . Bei jeder Vorbeifahrt wurde die Geschwindigkeit des Fahrzeugs mit einem Radargerät erfasst.

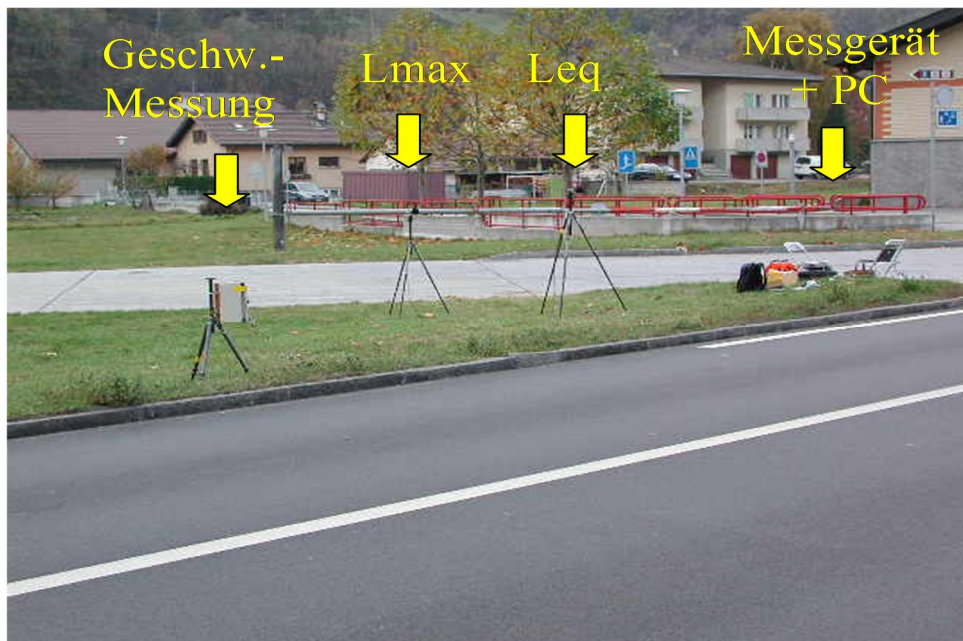


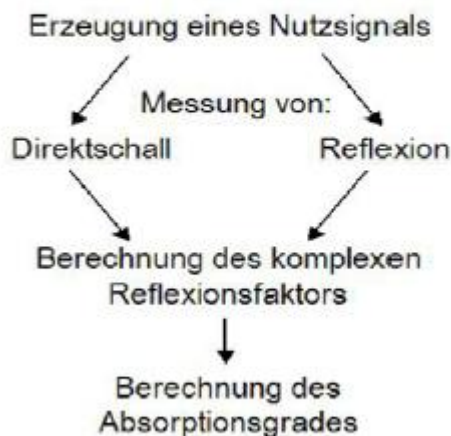
Fig. 1 Messanordnung für die statistische Vorbeifahrtmethode

Von links nach rechts: Geschwindigkeitsmessgerät, Mikrophon in 7,5 m Distanz (L_{max}) und 5 m Distanz (Leq), 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 Leq -Werte erfolgte nach dem in der Schweiz gültigen Standardberechnungsverfahren StL-86+, welches auf dem Leq basiert (BUWAL 1995). Die Werte wurden mit einem der Literatur entnommenen Faktor von -0.06 dB(A)/°C für dichte Beläge und -0.04 dB(A)/°C für offenporige Beläge auf 20 °C Belagstemperatur korrigiert. Bei den Lastwagen wurde eine Temperaturkorrektur von -0.03 dB(A)/°C verwendet. Im Bericht wird die akustische Belagsgüte als Modellabweichung des Mischverkehrs mit 8% Lastwagenanteil am Gesamtverkehr angegeben. Diese Werte sind mit dem Leitfaden Strassenlärm des ASTRA / BAFU kompatibel.

C) Schallabsorptionsmessungen

Bei lärmarmen Strassenbelägen kann ein wesentlicher Teil der lärmreduzierenden Wirkung durch Schallabsorption erreicht werden. Deshalb ist der Schallabsorptionsgrad eines Strassenbelages auch eine wichtige Eingangsgrösse im SPERoN Modell. Die Schallabsorptionseigenschaften eines Strassenbelages sind stark frequenzspezifisch und abhängig von dessen Schichtdicke und Porosität, der Porenform und dem spezifischen Strömungswiderstand. Die schallabsorbierenden Eigenschaften eines Strassenbelages sind dann am besten, wenn ein möglichst hoher Schallabsorptionsgrad in demjenigen Frequenzbereich realisiert wird, in welchem beim Überrollen des Strassenbelages mit Fahrzeugreifen auch am meisten Schallenergie entsteht. Dies ist typischerweise im mittleren Frequenzbereich zwischen 800 Hz und 1250 Hz der Fall. Die Schallabsorptionskoeffizienten wurden mit einem im Rahmen des ITARI Projektes (Integrated TyreAnd Road Interaction) entwickelten Verfahrens erhoben. Bei diesem Messverfahren wird ein Schallsignal (Sinus-Sweep) auf die Prüffläche ausgesendet. Im Gegensatz zum normierten Extended Surface Verfahren wird bei einer Messsonde, die sich direkt über der Oberfläche befindet, neben dem Schalldruck ebenfalls die Schallschnelle aufgezeichnet (Abb. 4). Durch die verwendete Signalverarbeitung kann die Impulsantwort des ausgestrahlten Nutzsignals errechnet werden. Aus der Impulsantwort kann die akustische Impedanz der Prüffläche und damit deren Absorptionsgrad bestimmt werden. Der ermittelte Absorptionsgrad kann als Absorptionsgrad für Kugelwellen interpretiert werden. Im Vergleich zur Bestimmung des Absorptionsgrades mit der Impedanzrohrmethode kann mit dieser Messmethode ein breiteres Spektrum des Absorptionsgrades bestimmt werden. Ausserdem ist es möglich, verhältnismässig kleine Absorptionsgrade in-situ mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.



2 BELAGSTECHNISCHE MESSVERFAHREN

A) Makrotextur

Für die Schallentstehung hat die Oberflächentextur eines Belages einen entscheidenden Einfluss. Das Oberflächenprofil wurde mit einem Laser-Profilometer nach EN ISO 13473-4 linear aufgezeichnet. Es wurden 5 Messpunkte pro Millimeter gespeichert und daraus folgende Kennwerte abgeleitet.

Makrotexturkennwerte.

Kennwert	Beschreibung	Richtwert
MPD (Mean Profile Depth)	Mittlere Profiltiefe; das ist der Abstand zwischen der höchsten Profilspitze und dem Mittelwert der Profil-Kurve innerhalb einer Messlänge von 100 mm. Die Definition ist in EN ISO 13473-1 angegeben.	keine
Gestaltfaktor g	Durch Auswertung der effektiven Profillänge (Kontaktlänge) in Abhängigkeit von der Profiltiefe entsteht eine typische Verteilung der Kontaktlänge über die Gesamtprofiltiefe. Durch Bezug der tiefenabhängigen Kontaktlänge auf die Gesamtlänge des untersuchten Profils entstehen Werte der relativen Kontaktlänge zwischen 0% und 100%. Die relative Kontaktlänge bei der Hälfte der maximalen Profiltiefe ist ein Mass für die Gestalt der Textur und wird als Gestaltfaktor g bezeichnet. 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
Spektralanalyse	Gemäss EN ISO 13473-4 wird das Oberflächenprofil mathematisch mittels einer Fourier-Transformation in Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Amplituden zerlegt. In einem halb logarithmischen Histogramm wird die Rautiefe (als quadratischer Mittelwert des Sinus-Profils) in Abhängigkeit der Wellenlänge dargestellt.	keine
max. Rautiefe $R_{t,max}$	Maximale Rautiefe [μm] im Wellenlängenbereich von 2,5 bis 200 mm.	$60 \mu\text{m} \leq A_{max} \leq 250 \mu\text{m}$
Wellenlänge λ bei A_{max}	Texturwellenlänge λ [mm] die der maximalen Rautiefe entspricht. Es wird postuliert, dass akustisch günstige Beläge die grössten Rautiefen im Wellenlängenbereich unter 12,5 mm und niedrige Rautiefen bei Texturwellenlängen von 16 bis 50 mm aufweisen.	$12,5 \geq \lambda (A_{max}) \geq 4,0$

A_{max} , $\lambda (A_{max})$ und der Gestaltfaktor g basieren auf umfangreichen Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen der Fahrbahnoberflächentextur und dem Reifen-Fahrbahn-Geräusch und stellen drei statistisch voneinander unabhängige beschreibende Kenngrößen der Textur dar (Beckenbauer 2001, Sandberg und Ejsmont 2002). Die angegebenen Werte stellen Richtwerte für geräuschmindernde Fahrbahnbeläge mit isotroper Textur dar.

Sie charakterisieren auf einfache Weise zwei texturbezogene Eigenschaften von lärmarmen Belägen (siehe Beschreibung), stellen aber kein allgemeingültiges Bewertungskriterium für diese Beläge dar.

B) Luftströmungswiderstand

Der Luftströmungswiderstand wurde in Anlehnung an die ISO 9053 sowie DIN EN 29053 gemessen. Die erwähnten Normen beschreiben eine Methode, die für Labormessungen vorgesehen ist. Da jedoch in unserem Fall die Messungen in situ durchgeführt wurden, waren einige Anpassungen der Versuchsanordnung notwendig. Es wurde das in Deutschland üblicherweise angewandte modifizierte Verfahren angewendet (Maennel 2008).

Ein Schema der verwendeten Messapparatur ist untenstehend dargestellt. Gemessen wird der Überdruck in der Kammer in Abhängigkeit des geregelten Durchflusses der eintretenden Luft. Beide Messgrößen stehen theoretisch in einer linearen Abhängigkeit, wobei die Steigung von der Geschwindigkeit, bei der die Luft durch den Belag entweichen kann, abhängt.

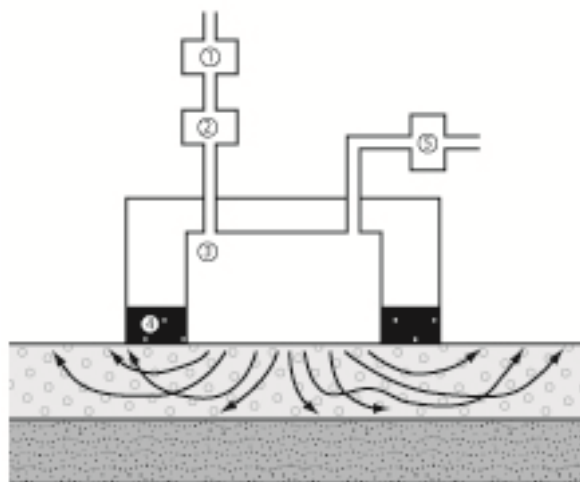
Der Luftströmungswiderstand einer Deckschicht wird definiert als Quotient des Überdruckes in der Kammer Δp zum Durchfluss q . Der spezifische Strömungswiderstand R_s wird definiert als Quotient des Überdruckes zur Strömungsgeschwindigkeit q/A (A bezeichnet die Prüffläche). Diese Definition wird in der folgenden Gleichung erläutert.

$$R_s = A \frac{\Delta p}{q}$$

Der spezifische Luftströmungswiderstand eines Strassenbelages wird empirisch bei einer Luftströmungsgeschwindigkeit von genau 0.0125 m/s bestimmt.

Messapparatur für die Bestimmung des Luftströmungswiderstandes

Die Messapparatur zur Bestimmung des Luftströmungswiderstandes besteht aus (1) Kompressor, (2) Durchflussregler, (3) Kammer, (4) Dichtung und (5) Differenzdrucksensor. Der Innendurchmesser der Kammer beträgt 100 mm.



3 ANALYSEN BELAGSAKUSTIK

A) Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell SPERoN

Das Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell SPERoN (Statistical and Physical Explanation of Rolling Noise) eingebaut im Software-Tool AOT (Acoustic Optimization Tool) (Kuijpers et Al. 2007), wurde verwendet, um die gemessene Lärmreduzierende Wirkung von Belägen bezüglich der Lärmentstehungsmechanismen sowie Schallabsorption zu interpretieren. SPERoN modelliert aufgrund von Oberflächentextur-, Luftströmungswiderstands- und Schallabsorptionsmessungen die Lärmpegel für die einzelnen Lärmentstehungsmechanismen für PW und LKW Reifen bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Der physikalische Teil des Modells berechnet die Kontaktkräfte zwischen Belagsoberfläche und Reifen. Die Belagsoberfläche wird durch ein quasi 3D-Profil simuliert. Für den Reifen wird ein Standardmodell gewählt. Der statistische Modellteil bildet ein virtuelles Lärmspektrum an Hand von geschätzten Reifenvibrationen, Luftströmungsmechanismen, Reibungen, Reifenprofilen und dem aerodynamisch erzeugten Schall. SPERoN beinhaltet ebenfalls ein Modul für die Schallausbreitung unter Berücksichtigung des Horneffektes, welches eine Abschätzung der lärmreduzierenden Wirkung durch Schallabsorption erlaubt (Peeters et Al. 2010). Als Simulationsergebnis liefert das Modell ein Lärmspektrum (L_{max}) der Rollgeräusche für die Mikrofonpositionen der CPX (close-proximity) Messung.

Die Berechnungen wurden für einen Reifen Michelin Energy 195/65 R15 (ein Reifen mit minimiertem Rollwiderstand) und für eine Geschwindigkeit von 50 km/h sowie für eine Last pro Reifen von 425 kg durchgeführt.

B) Akustische Wirkungsanalyse

Für die Interpretation der gemessenen Rollgeräuschspektren CPX bezüglich Lärmentstehung und Wirkung Schallabsorption, wurden diese mit den durch SPERoN modellierten lärmentstehungsmechanismus-spezifischen Geräuschanteilen gewichtet (nach Bühlmann und Ziegler 2012). Auf diese Weise können Aussagen über die Wirksamkeit der Beläge bezüglich der Reduktion von Vibrations- und Luftströmungsgeräuschen, der Eindämmung von Hohlraumresonanzen, sowie der schallabsorbierenden Wirkung eines Belages gemacht werden. Solche akustische Wirkungsanalysen sollen beigezogen werden, um Unterschiede der akustischen Wirkung zwischen einzelnen Belägen zu erklären. Ebenfalls sollen diese helfen, Ursachen für die akustische Veränderung der Beläge über Zeit zu finden.

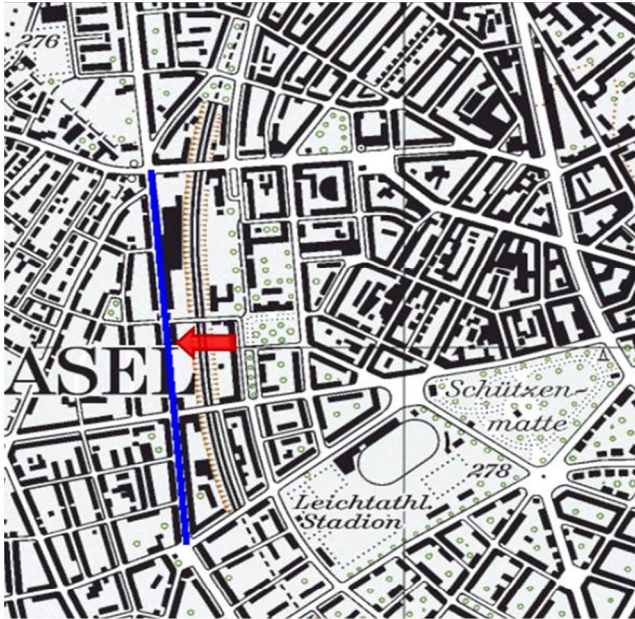
C) Akustische Homogenitätsanalyse

Für die Analyse der Homogenität der Teststrecken wurde der Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) nach Alexandersson & Moberg (1997) verwendet, welcher es ermöglicht eine oder mehrere signifikante Veränderungen des Mittelwerts in einer Datenserie zu entdecken. Dabei wird die Datenserie zuerst standardisiert, anschliessend werden eine Null- und eine Alternativhypothese formuliert und miteinander verglichen. Die Nullhypothese besagt, dass es in der Datenserie keinen signifikanten Sprung gibt und diese somit einer Normalverteilung mit Mittelwert 0 und Standardabweichung 1 folgt. Die Alternativhypothese hingegen sagt, dass die Datenserie an einem unbekanntem Punkt einen Sprung aufweist, und die Mittelwerte vor und nach diesem Sprung unterschiedlich sind. Basierend auf diesen beiden Hypothesen wird eine Teststatistik (likelihood ratio der Wahrscheinlichkeit, dass die Alternativhypothese korrekt ist zur Wahrscheinlichkeit, dass die Nullhypothese korrekt ist) hergeleitet und an jedem Punkt der Datenserie berechnet. Der Datenpunkt mit der höchsten Teststatistik ist der Punkt, an dem es am wahrscheinlichsten einen Sprung gibt. Falls dieser Wert einen bestimmten kritischen Wert überschreitet, ist der Sprung signifikant. Der SNHT ist im Detail beschrieben in Alexandersson & Moberg (1997).

ANHANG B: OBJEKTBEZOGENE BERICHTERSTATTUNG

Basel BS, Morgartenring: SDA 4 HR >20 (SDA 4 D)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 08.08.2012
 Länge: 814 m
 Steigung: 0 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTV SN 640 005a: 14000 (2011)
 Anteil LKW (tags): 4.5 %
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 267123
 Y = 609533

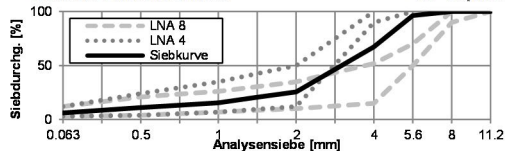
Beschreibung Lage:
 zwischen Hauseingang Morgartenring 69
 und 71, Fahrbahn Richtung Nord

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 4 HR >20 (SDA 4 D)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

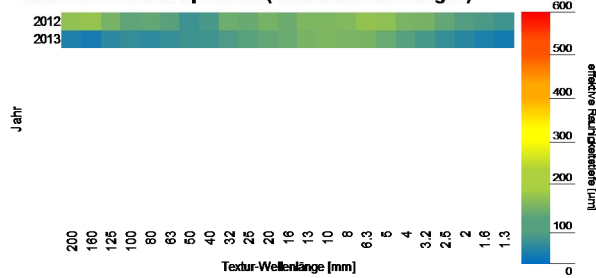
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 17.1 % (Vol)
 löslicher Bindmittelanteil: 5.7 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 39 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 21.8 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 100.3 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

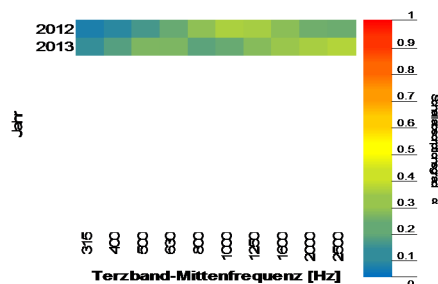


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.58 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.67 mm
 Gestaltfaktor (g): 84.4 %
 A_{max} : 150 µm
 $\lambda (A_{max})$: 10 mm
 Längsebenheit: $W = 12.3 ‰ / sW = 1.5 ‰$
 Querebenheit (Mulde): 1.9 mm
 Pendulum test (PTV): 61 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.35 (Neuzustand: 0.34)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 1000 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 4971 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 48 Pa*s/m
 Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Basel BS, Morgartenring: SDA 4 HR >20 (SDA 4 D)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)

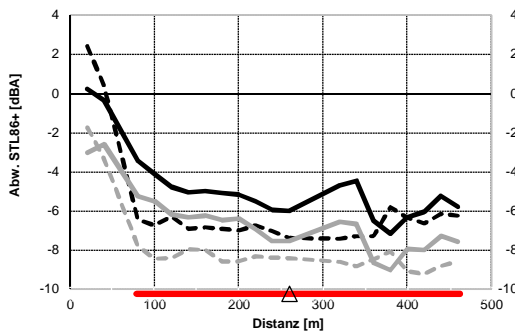
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

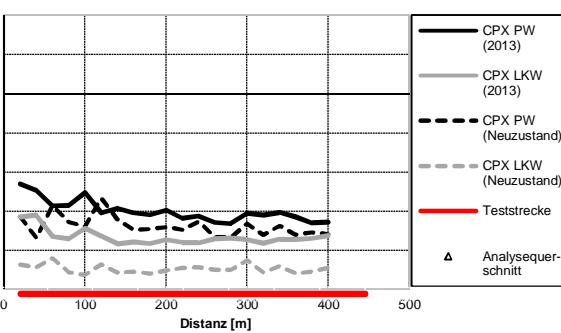
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -5.8 dB(A)
 MW (CPXP): 85.4 dB(A)
 Std.Abw.: 0.7 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -7.2 dB(A)
 MW (CPXH): 87.4 dB(A)
 Std.Abw.: 0.6 dB(A)

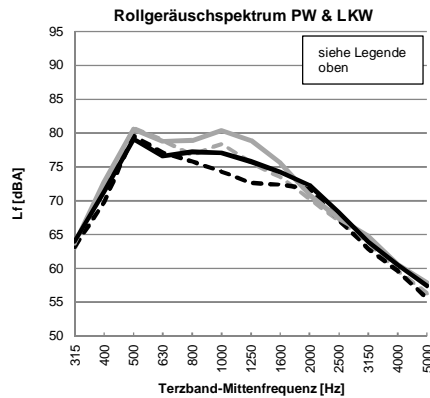
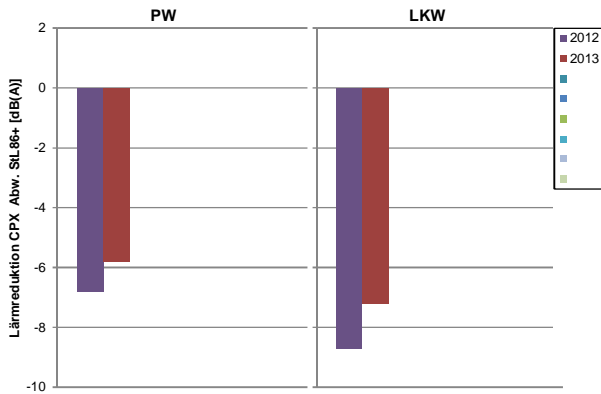
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -7.6 dB(A) Abw. StL86+
 bei 109 Fahrzeugen und 49 km/h
 LKW: n.a.
 n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -6 dB(A) Abw. StL86+
 85.3 dB(A) CPXP
 LKW: -7.6 dB(A) Abw. StL86+
 87.1 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

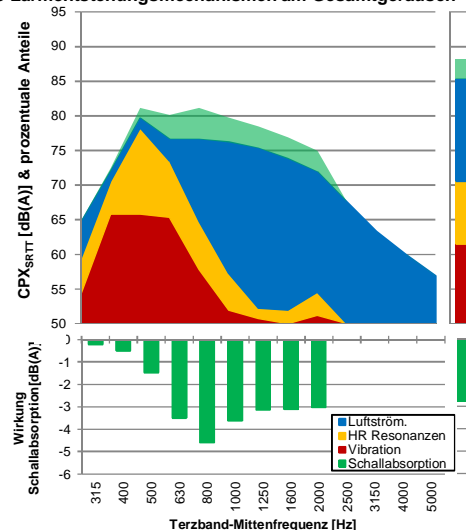
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 41.7%
- Vibrationsschall: 32.6%
- Hohlraumresonanzen: 25.7%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

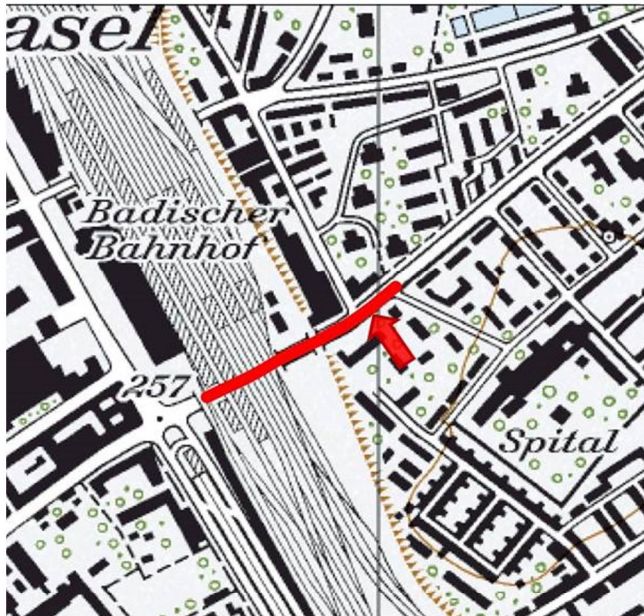
- max.: 4.6 dB(A)
- Frequenz (max.): 800 Hz
- Wirkung Total: 2.8 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Basel BS, Riehenstrasse: SDA 6 HR 16/20 (SDA 6 C)

Messungen 2013 (Neuzustand)



Teststrecke
 Einbaudatum: 01.09.2013
 Länge: 280 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTV SN 640 005a: 14000 (2011)
 Anteil LKW (tags): 4.5 %
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 268489
 Y = 612969

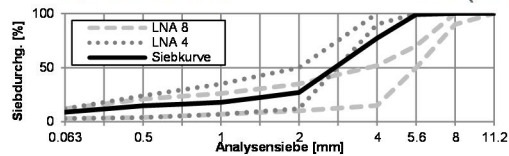
Beschreibung Lage:
 30 m vor Abzweigung Hirzbrunnentallee,
 an Einfahrt Parkplatz "Teppich Metzger",
 Fahrbahn Richtung Ost

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 6 HR 16/20 (SDA 6 C)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

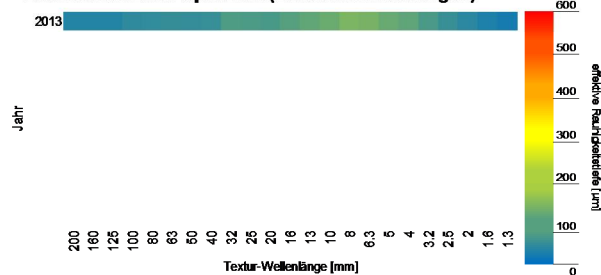
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 15.7 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 5.7 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 41 mm
 min: 35 mm
 max: 43 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 16.1 % (Vol)
 min: 14 % (Vol)
 max: 20 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 99.2 %
 min: 94.6 %
 max: 101.7 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

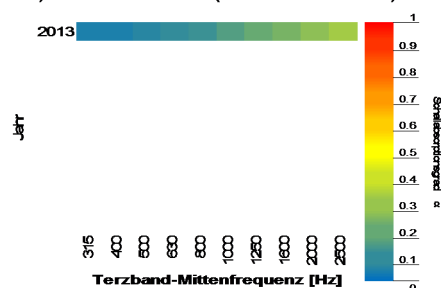


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.5 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.6 mm
 Gestaltfaktor (g): 86.1 %
 A_{max} : 148 µm
 $\lambda (A_{max})$: 8 mm
 Längsebenheit: $W = 9.5 \text{‰} / sW = 2 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): n.a.
 Pendulum test (PTV): 61 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.32 (Neuzustand: 0.32)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 10298 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 25 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Basel BS, Riehenstrasse: SDA 6 HR 16/20 (SDA 6 C)

Messungen 2013 (Neuzustand)

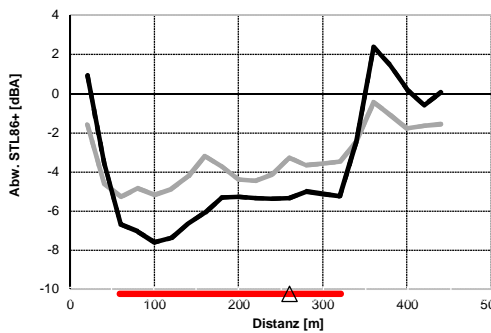
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

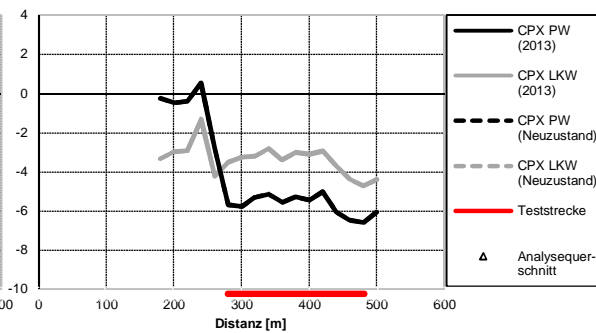
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -6 dB(A)
 MW (CPXP): 85.3 dB(A)
 Std.Abw.: 0.6 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -3.9 dB(A)
 MW (CPXH): 89.8 dB(A)
 Std.Abw.: 0.6 dB(A)

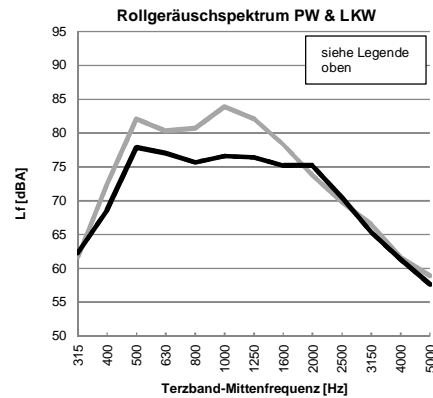
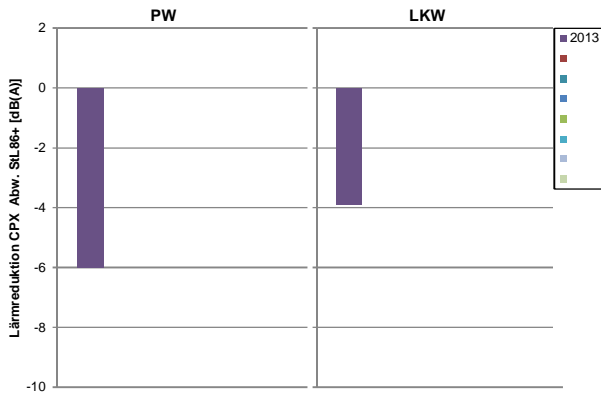
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: n.a.
 LKW: n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -5.4 dB(A) Abw. StL86+
 85.8 dB(A) CPXP
 LKW: -3.3 dB(A) Abw. StL86+
 90.2 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

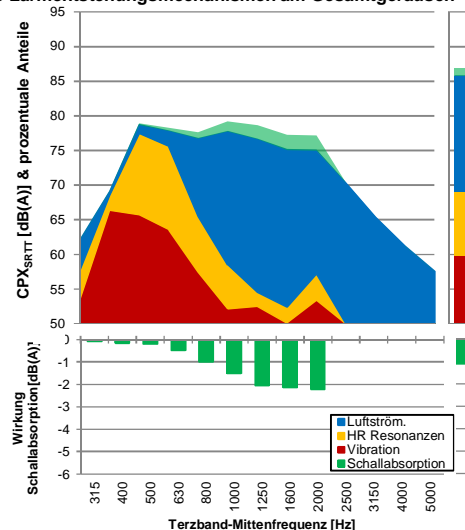
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 46.6%
- Vibrationsschall: 27.7%
- Hohlraumresonanzen: 25.7%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

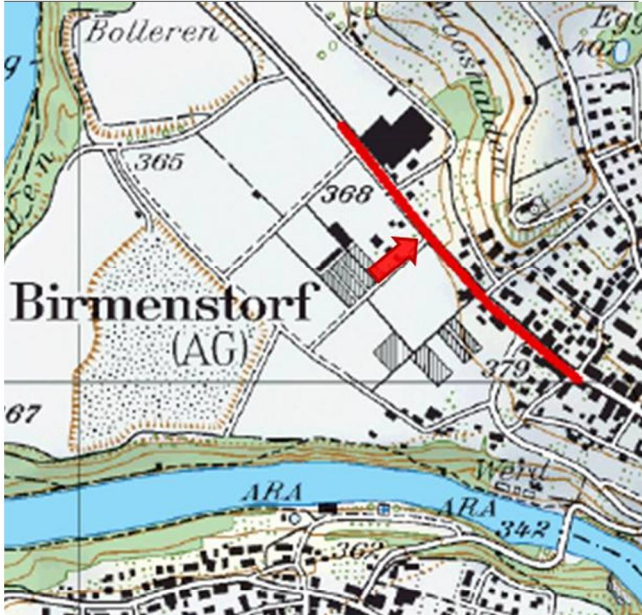
- max.: 2.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 1.1 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Birmenstorf AG, Bruggerstrasse: SDA 8 HR 8/12 (SDA 8 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 11.08.2011
 Länge: 330 m
 Steigung: 0 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 11500 (2011)
 Anteil LKW (tags): 8 %
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 257256
 Y = 660584

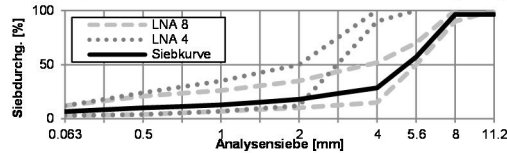
Beschreibung Lage:
 5m westwärts von der Einmündung
 Brühlweg. Gegenüber dem mittleren der
 drei Gebäude der neuen Überbauung.
 Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 8 HR 8/12 (SDA 8 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

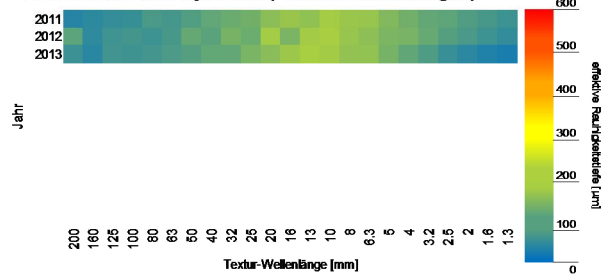
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 10.9 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 37.5 mm
 min: 34 mm
 max: 41 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 8.1 % (Vol)
 min: 6.1 % (Vol)
 max: 10.2 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 102.6 %
 min: 100.3 %
 max: 104.8 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

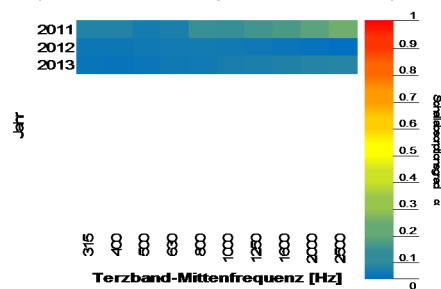


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.75 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.8 mm
 Gestaltfaktor (g): 85.4 %
 A_{max} : 198 µm
 $\lambda (A_{max})$: 12.5 mm
 Längsebenheit: $W = 6.5 \text{‰} / sW = 2 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 4 mm
 Pendulum test (PTV): 52 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.08 (Neuzustand: 0.22)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 41918 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 16 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Birmenstorf AG, Bruggerstrasse: SDA 8 HR 8/12 (SDA 8 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)

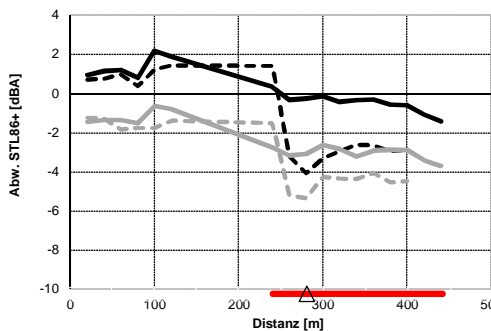
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

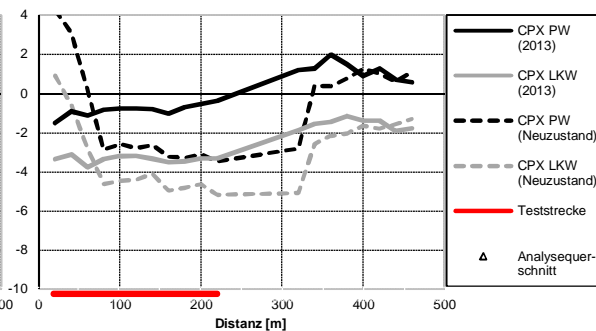
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -0.7 dB(A)
 MW (CPXP): 89.5 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -3.2 dB(A)
 MW (CPXH): 90.3 dB(A)
 Std.Abw.: 0.2 dB(A)

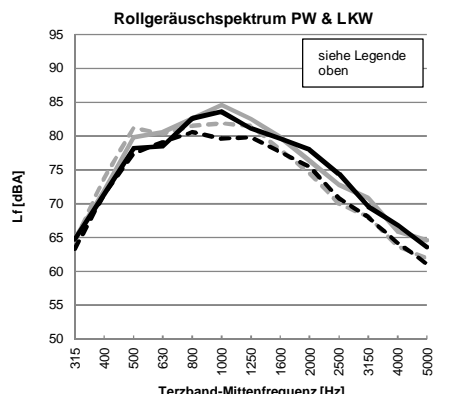
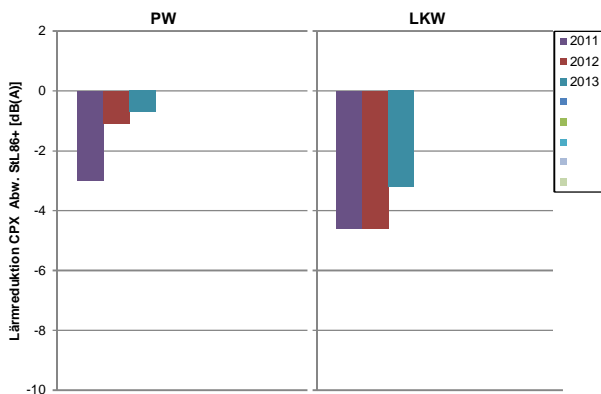
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -0.8 dB(A) Abw. StL86+ bei 105 Fahrzeugen und 48 km/h
 LKW: -1.9 dB(A) Abw. StL86+ bei 21 Fahrzeugen und 42 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -0.3 dB(A) Abw. StL86+
 89.9 dB(A) CPXP
 LKW: -3.1 dB(A) Abw. StL86+
 90.4 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

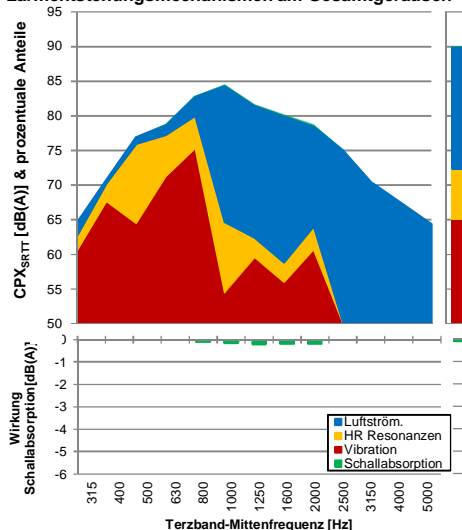
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 44.0%
- Vibrationsschall: 37.9%
- Hohlraumresonanzen: 18.1%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

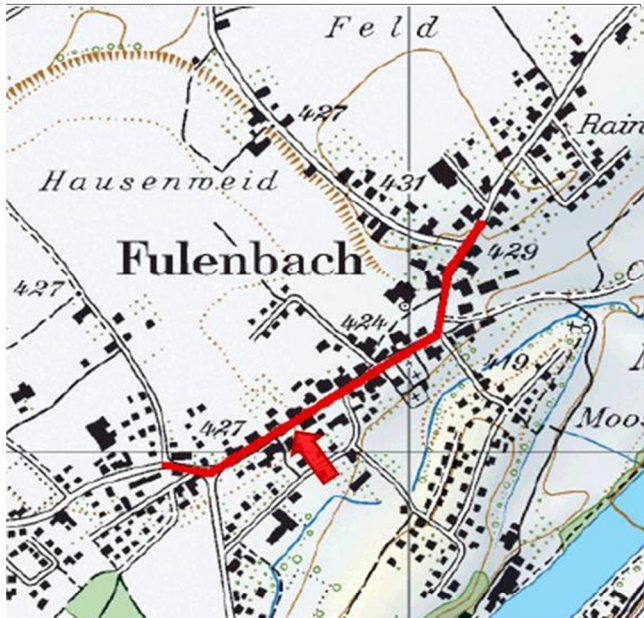
- max.: 0.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 1250 Hz
- Wirkung Total: 0.1 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Fulenbach SO, Dorfstrasse: SDA 8 HR 12/16 (SDA 8 C)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 26.06.2011
 Länge: 750 m
 Steigung: 0.5 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 7500 (2010)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 236044
 Y = 629789

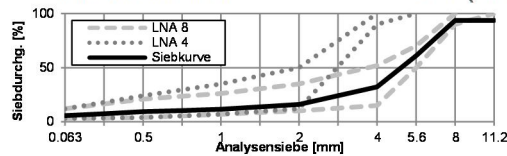
Beschreibung Lage:
 Höhe Einfahrt Parkplatz Volg. Fahrbahn
 Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 8 HR 12/16 (SDA 8 C)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

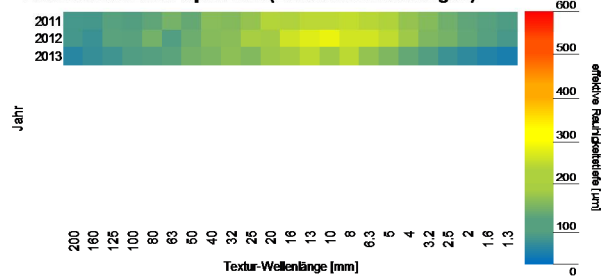
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 15.3 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 5.6 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 42 mm
 min: 40 mm
 max: 45 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 15.9 % (Vol)
 min: 14.5 % (Vol)
 max: 17.1 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 99.5 %
 min: 97.7 %
 max: 100.9 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

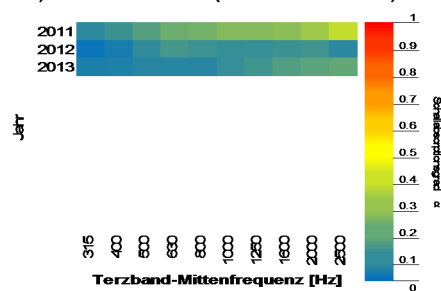


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.88 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.9 mm
 Gestaltfaktor (g): 82.2 %
 A_{max} : 222 µm
 $\lambda (A_{max})$: 12.5 mm
 Längsebenheit: $W = 10.8 \% / sW = 1.8 \%$
 Querebenheit (Mulde): 2 mm
 Pendulum test (PTV): 56 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.19 (Neuzustand: 0.38)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 5264 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 24 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Fulenbach SO, Dorfstrasse: SDA 8 HR 12/16 (SDA 8 C)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)

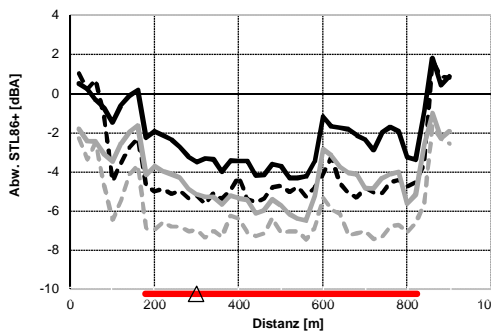
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

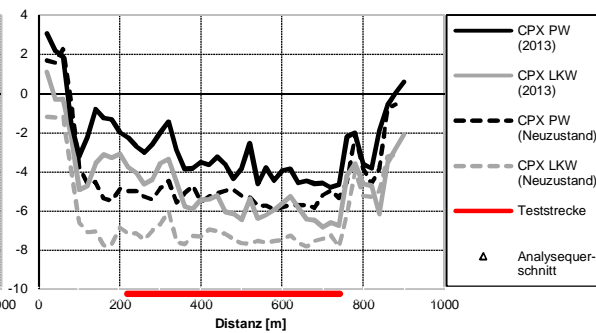
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -3.4 dB(A)
 MW (CPXP): 87.3 dB(A)
 Std.Abw.: 0.7 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -5.3 dB(A)
 MW (CPXH): 88.8 dB(A)
 Std.Abw.: 0.7 dB(A)

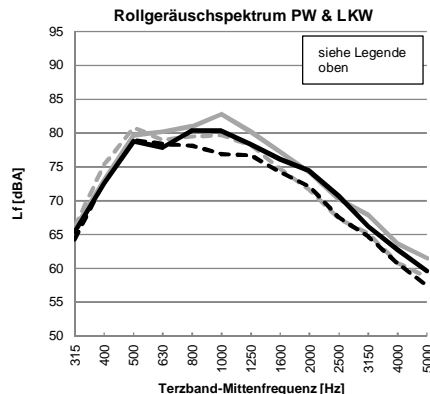
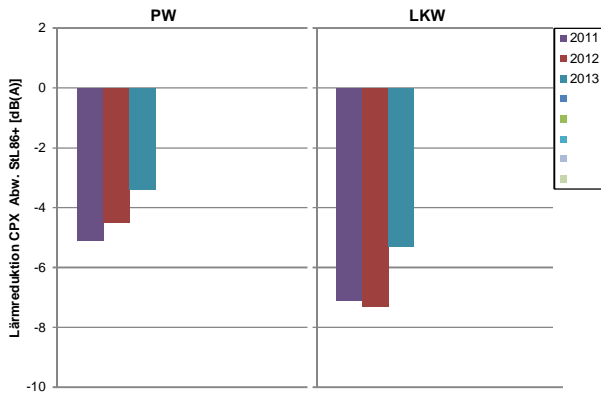
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: -2.6 dB(A) Abw. StL86+ bei 93 Fahrzeugen und 49 km/h
 LKW: -5.1 dB(A) Abw. StL86+ bei 23 Fahrzeugen und 46 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -3.5 dB(A) Abw. StL86+
 87.3 dB(A) CPXP
 LKW: -5.2 dB(A) Abw. StL86+
 88.9 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

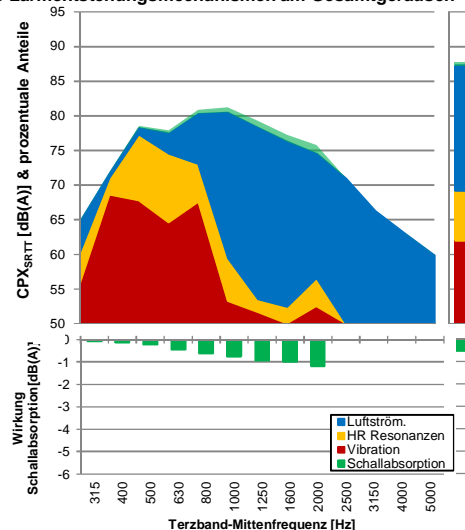
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 48.5%
- Vibrationsschall: 32.1%
- Hohlraumresonanzen: 19.4%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

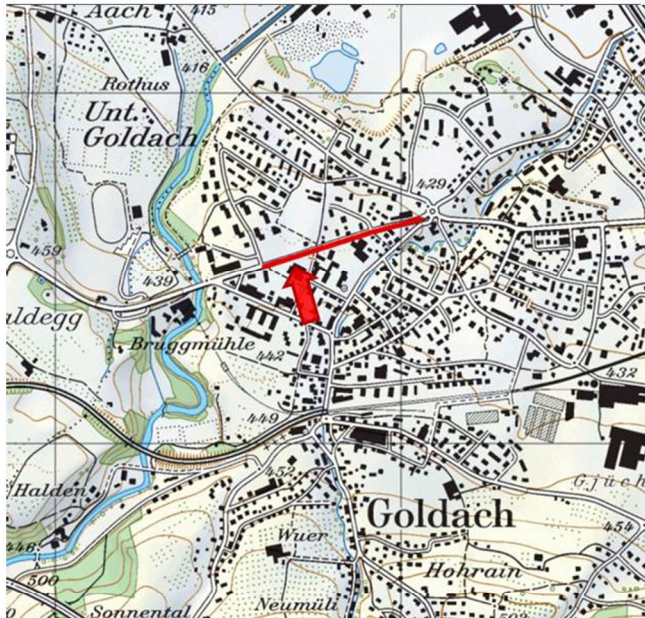
- max.: 1.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.5 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Goldach SG, St. Gallerstrasse: SDA 4 HR 16/20 (SDA 4 C)

Messungen 2013 (3 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 08.07.2010
 Länge: 470 m
 Steigung: 2 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 12500 (2010)
 Anteil LKW (lags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 260531
 Y = 752682

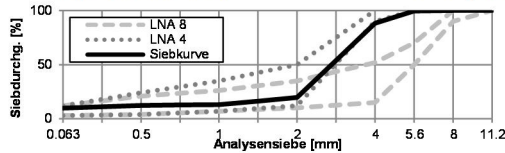
Beschreibung Lage:
 Zwischen Veloständer des Schulhauses
 und Bushaltestelle TZM/Kellen, Höhe
 Einfahrt zum Parkplatz des Schulhauses.
 Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 4 HR 16/20 (SDA 4 C)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

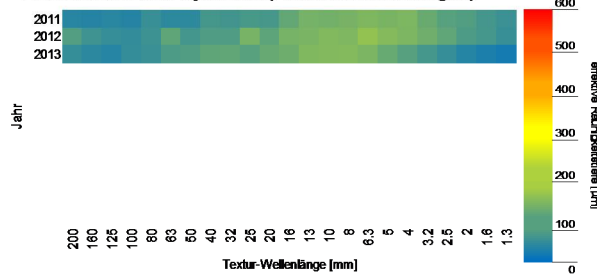
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 17.5 % (Vol)
 löslicher Bindmittelanteil: 6.1 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 20 mm
 min: 14 mm
 max: 28 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 18.5 % (Vol)
 min: 16.9 % (Vol)
 max: 20 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 98.9 %
 min: 97.1 %
 max: 100.9 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

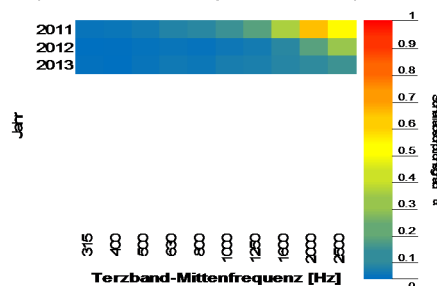


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.7 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.76 mm
 Gestaltfaktor (g): 80.9 %
 A_{max} : 156 μ m
 λ (A_{max}): 8 mm
 Längsebenheit: n.a.
 Querebenheit (Mulde): 3 mm
 Pendulum test (PTV): n.a.

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.12 (Neuzustand: n.a.)
 Frequenz (α max.) 2500 Hz (Neuzustand: n.a.)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 11985 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 20 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Goldach SG, St. Gallerstrasse: SDA 4 HR 16/20 (SDA 4 C)

Messungen 2013 (3 Jahre nach Einbau)

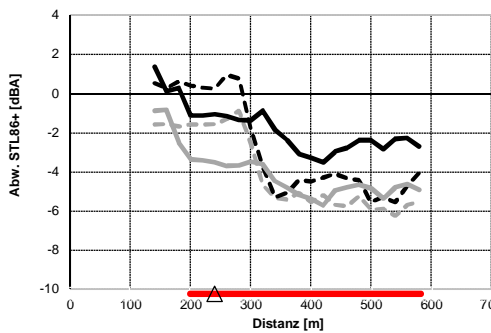
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

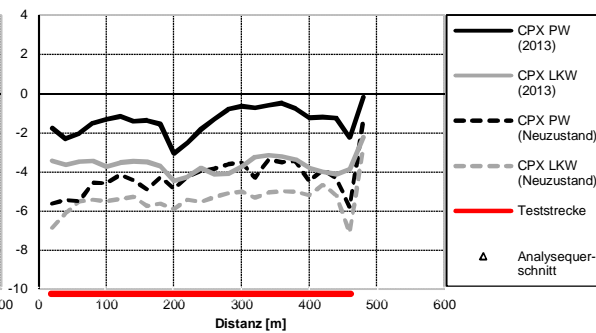
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -1.8 dB(A)
 MW (CPXP): 88.6 dB(A)
 Std.Abw.: 0.7 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -4.1 dB(A)
 MW (CPXH): 89.7 dB(A)
 Std.Abw.: 0.5 dB(A)

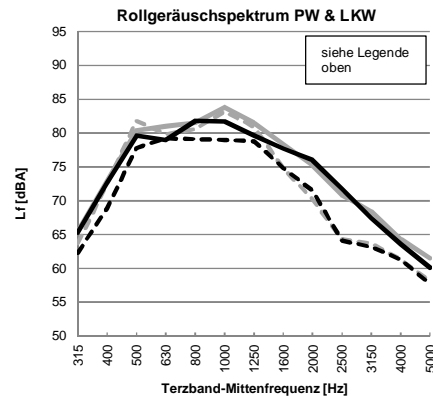
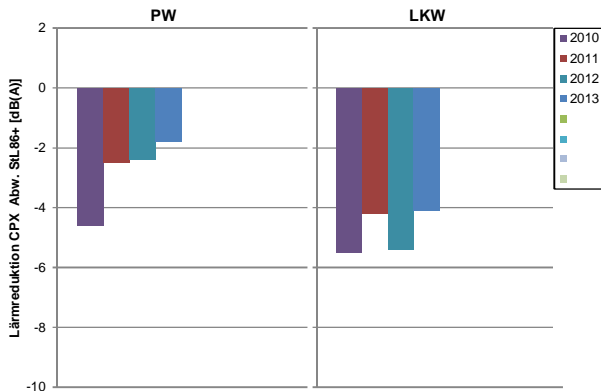
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -1.1 dB(A) Abw. StL86+
 bei 122 Fahrzeugen und 52 km/h
 LKW: n.a.
 n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -1.1 dB(A) Abw. StL86+
 89.2 dB(A) CPXP
 LKW: -3.5 dB(A) Abw. StL86+
 90.1 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

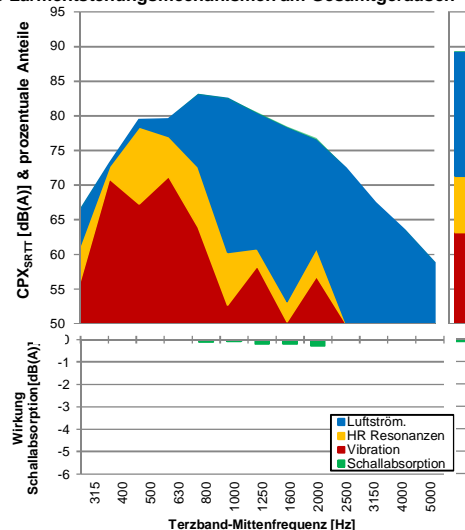
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 45.7%
- Vibrationsschall: 33.6%
- Hohlraumresonanzen: 20.7%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.3 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.1 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Kestenholz SO, Gäustrasse: SDA 6 HR 12/16 (SDA 6 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 19.06.2011
 Länge: 550 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 5500 (2010)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 237074
 Y = 623963

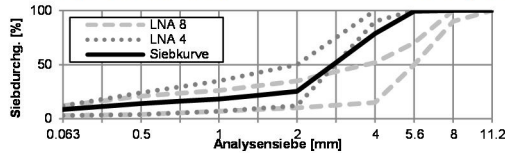
Beschreibung Lage:
 Auf Höhe Vorplatz der Gäustrasse 34,
 gegenüber dem Parkplatz der Flury +
 Zellner AG (Opel). Fahrbahn Richtung
 Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 6 HR 12/16 (SDA 6 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

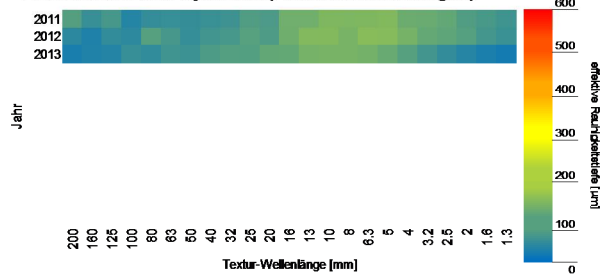
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 11.2 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6.3 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 32 mm
 min: 29 mm
 max: 33 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 13.1 % (Vol)
 min: 11.4 % (Vol)
 max: 14.6 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 98 %
 min: 96.4 %
 max: 99.9 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

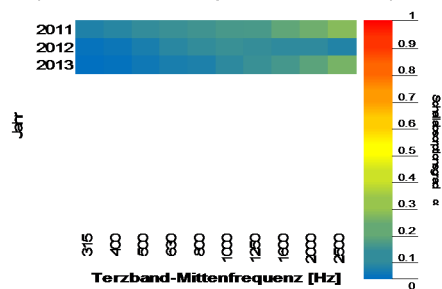


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.61 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.69 mm
 Gestaltfaktor (g): 83 %
 A_{max} : 141 µm
 $\lambda (A_{max})$: 8 mm
 Längsebenheit: $W = 12.1 \% / sW = 1.6 \%$
 Querebenheit (Mulde): 2.5 mm
 Pendulum test (PTV): 56 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.23 (Neuzustand: 0.27)
 Frequenz (α max.) 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 20633 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 14 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Kestenholz SO, Gäustrasse: SDA 6 HR 12/16 (SDA 6 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)

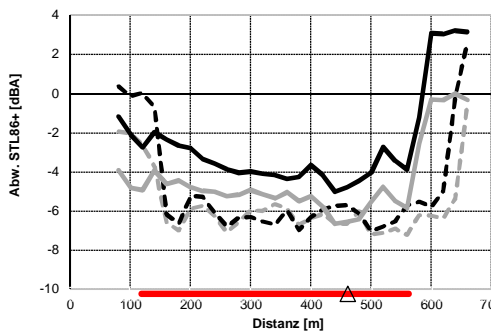
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

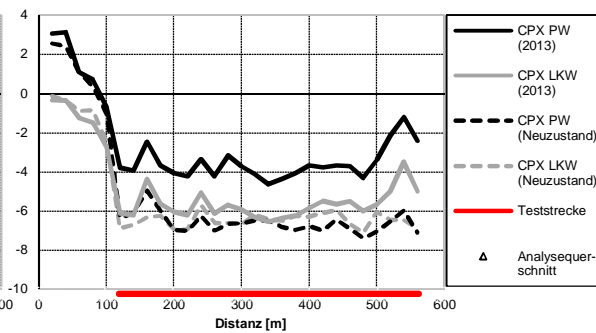
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -3.8 dB(A)
 MW (CPXP): 87 dB(A)
 Std.Abw.: 0.5 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -5.6 dB(A)
 MW (CPXH): 88.5 dB(A)
 Std.Abw.: 0.4 dB(A)

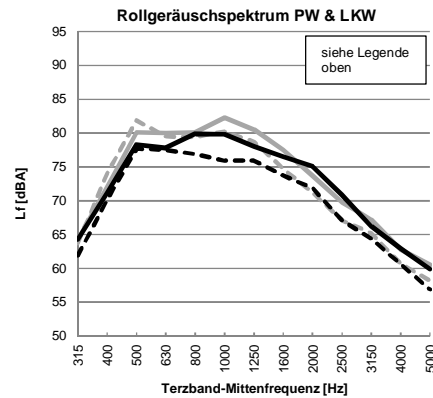
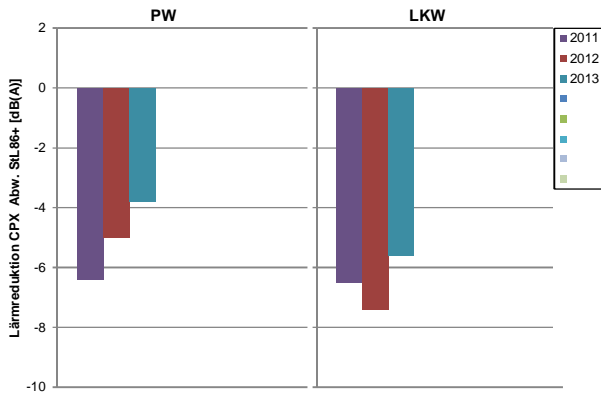
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: n.a.
 LKW: n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -4.8 dB(A) Abw. StL86+
 86.2 dB(A) CPXP
 LKW: -6.6 dB(A) Abw. StL86+
 87.8 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

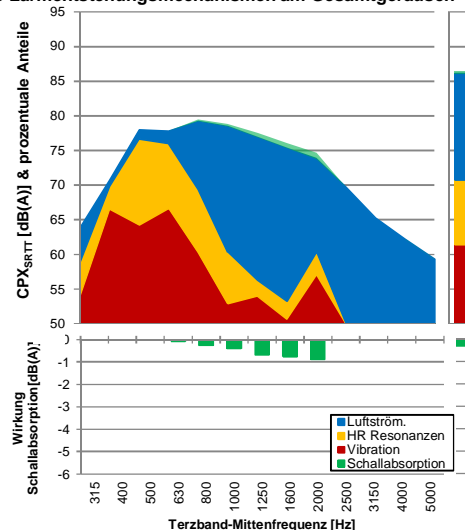
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 42.8%
- Vibrationsschall: 31.5%
- Hohlraumresonanzen: 25.7%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

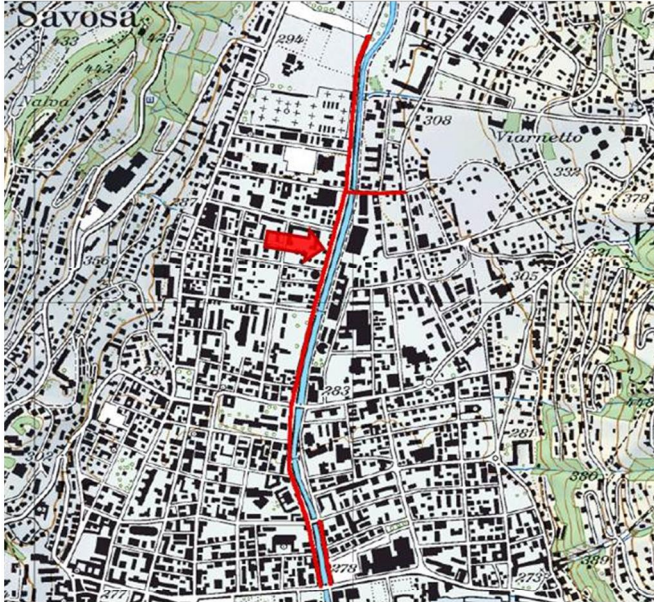
- max.: 0.9 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.3 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Lugano TI, via Ciani: SDA 4 HR 12/16 (SDA 4 B)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 12.05.2012
 Länge: 2000 m
 Steigung: 0 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 20000 (2011)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 97147
 Y = 717929

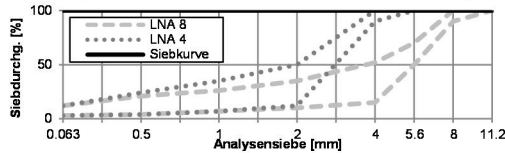
Beschreibung Lage:
 Höhe Hausvorplatz Via Ciani 29,
 Fahrbahn Richtung Süd

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 4 HR 12/16 (SDA 4 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

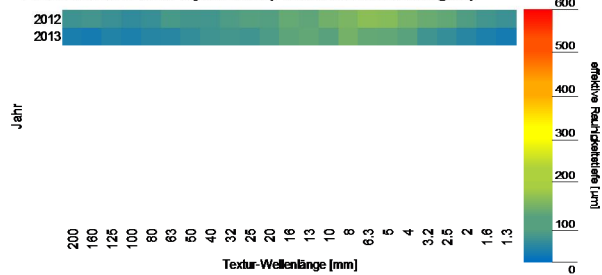
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 13 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6.3 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 34.4 mm
 min: 20 mm
 max: 50 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 13.5 % (Vol)
 min: 9.5 % (Vol)
 max: 18.4 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 99.4 %
 min: 93.8 %
 max: 104.1 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

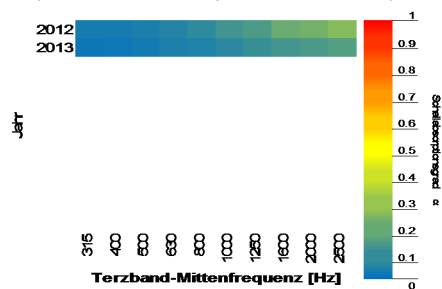


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.47 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.58 mm
 Gestaltfaktor (g): 88.2 %
 A_{max} : 138 µm
 $\lambda (A_{max})$: 8 mm
 Längsebenheit: $W = 15.6 ‰ / sW = 2.6 ‰$
 Querebenheit (Mulde): 4 mm
 Pendulum test (PTV): n.a.

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.16 (Neuzustand: 0.26)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 30281 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 12 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Lugano TI, via Ciani: SDA 4 HR 12/16 (SDA 4 B)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)

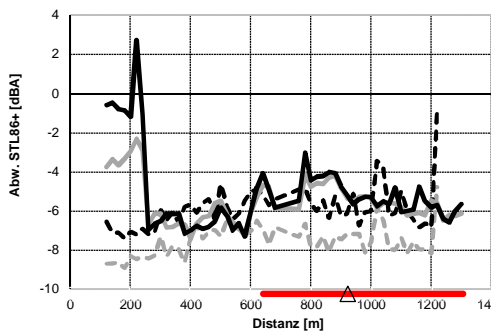
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

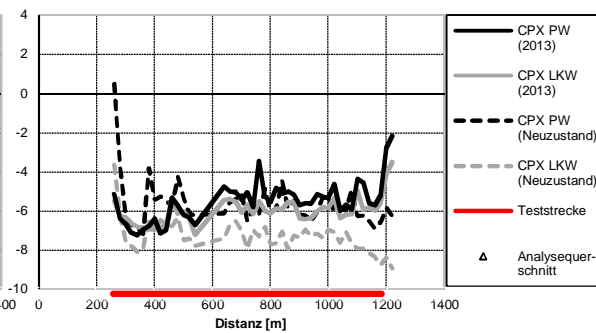
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -5.6 dB(A)
 MW (CPXP): 85.6 dB(A)
 Std.Abw.: 0.6 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -5.9 dB(A)
 MW (CPXH): 88.4 dB(A)
 Std.Abw.: 0.5 dB(A)

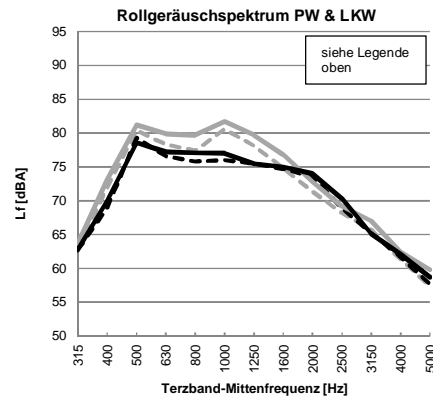
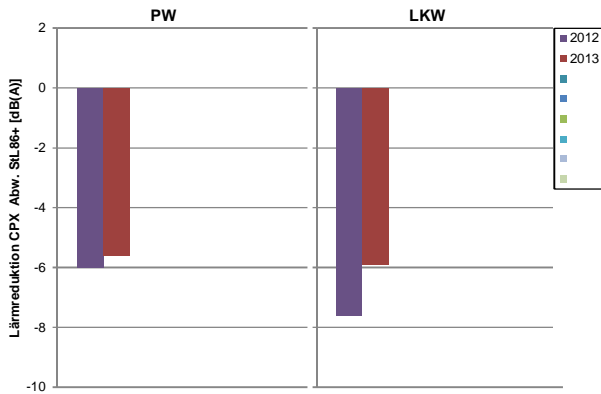
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -4.9 dB(A) Abw. StL86+
 bei 111 Fahrzeugen und 50 km/h
 LKW: n.a.
 n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -5.2 dB(A) Abw. StL86+
 85.9 dB(A) CPXP
 LKW: -5.4 dB(A) Abw. StL86+
 88.7 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

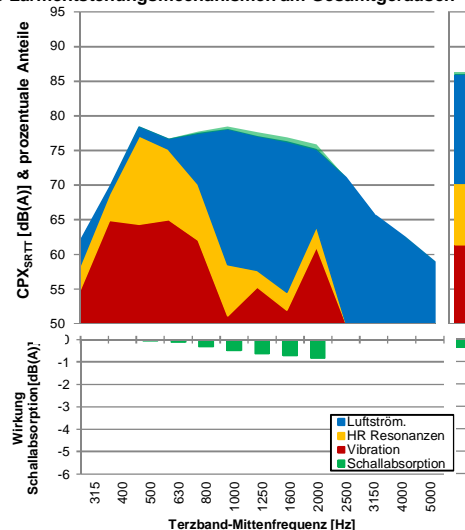
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 43.6%
- Vibrationsschall: 31.6%
- Hohlraumresonanzen: 24.8%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

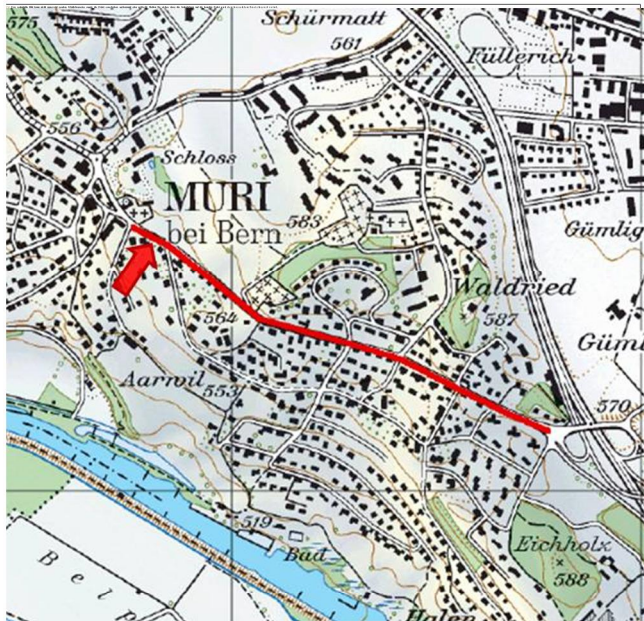
- max.: 0.8 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.4 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Muri BE, Thunstrasse: SDA 4 HR >20 (SDA 4 C)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 24.06.2011
 Länge: 1200 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTV SN 640 005a: 9700 (2006)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt
 Koordinaten: X = 197610
 Y = 603803

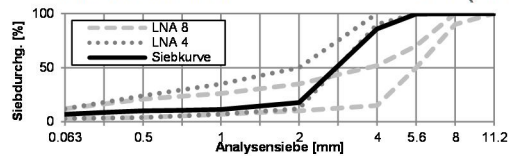
Beschreibung Lage:
 Vor Kirchgemeindehaus Muri - Gümligen
 Thunstrasse Nr.96, auf Höhe Vorplatz.
 Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 4 HR >20 (SDA 4 C)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

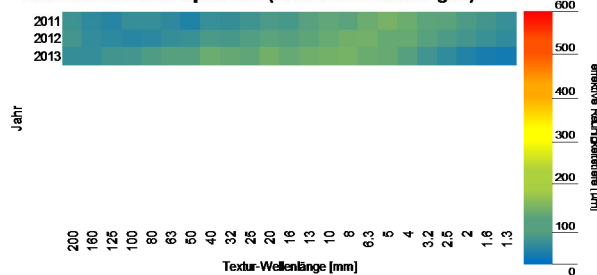
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 18.9 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 5.5 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 30 mm
 min: 24 mm
 max: 29 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 21.8 % (Vol)
 min: 19 % (Vol)
 max: 25.3 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 97.2 %
 min: 93.5 %
 max: 99.5 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

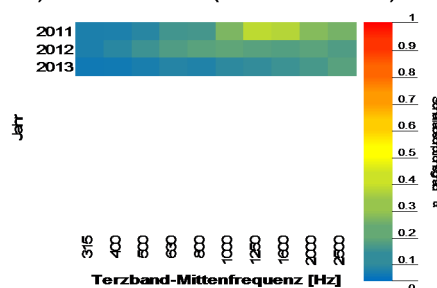


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.75 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.8 mm
 Gestaltfaktor (g): 75.7 %
 A_{max} : 141 µm
 $\lambda (A_{max})$: 8 mm
 Längsebenheit: $W = 6.7 \text{‰} / sW = 1.4 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 3.5 mm
 Pendulum test (PTV): 62 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.17 (Neuzustand: 0.37)
 Frequenz (α max.) 2500 Hz (Neuzustand: 1250 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 20274 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 17 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Muri BE, Thunstrasse: SDA 4 HR >20 (SDA 4 C)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)

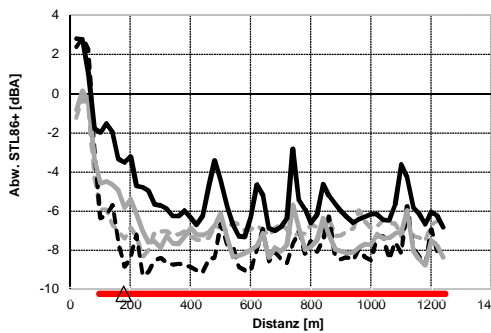
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

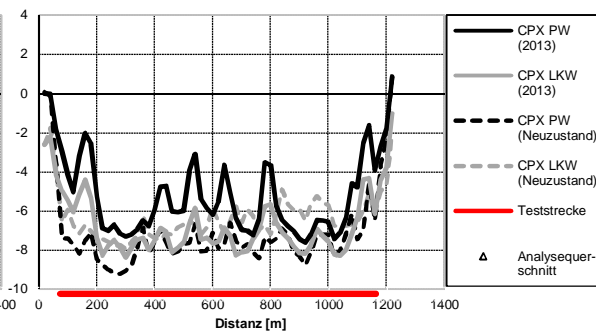
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -6 dB(A)
 MW (CPXP): 85.2 dB(A)
 Std.Abw.: 0.9 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -7.4 dB(A)
 MW (CPXH): 87.2 dB(A)
 Std.Abw.: 0.6 dB(A)

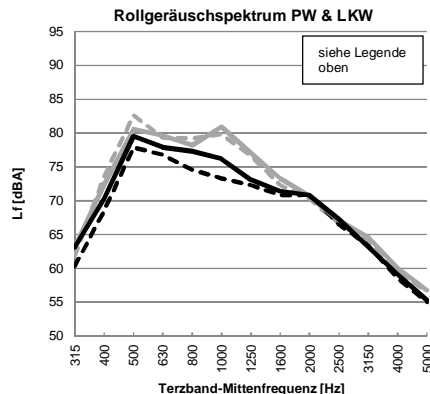
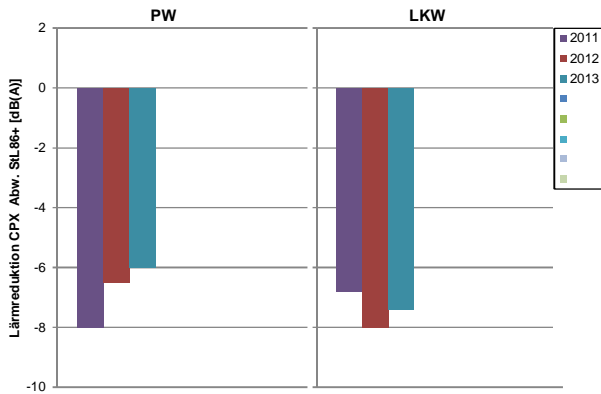
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -2.3 dB(A) Abw. StL86+ bei 103 Fahrzeugen und 47 km/h
 LKW: -3.3 dB(A) Abw. StL86+ bei 21 Fahrzeugen und 42 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -3.5 dB(A) Abw. StL86+
 87.2 dB(A) CPXP
 LKW: -5.9 dB(A) Abw. StL86+
 88.4 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

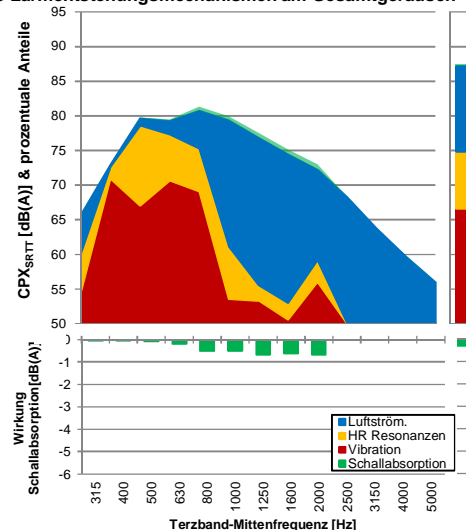
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 33.2%
- Vibrationsschall: 44.5%
- Hohlraumresonanzen: 22.3%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

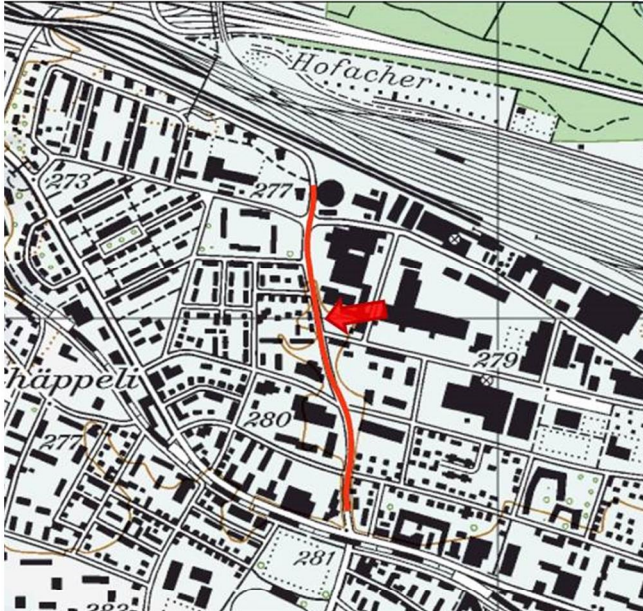
- max.: 0.7 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.3 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Muttenz BL, Birsfelderstrasse: LNA 4 HR 8/12 (LNA 4 A)

Messungen 2013 (Neuzustand)



Teststrecke
 Einbaudatum: 01.09.2013
 Länge: 660 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTV SN 640 005a: 12200 (n.a.)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 264999
 Y = 614663

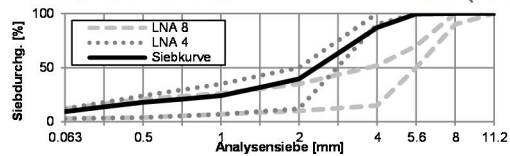
Beschreibung Lage:
 5 m nördlich von Einfahrt Firmengelände
 Birsfelderstr. 38, Fahrbahn Richtung Nord

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: LNA 4 HR 8/12 (LNA 4 A)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

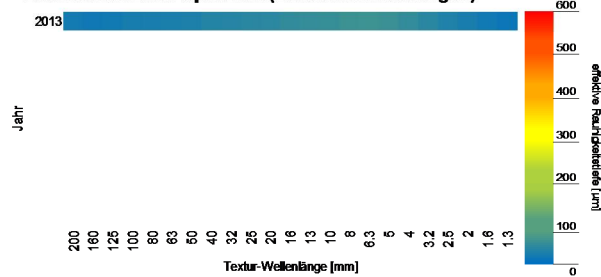
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 8.3 % (Vol)
 löslicher Bindmittelanteil: 6.4 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 31 mm
 min: 25 mm
 max: 35 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 10.8 % (Vol)
 min: 7.5 % (Vol)
 max: 13 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 97.1 %
 min: 94.9 %
 max: 101.3 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

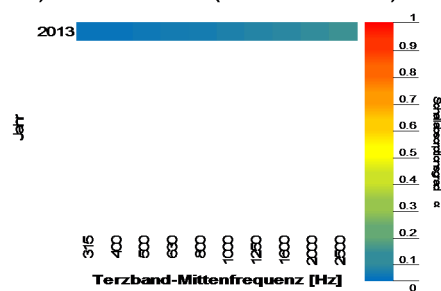


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.32 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.46 mm
 Gestaltfaktor (g): 87.1 %
 A_{max} : 73 μ m
 λ (A_{max}): 6.3 mm
 Längsebenheit: $W = 8 \text{‰} / sW = 1.8 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 3.1 mm
 Pendulum test (PTV): 58 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.12 (Neuzustand: 0.12)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 113445 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 5 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

MuttENZ BL, Birsfelderstrasse: LNA 4 HR 8/12 (LNA 4 A)

Messungen 2013 (Neuzustand)

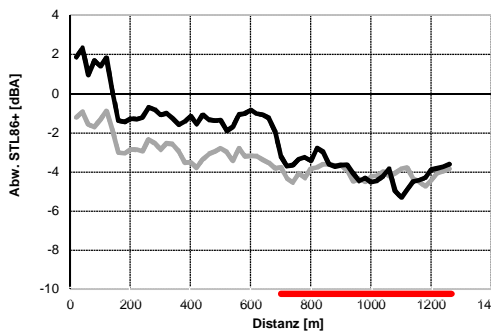
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

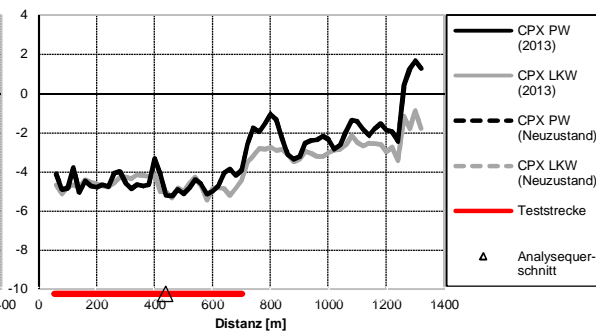
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -4.3 dB(A)
 MW (CPXP): 86.6 dB(A)
 Std.Abw.: 0.5 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -4.4 dB(A)
 MW (CPXH): 89.4 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

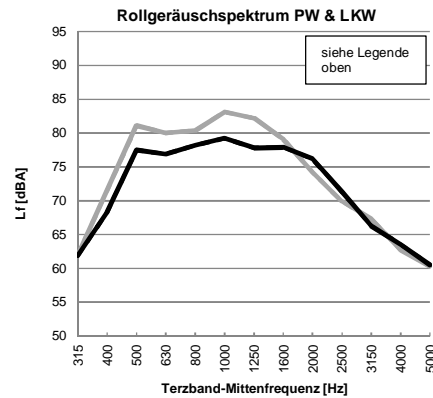
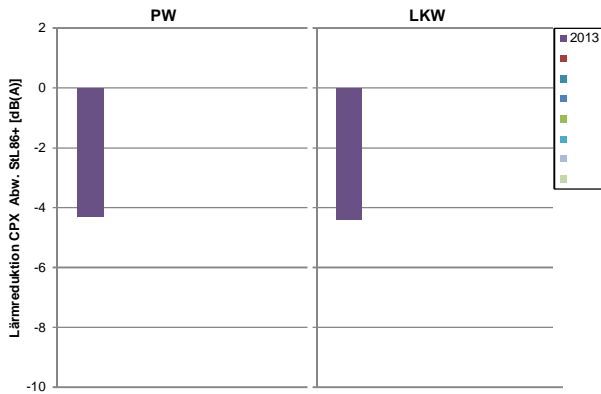
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -3.5 dB(A) Abw. StL86+
 bei 111 Fahrzeugen und 51 km/h
 LKW: n.a.
 n.a.

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -5.2 dB(A) Abw. StL86+
 85.9 dB(A) CPXP
 LKW: -5 dB(A) Abw. StL86+
 89 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

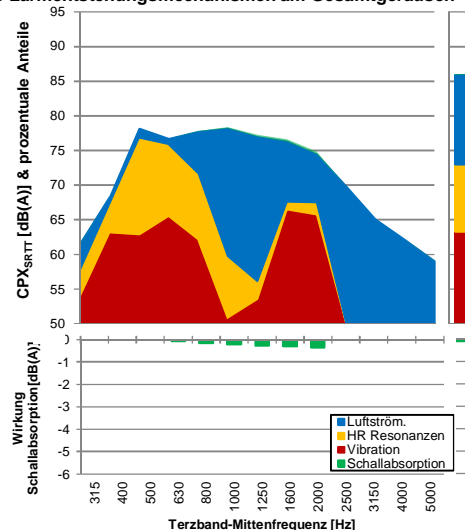
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 36.0%
- Vibrationsschall: 37.0%
- Hohlraumresonanzen: 26.9%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

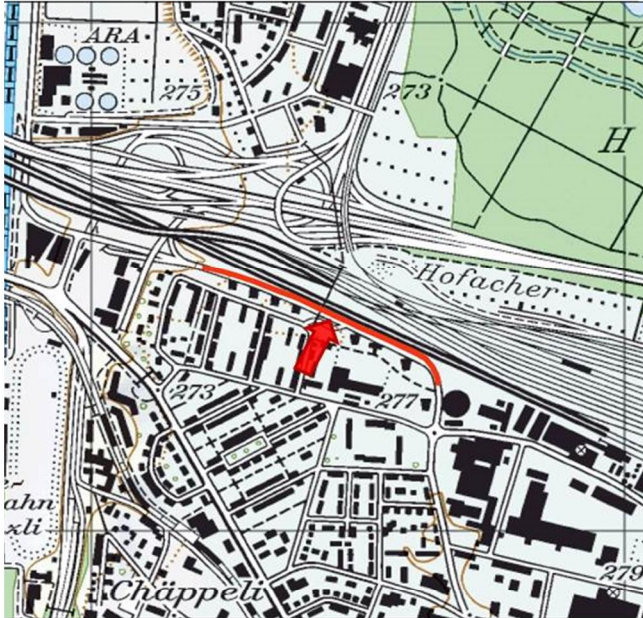
- max.: 0.4 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.1 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Muttenz BL, Birsfelderstrasse: LNA 8 HR 8/12 (LNA 8 A)

Messungen 2013 (Neuzustand)



Teststrecke
 Einbaudatum: 01.05.2013
 Länge: 520 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 12200 (n.a.)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 265428
 Y = 614439

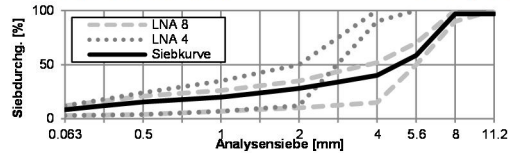
Beschreibung Lage:
 Höhe Fahrbahnrandbegrünung
 (Grasfläche) Einfahrt Dammstrasse,
 Fahrbahn Richtung Ost

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: LNA 8 HR 8/12 (LNA 8 A)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

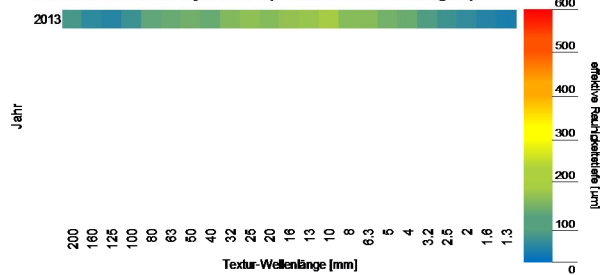
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 7.9 % (Vol)
 löslicher Bindmittelanteil: 5.9 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 34 mm
 min: 29 mm
 max: 42 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 10.8 % (Vol)
 min: 8.8 % (Vol)
 max: 13.6 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 96.9 %
 min: 93.9 %
 max: 99.1 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

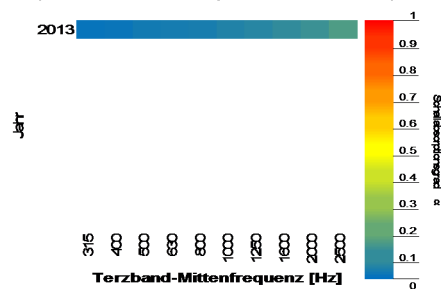


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.65 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.72 mm
 Gestaltfaktor (g): 88 %
 A_{max} : 194 µm
 $\lambda (A_{max})$: 10 mm
 Längsebenheit: $W = 7.3 \text{‰} / sW = 1.3 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 0 mm
 Pendulum test (PTV): 51 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.15 (Neuzustand: 0.15)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 6564 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 35 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

MuttENZ BL, Birsfelderstrasse: LNA 8 HR 8/12 (LNA 8 A)

Messungen 2013 (Neuzustand)

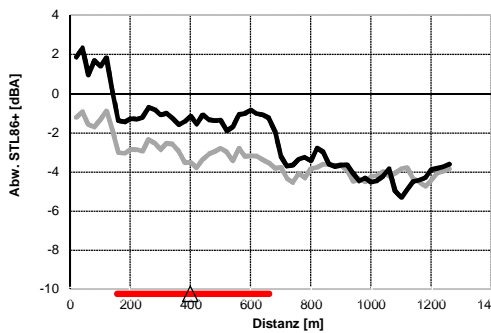
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

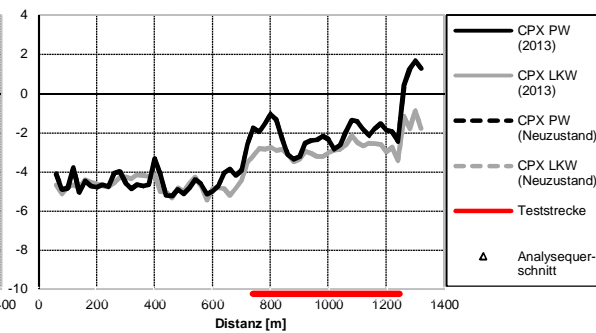
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -1.7 dB(A)
 MW (CPXP): 88.7 dB(A)
 Std.Abw.: 0.5 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -3 dB(A)
 MW (CPXH): 90.5 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

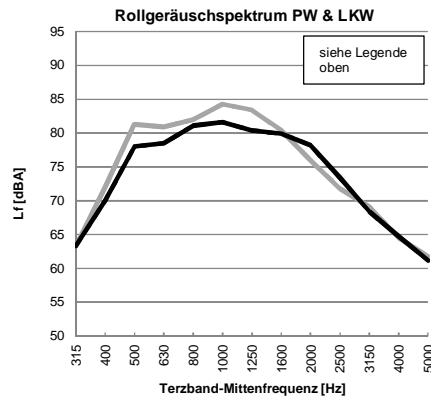
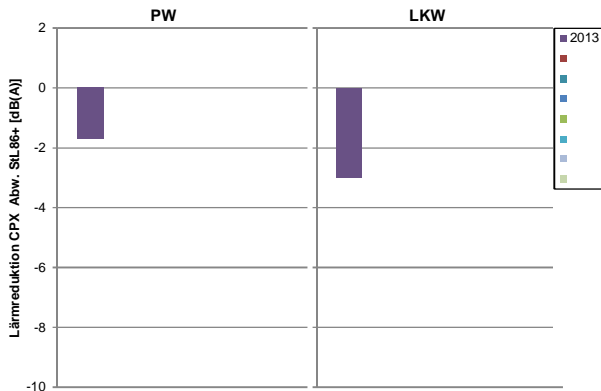
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -1.4 dB(A) Abw. StL86+ bei 97 Fahrzeugen und 60 km/h
 LKW: -2.9 dB(A) Abw. StL86+ bei 2 Fahrzeugen und 60 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -1.2 dB(A) Abw. StL86+
 89.1 dB(A) CPXP
 LKW: -3.5 dB(A) Abw. StL86+
 90.1 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

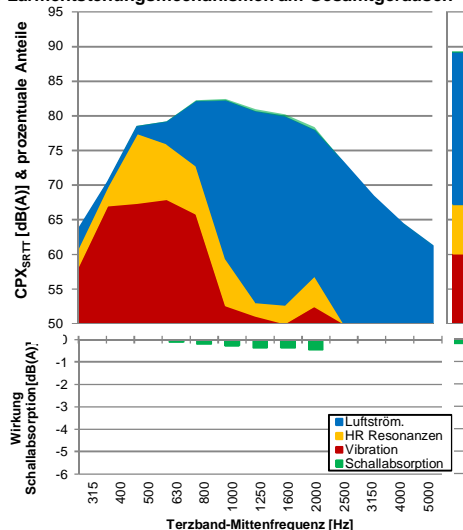
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 55.9%
- Vibrationsschall: 26.0%
- Hohlraumresonanzen: 18.1%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.5 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.2 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Näfels GL, Unterdorfstrasse: SDA 8 12/16 (SDA 8 B)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 01.05.2012
 Länge: 600 m
 Steigung: 0 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 20000 (2011)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 218249
 Y = 723429

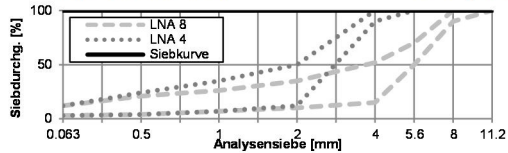
Beschreibung Lage:
 zwischen Bauernhaus Unterdorfstrasse
 47 und Haus Nr. 49, Mitte Feld, Fahrbahn
 Richtung Süd

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 8 12/16 (SDA 8 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

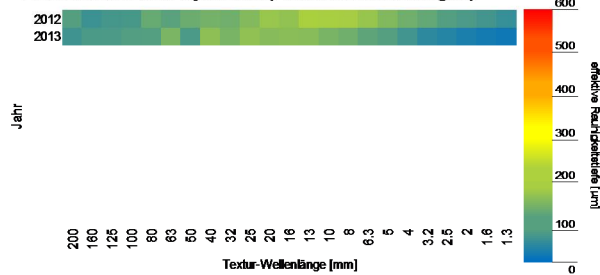
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 12.5 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6.2 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 32 mm
 min: 25 mm
 max: 43 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 13.5 % (Vol)
 min: 12.4 % (Vol)
 max: 15.5 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 98.9 %
 min: 96.7 %
 max: 100.2 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

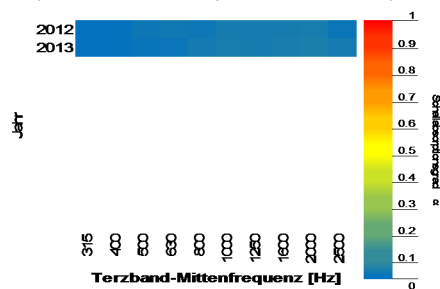


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.84 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.88 mm
 Gestaltfaktor (g): 79.1 %
 A_{max} : 171 µm
 $\lambda (A_{max})$: 25 mm
 Längsebenheit: $W = 8 \text{ ‰} / sW = 1.8 \text{ ‰}$
 Querebenheit (Mulde): 3.3 mm
 Pendulum test (PTV): 49 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.05 (Neuzustand: 0.05)
 Frequenz (α max.) 2000 Hz (Neuzustand: 2000 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 45474 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 10 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Näfels GL, Unterdorfstrasse: SDA 8 12/16 (SDA 8 B)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)

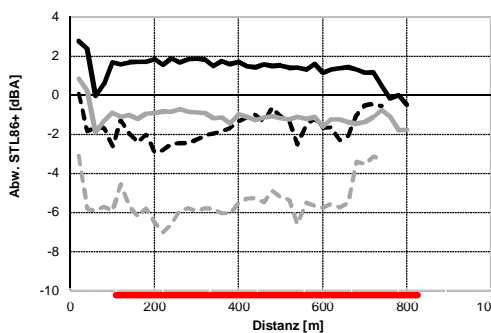
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

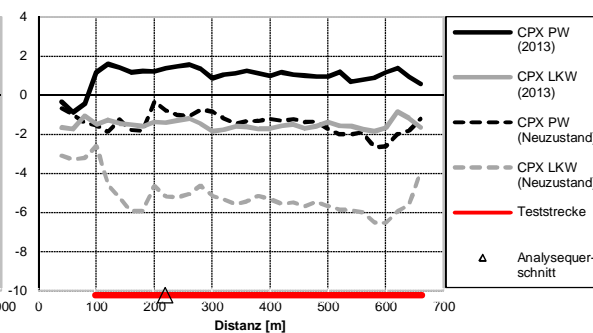
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 1.3 dB(A)
 MW (CPXP): 91.1 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -1.3 dB(A)
 MW (CPXH): 91.7 dB(A)
 Std.Abw.: 0.2 dB(A)

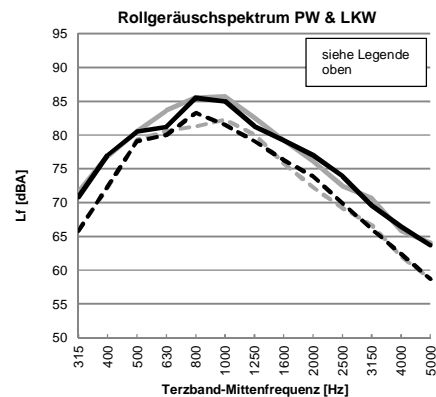
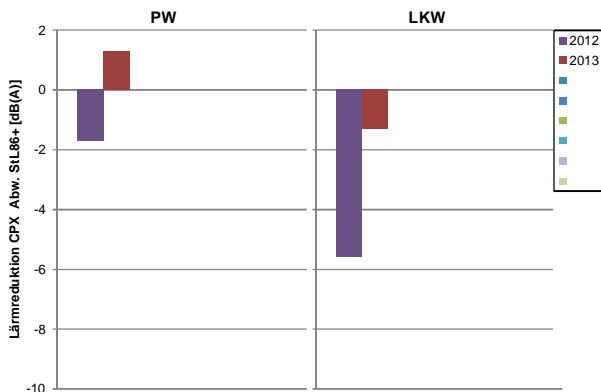
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: 1 dB(A) Abw. StL86+ bei 103 Fahrzeugen und 52 km/h
 LKW: -2.6 dB(A) Abw. StL86+ bei 37 Fahrzeugen und 49 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: 1.4 dB(A) Abw. StL86+
 91.2 dB(A) CPXP
 LKW: -1.4 dB(A) Abw. StL86+
 91.6 dB(A) CPXH

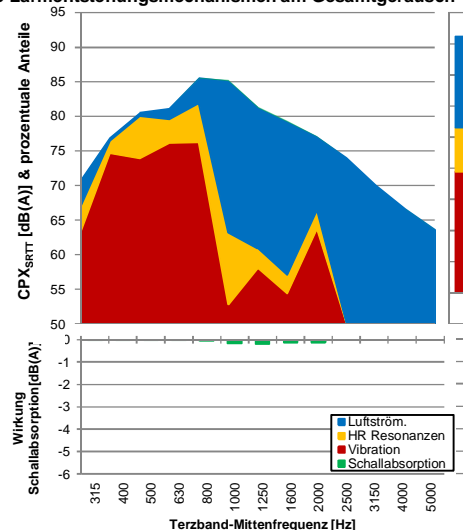
Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
 -Luftströmungsschall: 35.7%
 -Vibrationsschall: 47.3%
 -Hohlraumresonanzen: 17.0%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

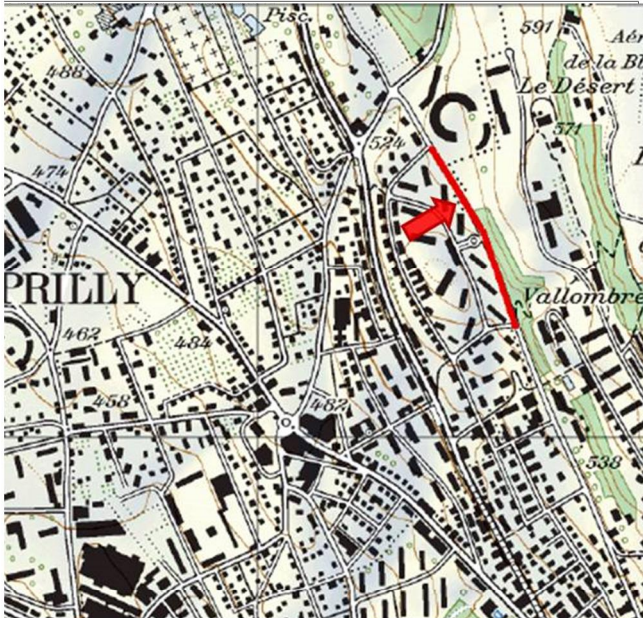
-max.: 0.2 dB(A)
 -Frequenz (max.): 1250 Hz
 -Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Prilly VD, Vallombreuse: SDA 4 HR 8/12 (SDA 4 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 11.05.2011
 Länge: 500 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 5000 (2010)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 154544
 Y = 536490

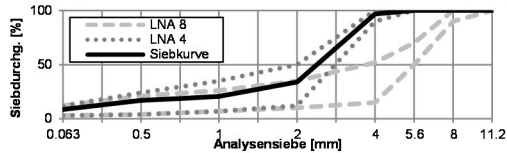
Beschreibung Lage:
 Auf Höhe der alten Tankstelle, 20-30m
 vor der Bushaltestelle. Gegenüber dem
 Spielplatz der neuen Überbauung.
 Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 4 HR 8/12 (SDA 4 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

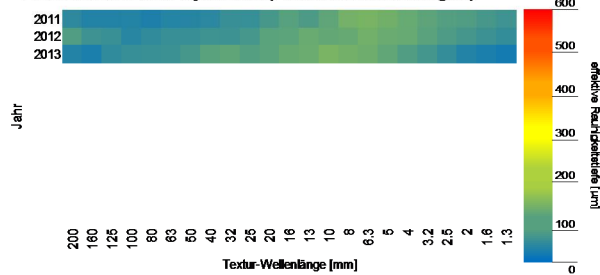
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 9.9 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6.7 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 37 mm
 min: 28 mm
 max: 44 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 11.7 % (Vol)
 min: 9.7 % (Vol)
 max: 13.3 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 98.6 %
 min: 96.3 %
 max: 100.4 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

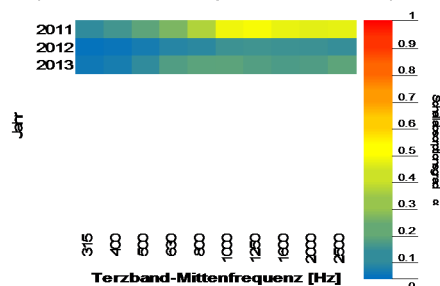


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.58 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.67 mm
 Gestaltfaktor (g): 83.8 %
 A_{max} : 144 µm
 $\lambda (A_{max})$: 10 mm
 Längsebenheit: $W = 6.3 \text{‰} / sW = 1.4 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 1.8 mm
 Pendulum test (PTV): 61 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.18 (Neuzustand: 0.49)
 Frequenz (α max.) 2500 Hz (Neuzustand: 1250 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 29446 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 14 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Prilly VD, Vallombreuse: SDA 4 HR 8/12 (SDA 4 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)

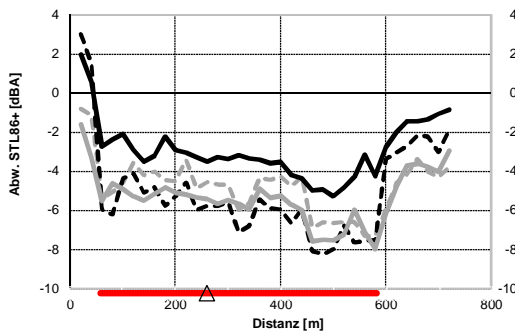
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

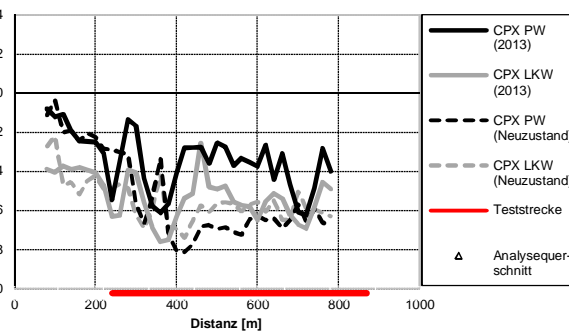
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -4 dB(A)
 MW (CPXP): 86.9 dB(A)
 Std.Abw.: 0.8 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -5.9 dB(A)
 MW (CPXH): 88.3 dB(A)
 Std.Abw.: 0.7 dB(A)

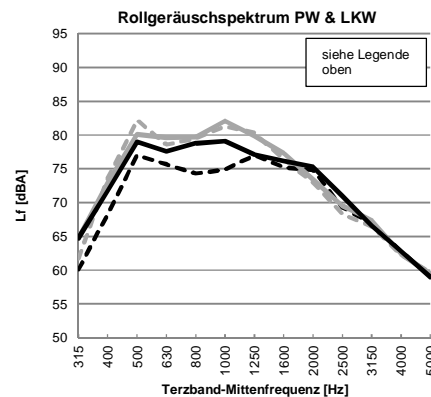
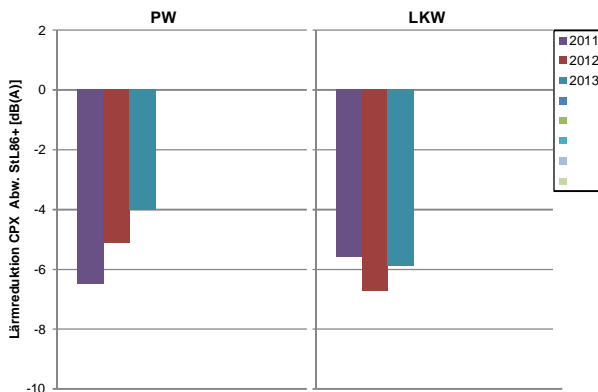
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -4.4 dB(A) Abw. StL86+ bei 130 Fahrzeugen und 47 km/h
 LKW: -5.5 dB(A) Abw. StL86+ bei 1 Fahrzeugen und 40 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -3.5 dB(A) Abw. StL86+
 87.3 dB(A) CPXP
 LKW: -5.4 dB(A) Abw. StL86+
 88.7 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

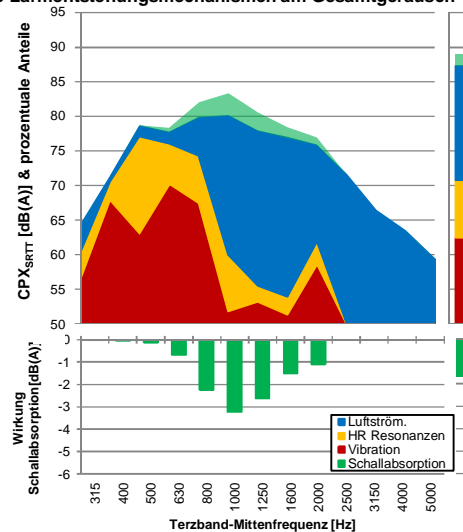
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 44.4%
- Vibrationsschall: 33.4%
- Hohlraumresonanzen: 22.2%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

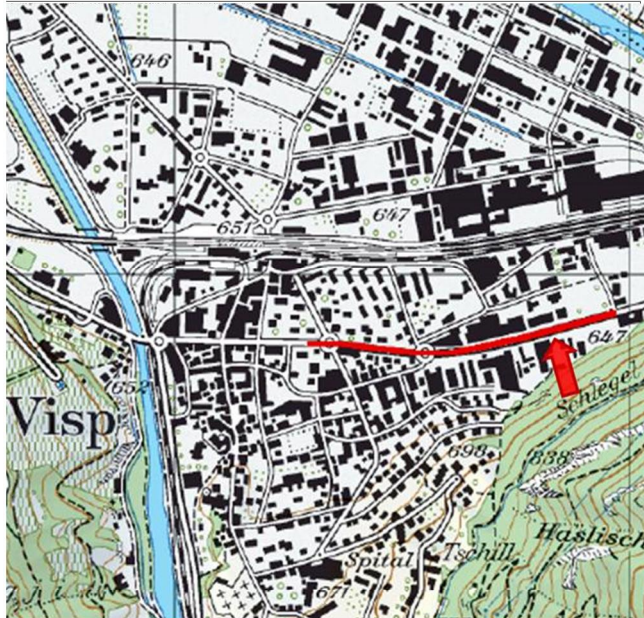
- max.: 3.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 1000 Hz
- Wirkung Total: 1.7 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Visp VS, Kantonsstrasse: LNA 4 HR 8/12 (LNA 4 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 12.07.2011
 Länge: 800 m
 Steigung: n.a.
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 18000 (2010)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 126877
 Y = 634831

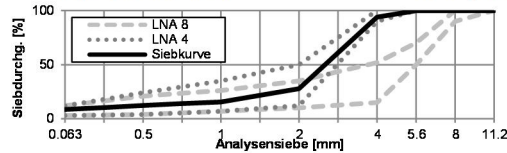
Beschreibung Lage:
 Auf Höhe Werkhofeinfahrt Baugeschäft Schmid und Toyota Garage Rex AG, bei gelb markierten Parkplätzen. Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: LNA 4 HR 8/12 (LNA 4 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

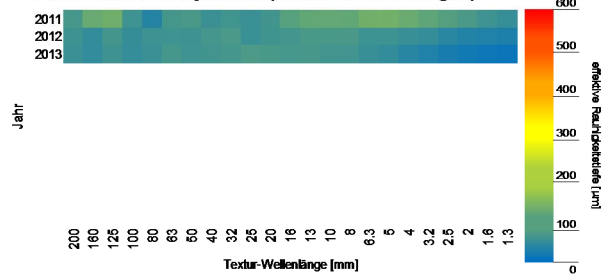
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 12.7 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6.3 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 29.5 mm
 min: 20 mm
 max: 40 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 11.7 % (Vol)
 min: 11.2 % (Vol)
 max: 12.2 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 100.3 %
 min: 99.7 %
 max: 100.9 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

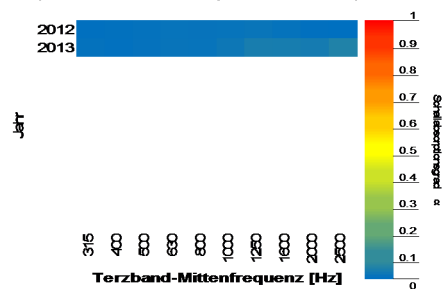


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.53 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.63 mm
 Gestaltfaktor (g): 71.5 %
 A_{max} : 90 µm
 $\lambda (A_{max})$: 25 mm
 Längsebenheit: $W = 7.2 \text{‰} / sW = 0.9 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 3.5 mm
 Pendulum test (PTV): 54 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.06 (Neuzustand: n.a.)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: n.a.)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 123096 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 3.5 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Visp VS, Kantonsstrasse: LNA 4 HR 8/12 (LNA 4 B)

Messungen 2013 (2 Jahre nach Einbau)

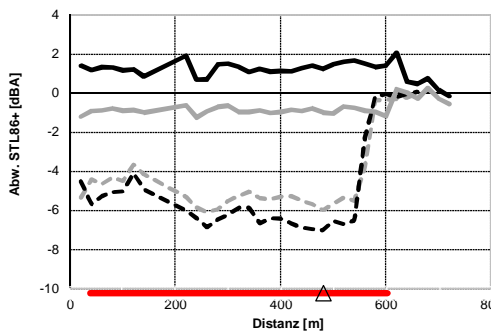
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

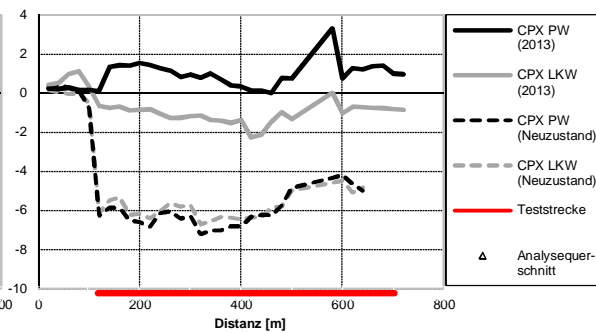
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 1.1 dB(A)
 MW (CPXP): 90.9 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -1 dB(A)
 MW (CPXH): 91.9 dB(A)
 Std.Abw.: 0.2 dB(A)

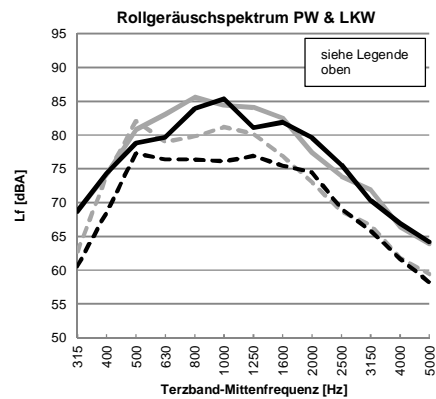
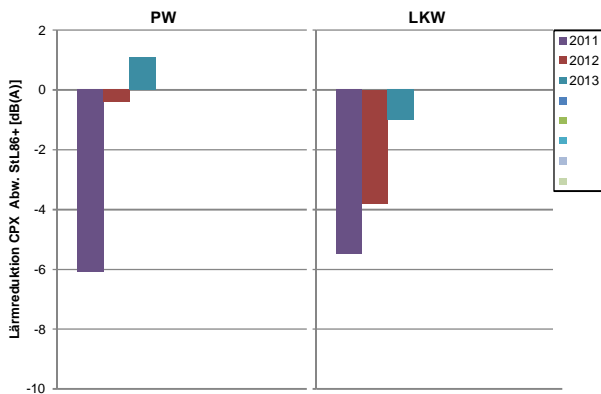
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: 0.3 dB(A) Abw. StL86+ bei 106 Fahrzeugen und 53 km/h
 LKW: -2.3 dB(A) Abw. StL86+ bei 48 Fahrzeugen und 46 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: 1.2 dB(A) Abw. StL86+
 91.1 dB(A) CPXP
 LKW: -1 dB(A) Abw. StL86+
 91.9 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

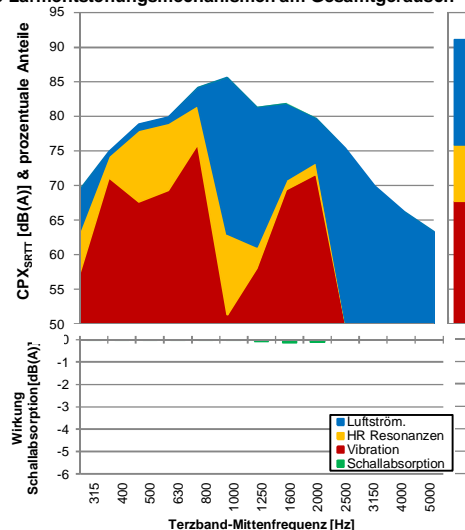
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 37.0%
- Vibrationsschall: 43.0%
- Hohlraumresonanzen: 19.9%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

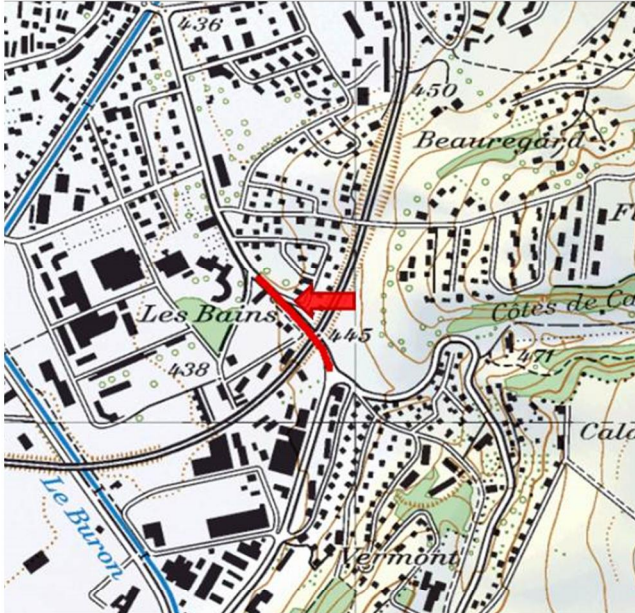
- max.: 0.1 dB(A)
- Frequenz (max.): 1600 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Yverdon VD, Passage supérieure Pomy: SDA 8 HR ? (SDA 8 C)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 01.08.2012
 Länge: 170 m
 Steigung: 3 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 26000 (2011)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 180262
 Y = 539858

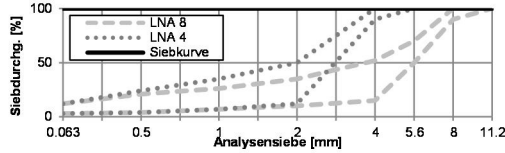
Beschreibung Lage:
 Höhe Einmündung Rue de Montchoisi,
 Fahrbahn Richtung Nord.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 8 HR ? (SDA 8 C)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

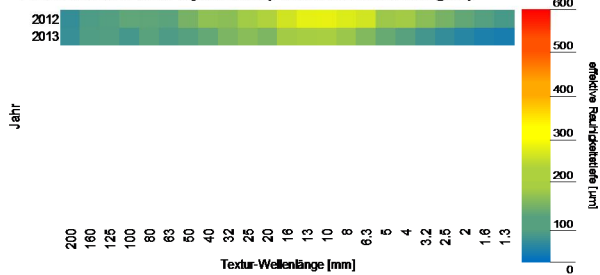
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 14.4 % (Vol)
 löslicher Bindemittelanteil: 6 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: n.a.
 Hohlraumgehalt: n.a.
 Verdichtungsgrad: n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

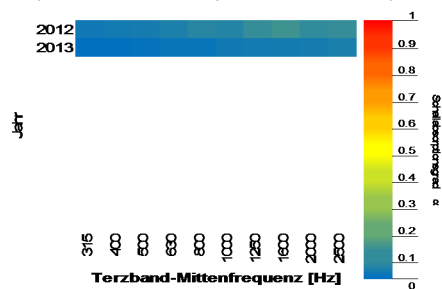


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.88 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.9 mm
 Gestaltfaktor (g): 84 %
 A_{max} : 200 µm
 $\lambda (A_{max})$: 10 mm
 Längsebenheit: $W = 12.5 \text{ ‰} / sW = 2 \text{ ‰}$
 Querebenheit (Mulde): 1.5 mm
 Pendulum test (PTV): 56 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.05 (Neuzustand: 0.12)
 Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 1600 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 10483 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 26 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Yverdon VD, Passage supérieure Pomy: SDA 8 HR ? (SDA 8 C)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)

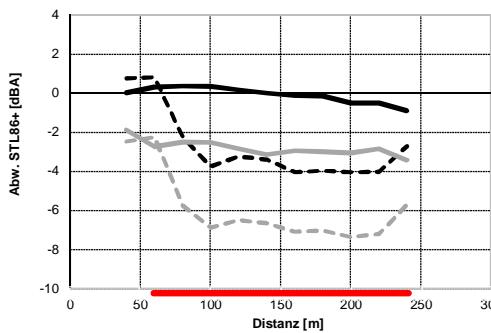
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

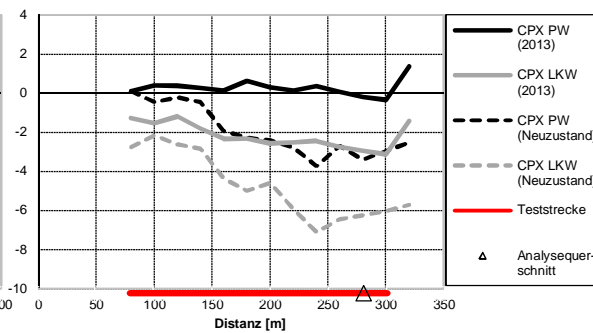
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 0 dB(A)
 MW (CPXP): 90.1 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -2.5 dB(A)
 MW (CPXH): 90.8 dB(A)
 Std.Abw.: 0.5 dB(A)

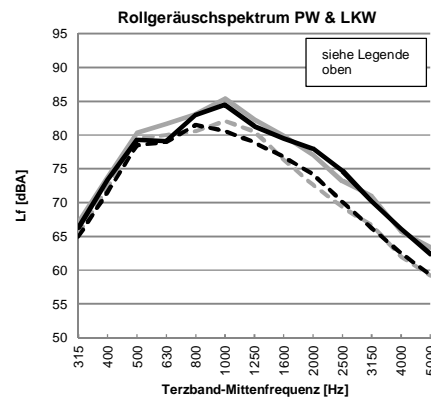
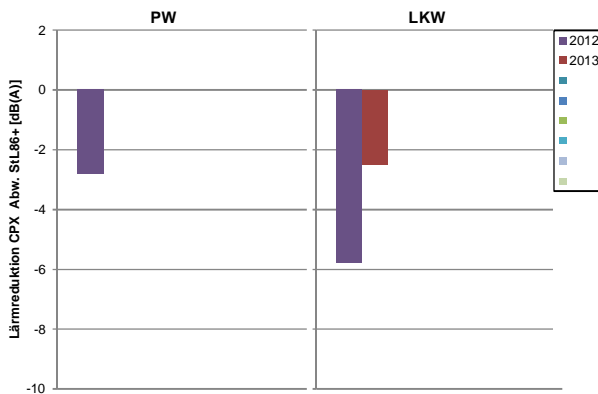
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: 1 dB(A) Abw. StL86+ bei 102 Fahrzeugen und 52 km/h
 LKW: -4.2 dB(A) Abw. StL86+ bei 2 Fahrzeugen und 48 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -0.2 dB(A) Abw. StL86+
 89.9 dB(A) CPXP
 LKW: -3 dB(A) Abw. StL86+
 90.5 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

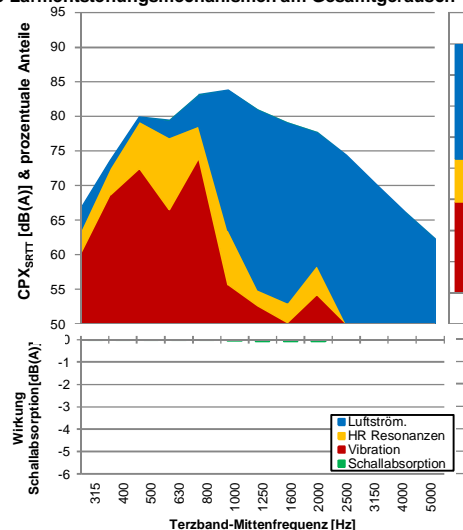
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 46.1%
- Vibrationsschall: 36.5%
- Hohlraumresonanzen: 17.4%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.1 dB(A)
- Frequenz (max.): 1250 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Zürich-Oerlikon ZH, Wallisellenstrasse: LNA 8 HR 8/12 (LNA 8 B)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)



Teststrecke
 Einbaudatum: 19.06.2012
 Länge: 400 m
 Steigung: 3 %
 Durchschn. tägl. Verkehr
 DTN SN 640 005a: 5000 (2011)
 Anteil LKW (tags): n.a.
 Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysequerschnitt ↓
 Koordinaten: X = 251718
 Y = 684752

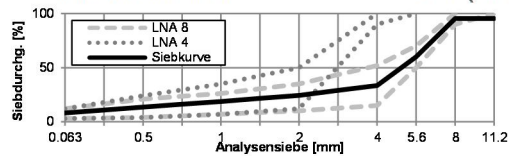
Beschreibung Lage:
 Höhe Parkplatz zwischen Wallisellenstr.
 290 und 294, Fahrbahn Richtung Ost

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: LNA 8 HR 8/12 (LNA 8 B)
 Bindemittel: n.a.
 Mineralstoffe: n.a.

Mischgutuntersuchung

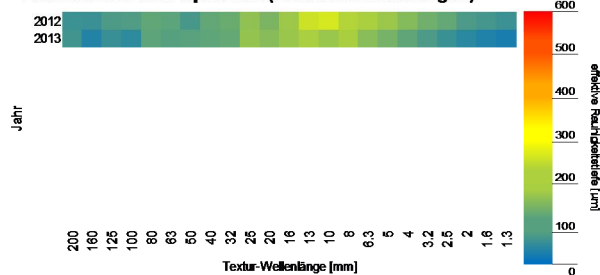
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 8.8 % (Vol)
 löslicher Bindmittelanteil: 5.8 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 34 mm
 min: 25 mm
 max: 49 mm
 Hohlraumgehalt: MW: 8.8 % (Vol)
 min: 6.9 % (Vol)
 max: 12.1 % (Vol)
 Verdichtungsgrad: MW: 100.2 %
 min: 96.5 %
 max: 102.8 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

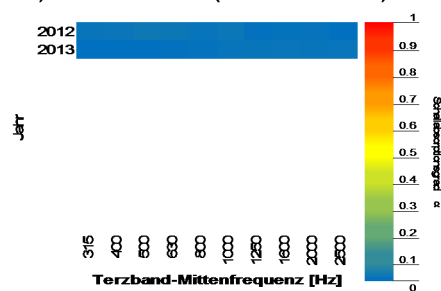


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.67 mm
 Rauhtiefe (ETD): 0.74 mm
 Gestaltfaktor (g): 88.5 %
 A_{max} : 201 µm
 $\lambda (A_{max})$: 12.5 mm
 Längsebenheit: $W = 9.4 \text{‰} / sW = 1.8 \text{‰}$
 Querebenheit (Mulde): 2.1 mm
 Pendulum test (PTV): 63 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.02 (Neuzustand: 0.03)
 Frequenz (α max.): 1600 Hz (Neuzustand: 500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 38701 Pa*s/m
 Max. Durchfluss: 10 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.
 Ausflusszeit: n.a.

Zürich-Oerlikon ZH, Wallisellenstrasse: LNA 8 HR 8/12 (LNA 8 B)

Messungen 2013 (1 Jahr nach Einbau)

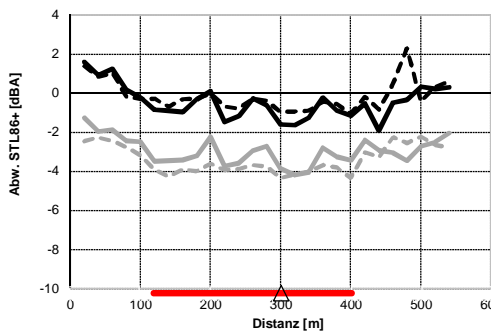
Testbelag

Rollgeräuschmessungen CPX

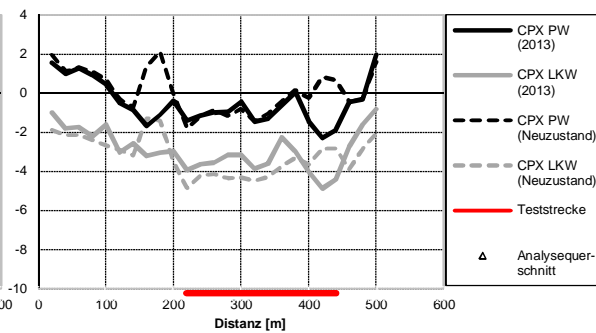
Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -1.4 dB(A)
 MW (CPXP): 89 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -3.8 dB(A)
 MW (CPXH): 89.8 dB(A)
 Std.Abw.: 0.3 dB(A)

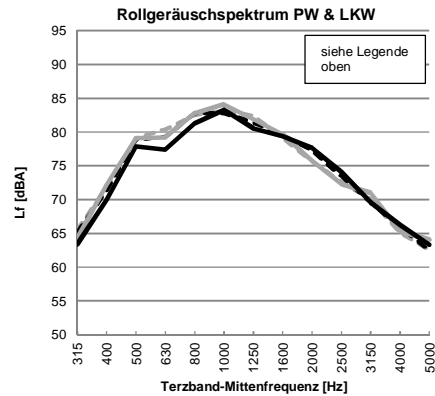
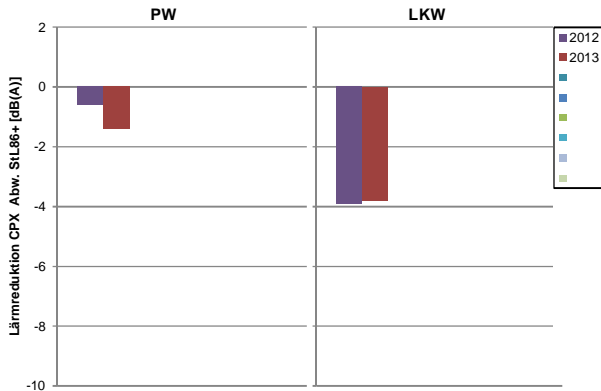
Fahrbahn Richtung Ost



Fahrbahn Richtung West



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -1.3 dB(A) Abw. StL86+ bei 99 Fahrzeugen und 45 km/h
 LKW: -3.8 dB(A) Abw. StL86+ bei 4 Fahrzeugen und 41 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -1.6 dB(A) Abw. StL86+
 88.8 dB(A) CPXP
 LKW: -3.9 dB(A) Abw. StL86+
 89.8 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

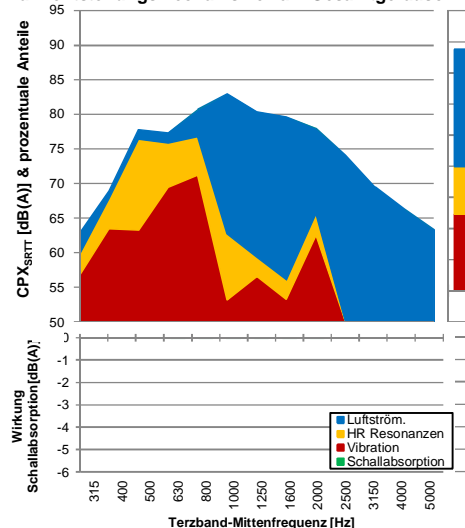
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 48.5%
- Vibrationsschall: 31.6%
- Hohlraumresonanzen: 19.9%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0 dB(A)
- Frequenz (max.): 1600 Hz
- Wirkung Total: -0.1 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



ANHANG C: MESSDATEN OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

C1: Effektive Rauigkeitstiefe

Teststrecke	Mischgutsorte	Mittlere Rauigkeitstiefe der Testbeläge [mm]				
		2011	2012	2013	2014	2015
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			0.18		
Visp	SDA 4 HR 8/12	0.55	0.5	0.29		
Prilly	SDA 4 HR 8/12	0.44	0.5	0.43		
Lugano	SDA 4 HR 12/16		0.54	0.4		
Muri	SDA 4 HR 16/20	0.48	0.59	0.72		
Goldach	SDA 4 HR > 20	0.64	0.72	0.64		
Basel Morgartenring	SDA 4 HR > 20		0.74	0.45		
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	0.59	0.66	0.71		
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 12/16		0.73	0.43		
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12		0.73	0.76		
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		0.73	0.45		
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	0.68	0.53	0.66		
Näfels	SDA 8 HR 12/16		0.78	0.54		
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	0.87	1.1	1.05		
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		0.94	0.47		

C2: Maximale Rauigkeitstiefe A_{max}

Teststrecke	Mischgutsorte	A _{max} [µm]				
		2011	2012	2013	2014	2015
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			194		
Visp	SDA 4 HR 8/12	135.9	86.9	138		
Prilly	SDA 4 HR 8/12	143.1	134.8	144		
Lugano	SDA 4 HR 12/16		164.6	90		
Muri	SDA 4 HR 16/20	150.1	136.1	156		
Goldach	SDA 4 HR > 20	149.9	173.5	141		
Basel Morgartenring	SDA 4 HR > 20		177.4	150		
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	154.4	160.1	141		
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 12/16			148		
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			73		
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		252.3	198		
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	193.7	199.1	171		
Näfels	SDA 8 HR 12/16		202.2	201		
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	229.5	276.6	222		
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		273.3	200		

C3: Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe $\lambda(A_{max})$

		$\lambda(A_{max})$ [mm]				
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			6.3		
Visp	SDA 4 HR 8/12	5.0	12.5	25.0		
Prilly	SDA 4 HR 8/12	6.3	6.3	10.0		
Lugano	SDA 4 HR 12/16		6.3	8.0		
Muri	SDA 4 HR 16/20	400.0	6.3	8.0		
Goldach	SDA 4 HR > 20	6.3	6.3	8.0		
Basel Morgartenring	SDA 4 HR > 20		160	10.0		
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	5.0	6.3	8.0		
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 12/16			8.0		
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			10.0		
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		10	12.5		
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	10.0	10	12.5		
Näfels	SDA 8 HR 12/16		12.5	25.0		
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	8.0	10	12.5		
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		10	10.0		

C4: Gestaltfaktor g

		Gestaltfaktor g [%]				
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			88		
Visp	SDA 4 HR 8/12	85.5	75.5	71.5		
Prilly	SDA 4 HR 8/12	88.7	88.0	83.8		
Lugano	SDA 4 HR 12/16		88.4	88.2		
Muri	SDA 4 HR 16/20	85.6	81.6	80.9		
Goldach	SDA 4 HR > 20	87.1	86.1	81.6		
Basel Morgartenring	SDA 4 HR > 20		86.3	84.4		
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	86.9	87.2	83		
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 12/16			86.1		
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			87.1		
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		87.1	88.5		
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	87.5	88.2	85.4		
Näfels	SDA 8 HR 12/16		87.7	79.1		
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	85.1	85.2	82.2		
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		85.1	84		

C5: Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderstand						
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12			113445		
Visp	SDA 4 HR 8/12	28289	26474	123096		
Prilly	SDA 4 HR 8/12	86540	59356	59356		
Lugano	SDA 4 HR 12/16		32873	30281		
Muri	SDA 4 HR 16/20	6531	10887	20274		
Goldach	SDA 4 HR > 20	8471	8267	11985		
Basel Morgartenring	SDA 4 HR > 20		4137	4971		
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	12182	18778	20633		
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 12/16			10298		
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12			6564		
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		43604	43104		
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	25005	45194	41917		
Näfels	SDA 8 HR 12/16		29803	45474		
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	3136	4540	4264		
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		5199	10483		

C6: Wasserdurchlässigkeit

		Wasserdurchlässigkeit [l/min]				
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015
MuttENZ 2	SDA 4 HR 8/12					
Visp	SDA 4 HR 8/12	< 3	< 3			
Prilly	SDA 4 HR 8/12	< 3	< 3			
Lugano	SDA 4 HR 12/16		< 3			
Muri	SDA 4 HR 16/20	< 3	< 3			
Goldach	SDA 4 HR > 20	< 3	< 3			
Basel Morgartenring	SDA 4 HR > 20		< 3			
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	< 3	< 3			
Basel Riehenstrasse	SDA 6 HR 12/16					
MuttENZ 1	SDA 8 HR 8/12					
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		< 3			
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	< 3	< 3			
Näfels	SDA 8 HR 12/16		< 3			
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	< 3	< 3			
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		< 3			