



SCHLUSSBERICHT

FORSCHUNGSPAKET LÄRMARME BELÄGE INNERORTS

TEILPROJEKT (TP) 3: LANGZEITMONITORING

Projektteam: IMP Bautest AG, Grolimund + Partner AG, Müller-BBM Schweiz AG
30. März 2017

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU
Bundesamt für Strassen ASTRA

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

GROLIMUND + PARTNER AG
THUNSTRASSE 101A, CH-3006 BERN, SCHWEIZ
info@grolimund-partner.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 Baustest 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 Baustest AG
- + Ziegler Toni, Dipl. Natw. ETH, Grolimund + Partner AG
- + Angst Christian, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH, IMP Baustest AG
- + Beckenbauer Thomas, Dr.-Ing., Müller-BBM Schweiz AG

Begleitung BAFU: Dr. Dominique Schneuwly

Begleitung ASTRA: Sabine Würmli

Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU und des ASTRA verfasst. Für den Inhalt sind allein die Auftragsnehmer verantwortlich.

Version	Datum	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	24.05.2016	Entwurf	Projektteam
V 2.0	31.08.2016	Schlussbericht	Projektleitung
V 3.0	27.10.2016	Schlussbericht bereinigt	Projektleitung
V 4.0	30.03.2017	Schlussbericht bereinigt	Projektleitung

INHALT

1	AUSGANGSLAGE	4
1.1	Projekthintergrund	4
1.2	Projektorganisation	4
2	EINLEITUNG	5
2.1	Ziel & Auftrag	5
2.2	Grundlagen	6
2.3	Kategorisierung der SDA Deckschichten	7
2.4	Vorgehen	9
3	TESTSTRECKEN	11
3.1	Übersicht Teststrecken	11
3.2	Mischgutuntersuchungen	13
3.3	Bohrkernuntersuchung	14
3.4	Oberflächeneigenschaften	16
4	RESULTATE & DISKUSSION	20
4.1	Akustische Wirkung im Neuzustand	20
4.2	Veränderung der Beläge seit Einbau	34
4.3	Performance der Beläge im Quervergleich	58
5	SYNTHESE	59
5.1	Vielversprechende 4-er Beläge	60
5.2	Vielversprechende 8-er Beläge	62
5.3	Die 6-er Beläge als Mittelweg?	64
5.4	Welche akustischen Leistungen können von SDA Belägen erwartet werden?	64
5.5	Nicht aussagekräftige Beläge bezüglich ihrer jeweiligen Belagsklasse (von der Synthese ausgeschlossen)	64
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	66
6.1	Einschränkende Bemerkungen	66
6.2	Wichtigste Folgerungen	66
6.3	Empfehlungen	67
7	LITERATURVERZEICHNIS	69
	ANHANG A: METHODEN	
1	AKUSTISCHE MESSVERFAHREN	71
2	BELAGSTECHNISCHE MESSVERFAHREN	74
3	ANALYSEN BELAGSAKUSTIK	76

ANHANG B: OBJEKTBEZOGENE BERICHTERSTATTUNG

ANHANG C: MESSDATEN OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

1 AUSGANGSLAGE

1.1 PROJEKTHINTERGRUND

Mit den Forschungsprojekten ASTRA 2004/006-007, ASTRA 2005/006 und Angst et al. (2007) 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)

1.2 PROJEKTORGANISATION

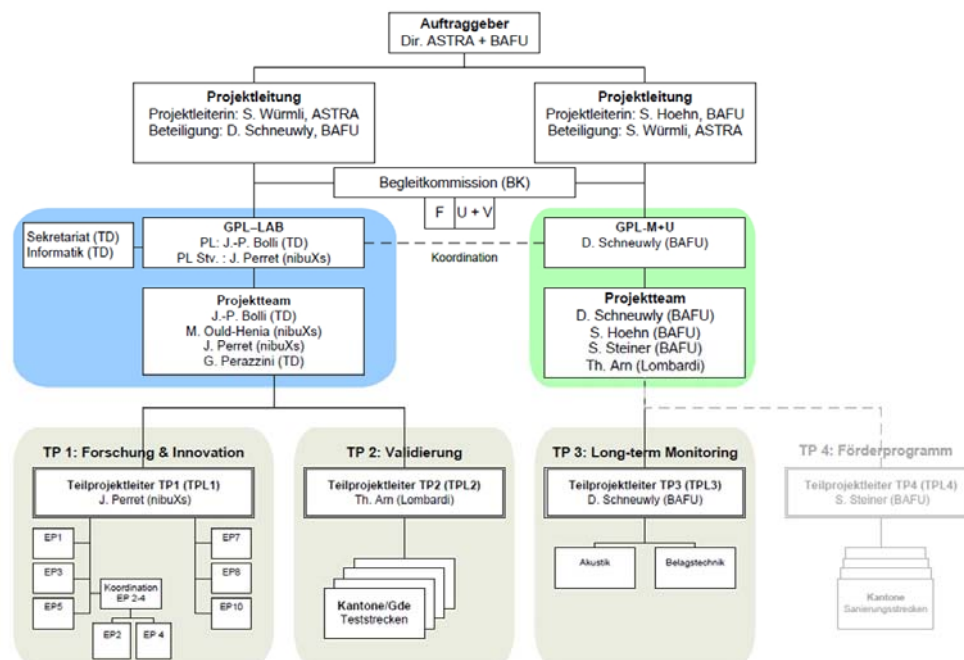


Abbildung 1: Organigramm Gesamtprojekt

2 EINLEITUNG

Die verschiedenen Einflussgrößen lärmарmer Innerortsbeläge an bestehenden und neu ein-gebauten Testbelägen langfristig zu untersuchen und daraus gesicherte Erkenntnisse für dauerhaft lärm-arme Innerortsbeläge zu gewinnen, war das Ziel des von ASTRA und BAFU im Jahr 2003 gemein-sam lancierten Forschungsprojektes. Dieses Forschungsprojekt beinhaltete unter anderem die Rea-lisierung von Pilotstrecken mit den entsprechenden belagstechnischen und akustischen Prüfungen.

Das Hauptproblem lärmарmer 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 nö-tig 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 For-schungspaket "Lärmarme Beläge innerorts " zu finanzieren.

2.1 ZIEL & AUFTRAG

Ziel des Forschungspakets ist es, einen weiteren Entwicklungsschub im Bereich lärmарmer Belägen innerorts auszulösen, um damit die Akzeptanz derartiger Beläge zu fördern. Im Rahmen des Teilpro-jektes 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 2016 messtechnisch zu begleiten, sowie die Auswirkungen der belagstechnischen Oberflächen-eigenschaften 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 Untersu-chen identifiziert werden. Gegebenenfalls sollen einzelne Einflüsse isoliert und quantifiziert werden.

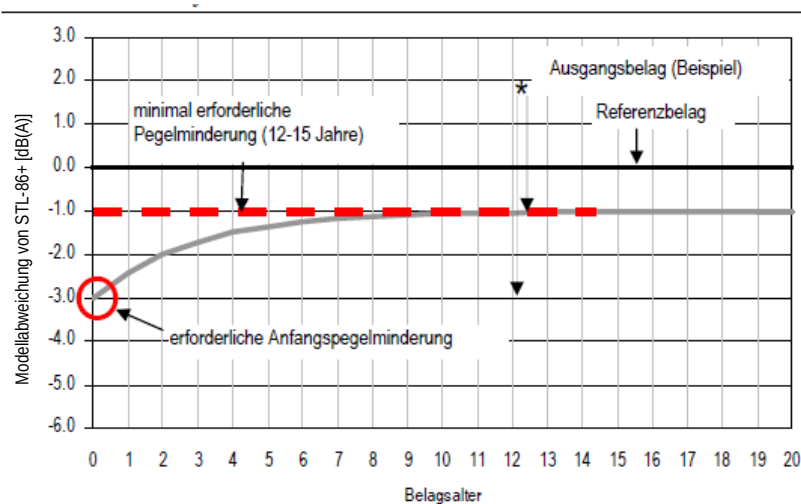
Zusätzlich sollen vier Beläge des ersten Forschungsprojektes weiterhin messtechnisch begleitet werden. Da die akustischen Eigenschaften bereits im ersten Jahr nicht mehr befriedigend waren (siehe Jahresbericht 2013), wurden die Messungen auf diesen Strecken nicht weitergeführt.

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

Der vorliegende Schlussbericht dokumentiert den aktuellen Kenntnisstand des Monitorings für die Teststrecken des Teilprojektes TP2.

2.2 GRUNDLAGEN

Gemäss der SN 640 425 Lärmindernde Decken 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).



Quelle: Statusbericht 2003, BUWAL/ASTRA 2004

Abbildung 2: Definition eines dauerhaften, lärmarmen Belages gem SN 640 425

Begriffe

Die Bezeichnungen der semidichten Mischgutsorten in den SN-Normen hatten in den letzten Jahren einige Veränderungen erfahren. Ausgehend vom Begriff LNA (Low Noise Asphalt) kamen die SDA mit den Typen A, B, C, D, welche in der letzten Version der SNR 640 436 (Sept. 2015) neu mit einem Hohlraumbereich klassiert wurden (beispielsweise SDA 8 – 12 für einen SDA 8 mit einem typischen Marshall-Hohlraumgehalt von 12 Vol.-%).

Die Mischgutsorten wurden im vorliegenden und den vergangenen Jahresberichten auf der Basis der beim Verfassen des ersten Berichts geltenden Normen bezeichnet. Um die Vergleichbarkeit des Schlussberichts mit den bereits publizierten Jahresberichten zu gewährleisten, wurden die Bezeichnung nicht geändert.

Die Beläge der Teststrecken wurden jedoch auf der Basis der tatsächlich in den eingebauten Deckschichten vorhandenen Hohlraumgehalte der Bohrkerne klassiert. Dies war erforderlich, um einerseits eine schärfere Abgrenzung der Teststrecken untereinander zu ermöglichen (die Klassierungsbereiche der Norm überschneiden sich). Andererseits erlaubt eine Klassierung der Strecken auf der Basis der tatsächlich vorhandenen Hohlräume in der Deckschicht einen direkten Vergleich mit den akustischen Eigenschaften, welche am Objekt gemessen wurden. Im Bericht wurden folgende Bezeichnungen definiert:

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

2.3 KATEGORISIERUNG DER SDA DECKSCHICHTEN

Bei den eingebauten Deckschichten handelte es sich um Mischgutsorten, welche nicht normiert waren. Die Bezeichnung SDA steht für *Semi Dichter 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 breitgefasst und überschneiden sich. Da für die Beurteilung der lärmreduzierenden Wirkung der zugängliche Hohlraumgehalt der eingebauten Deckschicht massgebend ist, wurden die SDA Beläge im Folgenden aufgrund des tatsächlich realisierten Hohlraumgehaltes am Bohrkern klassiert (siehe auch Abschnitt 3.3).

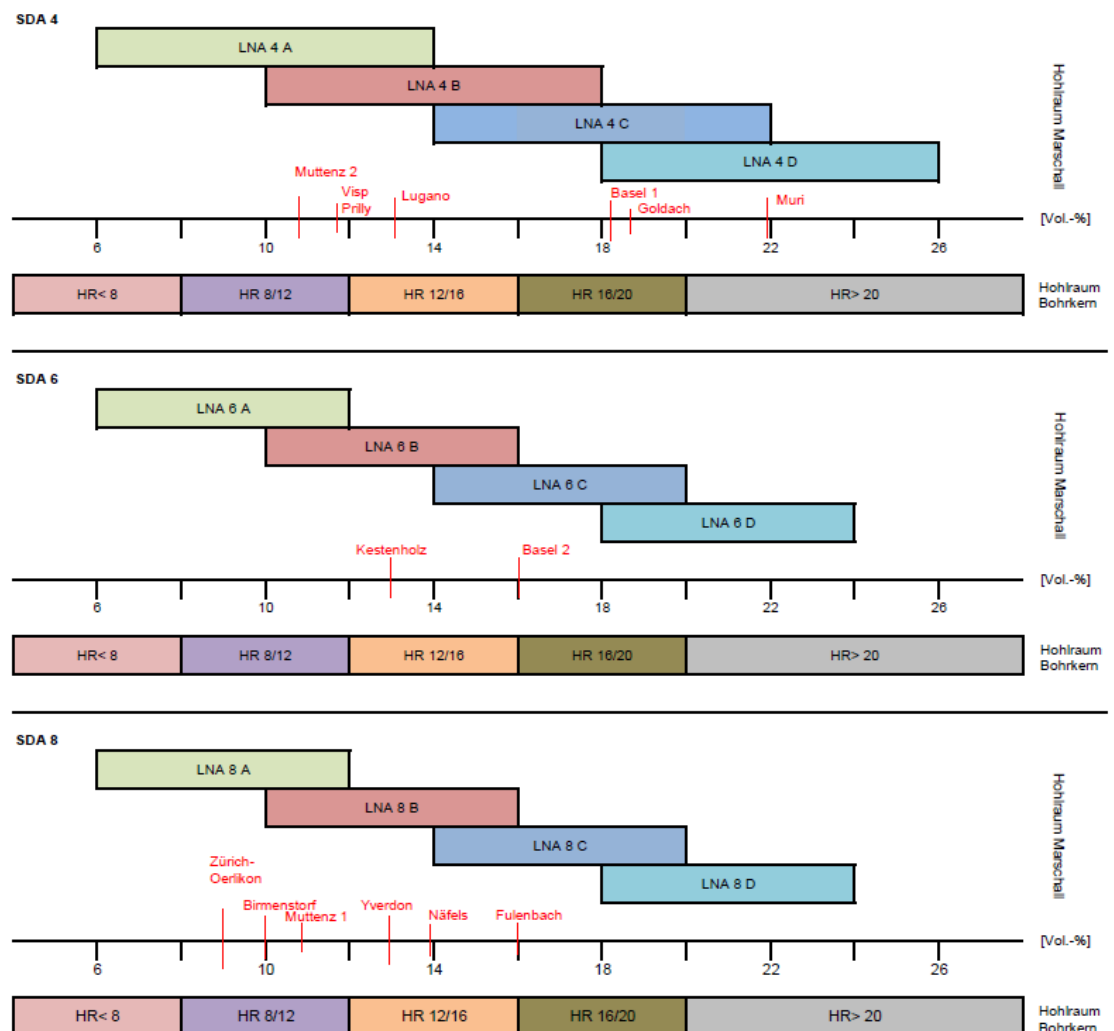


Abbildung 3: Kategorisierung der Deckschichten aufgrund des Hohlraumgehaltes am Bohrkern (Mittelwert).

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

Tabelle 1: Nomenklatur und Anforderung an die eingebauten SDA Deckschichten

Bezeichnung im Be- richt HR: Hohlraumge- halts Klasse ¹ [Vol.-%]	Bezeichnung in Teilprojekt TP2	Hohlraumgeh- alt [Vol.-%] Bohrkern ²	Verdichtungs- grad ² [%]	Schichtdicke ² [mm]
SDA 4 HR <8	LNA 4 A	<8	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR 8/12	LNAA 4 A, LNA 4 B	≥8, <12	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR 12/16	LNA 4 A, LNA 4 B, LNA 4 C	≥12, <16	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR 16/20	LNA 4 B, LNAA 4 C, LNAA 4 D	≥16, <20	≥ 97	20 - 35
SDA 4 HR >20	LNA 4 C, LNA 4 D	≥20	≥ 97	20 - 35
SDA 6 HR <8	LNA 6 A	<8	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR 8/12	LNA 6 A, LNA 6 B	≥8, <12	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR 12/16	LNA 6 B, LNA 6 C	≥12, <16	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR 16/20	LNA 6 C, LNA 6 D	≥16, <20	≥ 98	k.A.
SDA 6 HR >20	LNA 6 D	≥20	≥ 98	k.A.
SDA 8 HR <8	LNA 8 A	<8	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR 8/12	LNA 8 A, LNA 8 B	≥8, <12	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR 12/16	LNA 8 B, LNA 8 C	≥12, <16	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR 16/20	LNA 8 C, LNA 8 D	≥16, <20	≥ 98	25 - 40
SDA 8 HR >20	LNA 8 D	≥20	≥ 98	25 - 40

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

² Anforderungen Teilprojekt TP2

2.4 VORGEHEN

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

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

Messungen	Messtyp	Zeitpunkt
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 PTV	
	+ 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)	
	+ Lasertextur	
	+ Luftströmungswiderstand	
Wiederholungsmessungen nach 3 Jahren	+ Rautiefe mit Sandfleck	
	+ Akustische Gütemessungen CPX (close proximity)	3 Jahre nach Einbau
	+ Akustische Gütemessungen SPB (statistical pass-by)	
	+ Schallabsorptionsmessungen	
	+ Wirkungsanalysen (aufgrund SPERoN-Modellierungen)	
	+ Längsebenheitsmessungen	
	+ Querebenheitsmessungen	
	+ Griffigkeit PTV	
	+ Rautiefe mit Sandfleck	
	+ Lasertextur	
	+ Luftströmungswiderstand	

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: 11.12.2013 und ISO DIS 11819-2; sowie Leitfaden Anhang 1d, Bericht Umrechnungsmodelle CPX – SPB, Erläuterungen zu Anhang 1c, Version: 11.12.2013.
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: 11.12.2013
Schallabsorptionsmessungen	Menge: Mittelwert 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-Profilometers durchgeführt. Die Beurteilung erfolgte gemäss 640 521 c.
Querebenheit	Menge: 4 Messungen im Abstand von jeweils 20 m Lage: Analysequerschnitt	Die Messungen erfolgten mittels eines Profilschreibers „Planum“ gemäss SN 640 521
Wasserdurchlässigkeit	Menge: Mittelwert von 5 Messungen Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Die Wasserdurchlässigkeit wurde gemäss SN 640 430a ermittelt
Rautiefe	Menge: Mittelwert von 4 Messungen Lage: Radspur Analysequerschnitt	Die Rautiefe wurde mittels der Sandfleck-Methode gemäss SN 640 511-1 ermittelt
Lasertextur	Menge: 6 Parallelprofile à 2.0 m (Abstand: 2 cm) Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Die Ermittlung der Lasertextur erfolgte gemäss EN ISO 13473-1 und ISO 13473-3
Luftströmungswiderstand	Menge: Mittelwert von 3 Messungen Lage: rechte Radspur Analysequerschnitt	Messung in Anlehnung ISO 9053 und DIN EN 29053
Abriebwiderstand	Menge: Mittelwert 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

3 TESTSTRECKEN

3.1 ÜBERSICHT TESTSTRECKEN

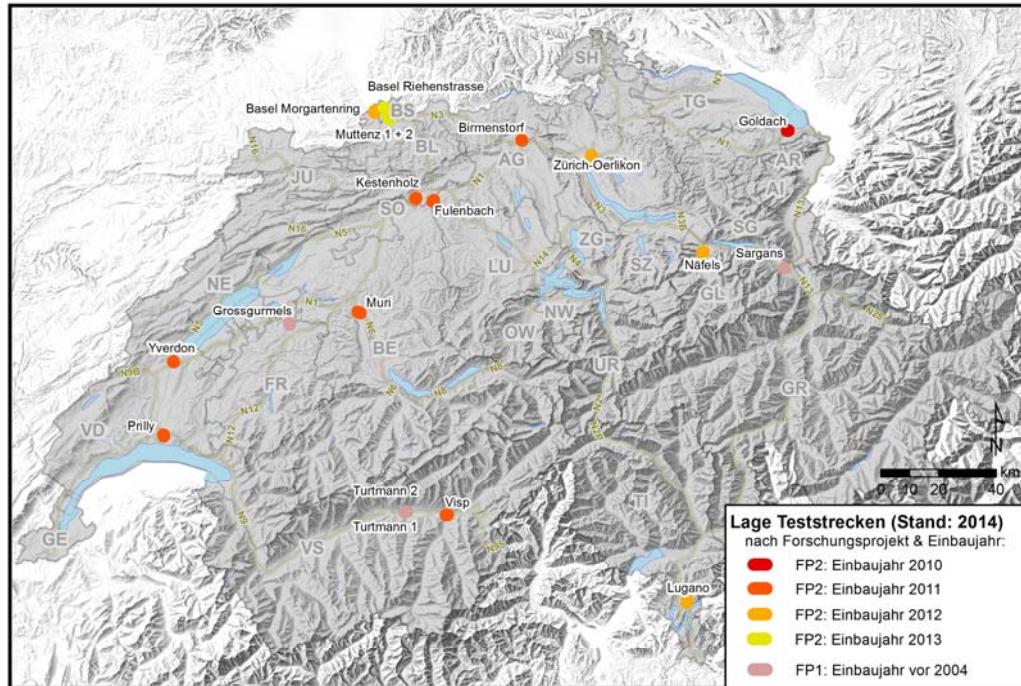


Abbildung 4: Lage der Teststrecken nach Einbaujahr

	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 12/16	SDA 8 C	2011	750
	Kestenholz SO	Gäustrasse	5500		SDA 6 HR 12/16	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 1 BS	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 12/16	SDA 8 C	2012	170
	Zürich-Oerlikon ZH	Wallisellenstrasse	5000		SDA 8 HR 8/12	SDA 8 B	2012	400
	Basel 2 BS	Riehenstrasse	14000	4.5	SDA 6 HR 16/20	SDA 6 C	2013	280
	Muttenz 1 BL	Birsfelderstrasse	12200		SDA 8 HR 8/12	SDA 8 A	2013	520
	Muttenz 2 BL	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

Tabelle 4: Übersicht der Teststrecken und Mischgutsorten.

3.2 MISCHGUTUNTERSUCHUNGEN

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

Teststrecke	Bezeichnung im Bericht	Marshall-Hohlraum- gehalt [Vol.-%]		Bezeichnung TP2	Bindemittel- gehalt [M.-%]		Siebrückstände [M.-%]		
		IST	Anforderung TP2		IST	Soll*	Füller	2.8	5.6
Basel 1	SDA 4 HR >20	18.5	18.0 - 22.0	SDA 4 D	5.62	≥ 5.8	6.2	74.4	3.7
Basel 2	SDA 6 HR 16/20	15.5	14.0 - 18.0	SDA 6 C	5.70	≥ 5.8	8.8	72.9	1.0
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	13.7	10.0 - 14.0	SDA 8 B	5.98	≥ 5.6	6.7	82.1	39.5
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	15.5	14.0 - 18.0	SDA 8 C	5.64	≥ 5.6	6.2	84.5	33.0
Goldach	SDA 4 HR 16/20	17.6	14.0 - 18.0	SDA 4 C	6.02	≥ 5.8	9.8	80.3	0.4
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	11.3	10.0 - 14.0	SDA 6 B	6.28	≥ 5.8	8.6	74.6	1.2
Lugano	SDA 4 HR 12/16	13.0	10.0 - 14.0	SDA 4 B	6.32	≥ 5.8	k.A	k.A	k.A
Muri	SDA 4 HR >20	18.9	14.0 - 18.0	SDA 4 C	5.46	≥ 5.8	7.7	68.9	5.6
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12	7.9	6.0 - 10.0	SDA 8 A	6.39	≥ 5.6	8.4	71.9	3.0
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12	8.3	6.0 - 10.0	SDA 4 A	5.89	≥ 5.8	9.4	60.4	0.3
Näfels	SDA 8 HR 12/16	12.5	10.0 - 14.0	SDA 8 B	6.19	≥ 5.6	5.7	79.3	33.3
Prilly	SDA 4 HR 8/12	9.9	10.0 - 14.0	SDA 4 B	6.67	≥ 5.8	8.7	66.1	0.0
Visp	SDA 4 HR 8/12	12.6	10.0 - 14.0	SDA 4 B	6.35	≥ 5.8	7.6	70.6	0.1
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR 12/16	14.4	14.0 - 18.0	SDA 8 C	5.98	≥ 5.6	k.A	k.A	k.A
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	8.9	10.0 - 14.0	SDA 8 B	5.76	≥ 5.6	8.0	78.0	34.0

* Als Sollwert für den Bindemittelgehalt wurde der Richtwert für den dosierten Bindemittelgehalt gem. SNR 640 436 gewählt. Um den direkten Vergleich mit dem löslichen Bindemittelgehalt aus den Mischgutuntersuchungen zu ermöglichen, wurde ein Anteil an unlöslichem von 0.2 Masse-% angenommen und dem Richtwert abgezogen.

Tabelle 5: Ergebnisse und Sollwerte Mischgutuntersuchungen TP2.

Kommentar zu den Ergebnissen:

- + Muri, SDA 4 HR > 20: Der Hohlraumgehalt Marshall lag mit 18.9 Vol.-% oberhalb des Sollwertbereiches von 14.0 – 18.0 Vol.-%.
- + Zürich-Oerlikon, SDA 8 HR 8/12: Der Hohlraumgehalt Marshall lag mit 8.9 Vol.-% unterhalb des Sollwertbereiches von 10.0 - 14.0 Vol.-%
- + Von den insgesamt 15 Teststrecken erfüllten deren 12 die Anforderungen an den Hohlraumgehalt. Zürich-Oerlikon lag um 1.1 Vol.-% unter, Muri um 0.9 Vol.-% über dem Sollwert. Prilly lag um 0.1 Vol.-% sehr knapp unterhalb des Sollbereiches.
- + Die Anforderungen an den Bindemittelgehalt wurden von 12 der 15 Teststrecken erfüllt. Basel 1, Basel 2 und Muri, lagen um 0.1 bis 0.34 Masse-% unterhalb des Sollwerts für den Bindemittelgehalt.

3.3 BOHRKERNUNTERSUCHUNG

Die Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen aus dem Teilprojekt TP2 sind in Tabelle 6 dargestellt. Um die unvollständigen Daten zu ergänzen wurden im Winter 2014/2015 weitere Bohrkern in Birmenstorf und Yverdon entnommen und untersucht.

Teststrecke	Bezeichnung im Bericht	Anzahl Bohr- kerne	Hohlraumgehalt [Vol.-%]		Verdichtungsgrad [%]		Schichtdicke [mm]	
			MW	Sollw.	MW	Sollw.	MW	Sollw.
Basel 1	SDA 4 HR >20	8	18.2	18 - 26	100.3	≥ 97.0	39	35
Basel 2	SDA 6 HR 16/20	6	16.1	14 - 20	99.2	≥ 98.0	41	40
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	2+2	10.0	10 - 16	100.3	≥ 98.0	35	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 12/16	4	12.8	14 - 20	101.8	≥ 98.0	38	40
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	6	8.8	10 - 16	100.2	≥ 98.0	34	30

Tabelle 6: Ergebnisse der Bohrkernuntersuchungen aus dem TP2 inkl. der zusätzlichen Untersuchungen in Birmenstorf und Yverdon.

Kommentar zu den Ergebnissen:

Hohlraumgehalt (Bohrkern)

- + Die Untersuchung zusätzlicher Bohrkern in Birmenstorf (bisher 2 BK; neu 4) ermöglichte es einen Mittelwert aus 4 Einzelwerten zu bilden, wie dies die Norm verlangt. Die Streuung der Hohlraumgehalte war mit Einzelwerten zwischen 6.1 und 12.7 Vol.-% als unüblich gross zu bezeichnen.
- + In Zürich-Oerlikon und Yverdon lag der Hohlraumgehalt unterhalb des Sollwertbereiches. Bei Zürich-Oerlikon war zu bemerken, dass der Hohlraum im Mischgut (Marshall) bereits zu tief lag.
- + Alle anderen Strecken erfüllten die Anforderungen bezüglich Hohlraumgehalt

Verdichtungsgrad

- + Der in der «Schweizer Regel» SNR 640 436 festgelegte Sollwert für den Verdichtungsgrad bei SDA 4 von ≥ 97% (Mittelwert) ist nicht unumstritten. Bei allen anderen Deckschichten gilt gem. Normen ein Sollwert von ≥ 98%. (Im Unterschied zu einer SN-Norm, ist eine «Schweizer Regel» ein normatives Dokument mit limitierten Konsens und zeitlich beschränkter Gültigkeit).
- + Bei der Strecke Muttenz 1 lag der Verdichtungsgrad mit 96.9% deutlich unterhalb des Sollwerts.
- + Alle anderen Strecken erfüllten die Anforderungen (≥ 97%).

Schichtdicke

- + Zum Beurteilen des Mittelwertes der Schichtdicke wird üblicherweise eine Toleranz von $\pm 5\%$ angenommen. Erfüllten die Bohrkerne (=Stichprobe) diese Anforderungen nicht, dann wird die mittlere Schichtdicke aus dem Mischgutverbrauch berechnet. Zur Beurteilung der mittleren Schichtdicken wurde im vorliegenden Fall, unter Berücksichtigung der dünnen Schichten, eine Toleranz von $\pm 10\%$ angenommen. Die mittlere Schichtdicke der Strecken in Lugano, Muttenz 1, Prilly, und Zürich-Oerlikon lag 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 Typenbezeichnungen der Beläge:

- + Aus den Ergebnissen der Bohrkernuntersuchungen ging hervor, dass die gewählte Bezeichnung anhand des Grösstkorns und des Hohlraumgehaltes der eingebauten Schicht für vergleichende Untersuchungen sinnvoll war. So war für beide Deckschichten Zürich-Oerlikon und Näfels ein SDA 8 B vorgesehen; trotzdem war der Unterschied im Hohlraumgehalt der eingebauten Schicht (ZH-Oerlikon 8.8 Vol.-% und Näfels 13.7 Vol.-%) mit 4.9 Vol.-% akustisch relevant. Würde man beide Schichten mit „SDA 8 B“ bezeichnen, so würde dies die Interpretation der Ergebnisse erschweren. Auch beim Vergleich von Muri und Basel 1 zeigt sich die Typenbezeichnung auf der Basis des Hohlraumgehaltes am Bohrkern als sinnvoller: Basel 1 (21.8 Vol.-%) und Muri (21.8 Vol.-%) haben zwar den gleichen Hohlraumgehalt im Bohrkern, gehörten jedoch zu unterschiedlichen SDA-Typen: Basel 1 Typ D und Muri Typ C. Aufgrund der Überlappungen der Sollwertbereiche für die einzelnen Typen (A, B, C, D), der Schwankungen in der Produktion sowie der Schwankungen beim Einbau waren die oben aufgezeigten Verschiebungen nicht zu vermeiden.
- + Zur präziseren Bezeichnung wurden die SDA Beläge im vorliegenden Bericht aufgrund der Hohlraumgehalte an Bohrkernen aus den eingebauten Deckschichten klassiert (siehe Abschnitt 2.3).

3.4 OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

In Tabelle 7 sind die Oberflächeneigenschaften der Teststrecken im Neuzustand (Oberflächentextur und Luftströmungswiderstand) zusammengefasst.

Teststrecke	Belagstyp	Einbau	Rautiefe [mm]	G-Fak- tor	Amax [μm]	λ(Amax) [mm]	Schallabs MW_{500Hz}^{2000Hz} [Hz]	Luftströwi. R_s [Pa*s/m]
Basel 1	SDA 4 HR >20	2012	0.74	86.3	177.4	160.0	0.254	4137
Basel 2	SDA 6 HR 16/20	2013	0.60	86.1	148	8.0	0.168	10298
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	2011	0.68	87.5	193.7	10.0	0.110	25005
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	2011	0.87	85.1	229.5	10.0	0.245	3136
Goldach	SDA 4 HR 16/20	2010	k.A.	87.1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	2011	0.59	86.9	154.4	5.0	0.148	12182
Lugano	SDA 4 HR 12/16	2012	0.54	88.4	164.6	6.3	0.133	32873
Muri	SDA 4 HR >20	2011	0.48	85.6	150.1	6.3	0.226	6531
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12	2013	0.72	87.1	194	10.0	0.069	6564
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12	2013	0.46	88.0	73	6.3	0.060	113445
Näfels	SDA 8 HR 12/16	2012	0.78	87.7	202.2	12.5	0.038	29803
Prilly	SDA 4 HR 8/12	2011	0.44	88.7	143.1	6.3	0.377	86540
Visp	SDA 4 HR 8/12	2011	0.55	85.5	135.9	5.0	k.A.	28289
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR 12/16	2012	0.94	85.1	273.3	10.0	0.081	5199
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	2012	0.73	87.1	252.3	10.0	0.018	43604

Tabelle 7: Oberflächentextur, mittlerer Schallabsorptionsgrad zwischen 500 und 2000 Hz und Luftströmungswiderstand im Neuzustand. In Goldach wurden im Neuzustand keine entsprechenden Messungen durchgeführt, in Visp fehlt die Schallabsorption.

Kommentar:

Schallabsorption zwischen 500 und 2000 Hz:

- + Der Wert des Schallabsorptionsgrads kann im Bereich zwischen 0 (keinerlei Schallabsorption) und 1 (grösstmögliche Schallabsorption) liegen. Reifen-Fahrbahn-Geräusche werden ab Werten des Schallabsorptionsgrads von 0.1 bereits gemindert. Eine Verdoppelung des Werts beispielsweise von 0.1 auf 0.2 oder von 0.2 auf 0.4 kann, je nach Frequenzverteilung der Schallabsorption, zu Minderungen zwischen 2 und 3 dB führen.

λ(Amax):

- + Als akustisch günstig gilt ein Wert zwischen 4 mm und 16 mm. Der Grösstkorndurchmesser 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 stellten die Beläge in Kestenholz und in Basel 1 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.

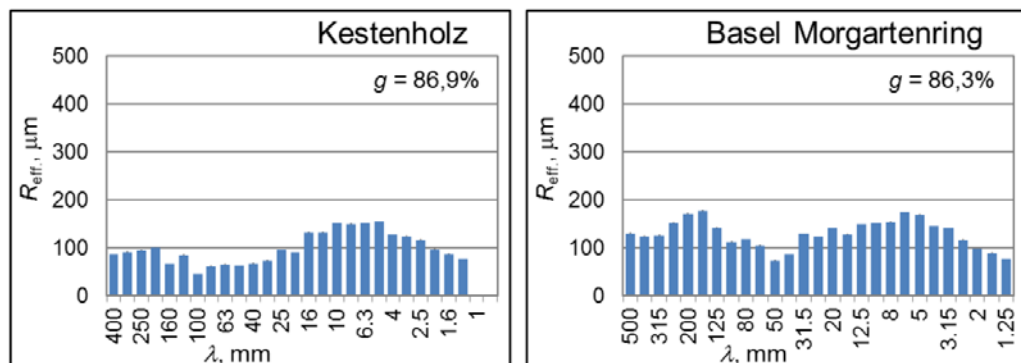


Abbildung 5: Spektralanalyse der Textur in den Teststrecken Kestenholz und Basel 1 (Morgartenring)

Wie die Abbildung 5 zeigt, war das spektrale Maximum bei dieser Textur jedoch untypisch breit, was die Angabe einer Wellenlänge im Maximum unsicher machte. Das breite Maximum wies darauf hin, dass viele Rauigkeitswellenlängen gleichmässig verteilt waren und dadurch eine vergleichsweise feinraue Textur mit wenig Hub in einer dichten Abfolge von Vertiefungen und Rauigkeitspitzen bildeten.

Für die Textur auf dem Morgartenring in Basel 1 ergab sich das spektrale Maximum bei einer untypisch grossen Wellenlänge von 160 mm. Wie Abbildung 5 zeigt, hing dies mit einem zweiten langwelligen Maximum im Texturspektrum zusammen, welcher auf Unebenheiten in der Deckschicht im Bereich der Messstelle zurückzuführen war. Diese Unebenheit war akustisch nicht relevant. Das zweite lokale Maximum bei einer Wellenlänge von 6.3 mm erfüllte die Erwartungen.

Gestaltfaktor g:

- + Der Gestaltfaktor g wird aus der statistischen Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen berechnet (siehe Abbildung 6).

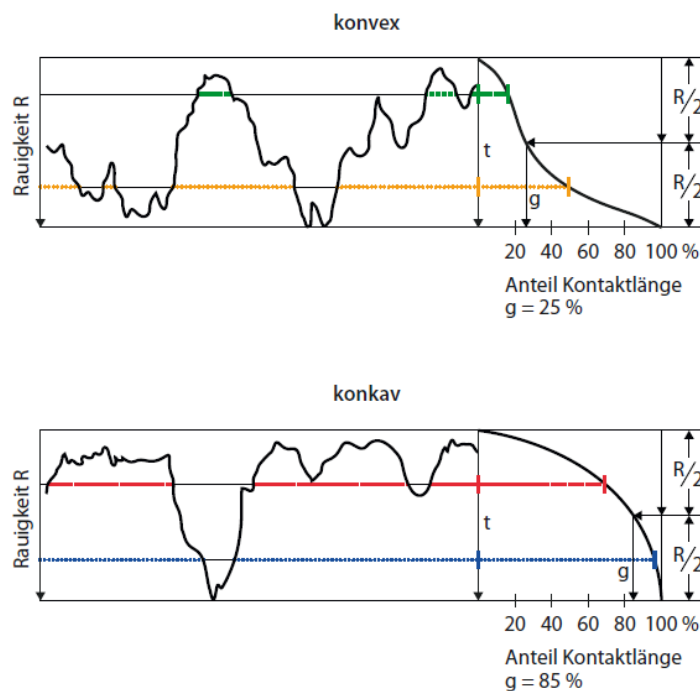


Abbildung 6: Durch eine statistische Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen entsteht ein Parameter zur Kennzeichnung der Gestalt der Textur, der als Gestaltfaktor g bezeichnet wird. (Quelle: Beckenbauer 2001).

- + Der Gestaltfaktor ist ein Wert, welcher zur Unterscheidung von konkaven und konvexen Oberflächen 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 Mischgutsorten wiesen Gestaltfaktoren von weit über 60% auf und könnten 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 gut die im Reifen-Fahrbahn-Kontakt eingeschlossene Luft durch die Textur der Fahrbahnoberfläche entweichen kann. Der hohlrauminduzierte Strömungswiderstand hingegen ist ein Mass für den Widerstand, welcher sich dem Entspannen der Luft in den Hohlräumen der Deckschicht entgegensetzt. Niedrige hohlrauminduzierte Strömungswiderstände sind akustisch vorteilhaft, wogegen niedrige texturinduzierte Strömungswiderstände zu höheren Rollgeräuschpegeln führen. Die beiden Strömungswiderstände können mit dem hier verwendeten Messverfahren nicht getrennt erfasst werden.

- + Die vergleichsweise niedrigen Strömungswiderstände auf den Strecken in Basel 1 (Morgartenring), Fulenbach und Muri hingen mit Hohlraumgehalten von 16 bis 22 Vol.-% zusammen, was in Verbindung mit den Schallabsorptionsgraden von über 0.2 auf eine gute Zugänglichkeit der Hohlräume hinwies. Die Strömungswiderstände waren damit eindeutig hohlrauminduziert.
- + Andere Deckschichten mit niedrigeren Hohlraumgehalten zwischen 14 und 16 Vol.-% (Basel 2, Lugano und Näfels) wiesen 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 hinwies.
- + Das Ergebnis für Prilly war widersprüchlich. Ein sehr hoher Strömungswiderstand stand hier einem verhältnismässig hohen Schallabsorptionsgrad gegenüber. Letzterer wiederum wies auf einen ausgeprägten Hohlraumanteil mit guter Zugänglichkeit der Hohlräume in der Deckschicht hin, was damit dem sehr hohen Strömungswiderstand widersprach.
- + Gemäss den oben beschriebenen Ergebnissen konnten nur die Deckschichten in Basel 1, Fulenbach und Muri als offenporig bezeichnet werden. Die Hohlraumgehalte der Bohrkerne (15.9 ... 21.8 Vol.-%) und die Mischgutkategorien C und D stimmten mit den festgestellten akustischen Eigenschaften überein. Die Deckschichten in Birmenstorf, Lugano, Muttenz 2, Näfels und Zürich-Oerlikon mit Hohlraumgehalten der Bohrkerne von 8.1 bis 13.7 Vol.-% hingegen waren als semi-dicht zu bezeichnen. Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in den Mischgutkategorien wider, die von A bis B reichten und damit ausnahmslos auch unter den Hohlraumkategorien der oben beschriebenen Beläge lagen. Bemerkenswert war, dass die Deckschicht in Näfels, trotz relativ hohem Hohlraumgehalt der Bohrkerne (13.7 Vol.-%) akustisch gesehen ein dichter Belag war. Das bedeutete, dass die Deckschicht zwar Hohlräume enthielt, diese Hohlräume jedoch in keiner Art und Weise akustisch zugänglich waren.

In Tabelle 8 sind die Oberflächeneigenschaften der Testbeläge bezüglich Längs- und Querebenheit zusammengefasst.

Teststrecke	Belagstyp	Einbau	Längsebenheit W/sW [‰]	Querebenheit [mm]
Basel 1	SDA 4 HR >20	2012	12.3 / 1.5	1.9
Basel 2	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 12/16	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.

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 2 und Yverdon wurde der Grenzwert von $sW \leq 1.8 \text{ ‰}$ überschritten. Auf einigen Teststrecken erfolgte der Einbau zum Teil auf Kunstbauten (z.B. in Yverdon und Basel 2, aufgrund der Fahrbahnübergänge sind grössere Einzelwerte (W) zu erwarten. Bemerkenswert ist auch, dass bei weiteren 4 Strecken die Anforderungen knapp erfüllt wurden. Auffallend war die Strecke Lugano mit sehr schlechten Werten.
- + Querebenheit: Die Querebenheit wird durch die maximale Muldentiefe unter einer 4-m-Latte (T4) charakterisiert. Alle gemessenen Strecken erfüllten die Anforderungen der Norm SN 640 521c für Hauptverkehrsstrassen von $T4 \leq 5 \text{ mm}$.

4 RESULTATE & DISKUSSION

4.1 AKUSTISCHE WIRKUNG IM NEUZUSTAND

Auf sämtlichen Teststrecken 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 Werte werden nach ASTRA / BAFU (2013) Umgerechnet und in Abweichung vom in der Schweiz gültigen Emissions-Modell StL86+ ausgewiesen. Die Ergebnisse der SPB Vorbeifahrtsmessungen gelten für den Analysequerschnitt und sind in der objektbezogenen Berichterstattung im Anhang B wiedergegeben. Die Wirkungsanalysen in Abschnitt 4.1.4 und Abschnitt 4.1.5 beziehen sich jeweils auf die im Analysequerschnitt gemessenen Werte.

Hinweis zur Interpretation der Werte in Abweichung zum Strassenlärm-Emissionsmodell StL86+: Der Wert O 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 Teststrecken 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 präsentierten Werte beziehen sich jedoch direkt auf das Modell StL86+.

4.1.1 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 7 gegeben (Sortierung nach akustischer Wirkung für PW in aufsteigender Reihenfolge).

Teststrecke	Belagstyp	Einb. jahr	Teststrecken (Mittelwert)				Analysequerschnitt			
			CPX _P	CPX _H	CPX _{PW}	CPX _{LKW}	CPX _P	CPX _H	CPX _{PW}	CPX _{LKW}
			(PW)	(LKW)	Abw. StL86+	Abw. StL86+	(PW)	(LKW)	Abw. StL86+	Abw. StL86+
			[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[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 12/16	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).

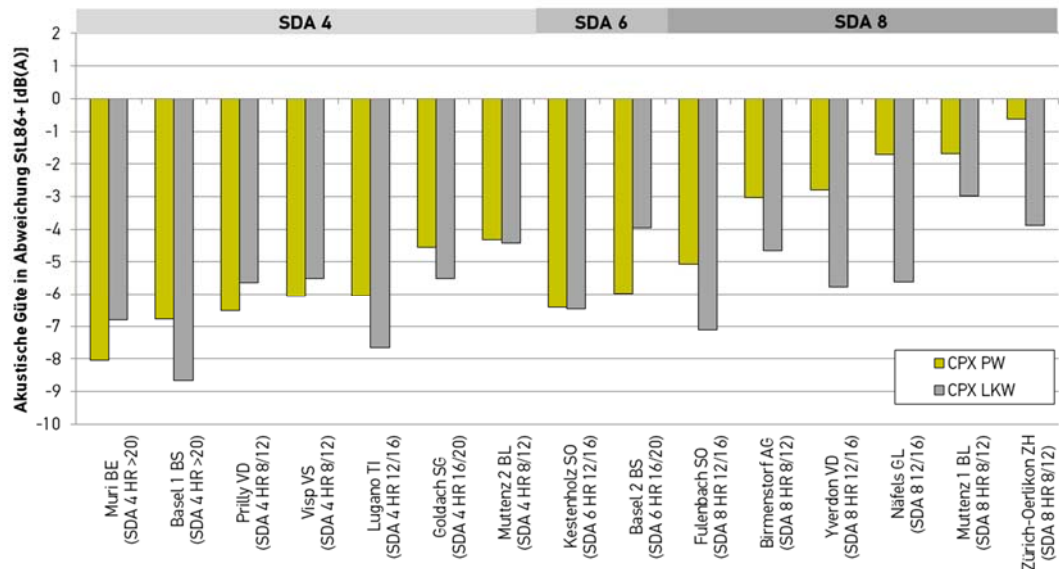


Abbildung 7: Akustischen Wirkung in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A) im Neuzustand für die beiden Fahrzeugklassen.

Kommentare:

- + Von den SDA 4 Strecken schnitt der SDA 4 HR >20 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 Strecken lag im Mittel zwischen ca. -4 und -8 dB(A) für PW und zwischen ca. -4.5 und -8.5 dB(A) für LKW. Damit variierte die akustische Güte der SDA 4 Beläge um bis zu 4 dB(A).
- + Die akustische Güte der SDA 6 Strecken lag 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 SDA6 Beläge ordnete sich damit ungefähr in der Mitte zwischen SDA 4 und SDA 8 ein.
- + Von den SDA 8 Strecken, schnitt der SDA 8 HR 12/16 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 Strecken lag im Mittel zwischen ca. -0.5 und -5 dB(A) für PW und zwischen ca. -3 und -7 dB(A) für LKW. Damit variierte die akustische Güte der SDA 8 um bis zu 4.5 dB(A).
- + Wird die akustische Wirkung der SDA Beläge in Abhängigkeit der Hohlraumklasse betrachtet, fällt auf, dass Strecken mit den höheren Hohlraumgehaltklassen (>20, 16/20 und 12/16) im Allgemeinen besser abschnitten als Beläge der Hohlraumklasse 8/12 mit demselben Grösstkorn. Das akustische Verhalten der Strecken in Goldach und Näfels widersprach den Hohlraumgehalten dieser Beläge von 18.5 Vol.-% bzw. 13.7 Vol.-%, die eigentlich auf ein ausgeprägtes Schallabsorptionsverhalten hinwiesen. Wie in Abschnitt 3.4 bereits beschrieben wurde, war der Belag in Näfels jedoch durch einen hohen Strömungswiderstand von 29'803 Pa s/m und einen vernachlässigbar kleinen Schallabsorptionsgrad gekennzeichnet. Damit entsprach das CPX-Messergebnis in vollem Umfang den Ergebnissen der in situ Messungen und zeigte im Grunde, wie ungeeignet die Kenngrösse „Hohlraum am Bohrkern“ ist, wenn es um die Feststellung akustisch relevanter Deckschichteigenschaften geht. Im Fall des Belags in Goldach hing das schlechte akustische Verhalten dagegen mit einer schlechten Anpassung des Schallabsorptionsspektrums an das Spektrum der Reifen-Fahrbahn-Geräusche zusammen. Dies wiederum war zurückzuführen auf eine schlechte Abstimmung der Schichtdicke. Die Deckschicht in Goldach war 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 wurde. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Absorptionsspektrum. Blauer Rahmen: Hauptfrequenzbereich der Reifen-Fahrbahn-Geräusche.

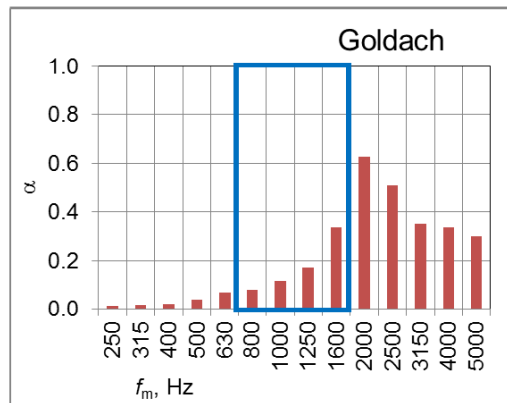


Abbildung 8: Spektrale Schallabsorptionseigenschaften (Schallabsorptionsgrad α) des SDA 4 C Belags in Goldach.

- + Der SDA 4 C in Goldach und der SDA 4 A in MuttENZ 2 vermochten die Reifen-Fahrbahn-Geräusche sogar weniger zu reduzieren, als einzelne Strecken mit größerem Maximalkorn (SDA 6 HR 12/16 in Kestenholz und SDA 8 HR 12/16 in Fülenbach).

4.1.2 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 war zudem zu beachten, dass akustisch homogene Einbauten bei dichten Deckschichten grundsätzlich einfacher zu erreichen sind, als dies bei offenporigen Belägen der Fall war. Die akustische Inhomogenität konnte durch die Variabilität folgender Einflussgrößen verursacht worden sein:

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

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der akustischen Homogenitätsanalyse wiedergegeben.

Teststrecke	Belagstyp	Anzahl Teilab- schnitte*	Max. Abwei- chung MW Teilabschnitt zum Hauptab- schnitt** [dB(A)]	Länge des Teilabschn. mit max. Abweichung [m]	Lage des abweichenden Teilabschnittes
Basel 1	SDA 4 HR >20	3	+1.0	180	südl. Streckenende
Basel 2	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 12/16	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 homogener 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.

Kommentar:

- + Auf sämtlichen Teststrecken mit einem Hohlraumgehalt am Bohrkern von > 12% befanden sich ein oder mehrere Teilabschnitte deren Mittelwerte statistisch signifikant von demjenigen des Hauptabschnittes abwichen.
- + Auf den Teststrecken in Basel 1, Basel 2, Goldach, Muri, Näfels und Prilly befanden sich Teilabschnitte deren Mittelwerte besonders stark (≥ 1 dB(A)) vom Mittelwert des Hauptabschnittes abwichen (siehe Beispiel in Abbildung 9).
- + Die Teilabschnitte mit der grössten Abweichung zum Hauptabschnitt befanden sich auf sämtlichen Strecken an den Streckenenden.
- + Sämtliche Teststrecken, bei welchen keine Inhomogenität festgestellt wurde (Anzahl Teilabschnitte 0) waren der tiefsten Hohlraumklasse (HR Bohrkern 8-12) zuzuordnen.

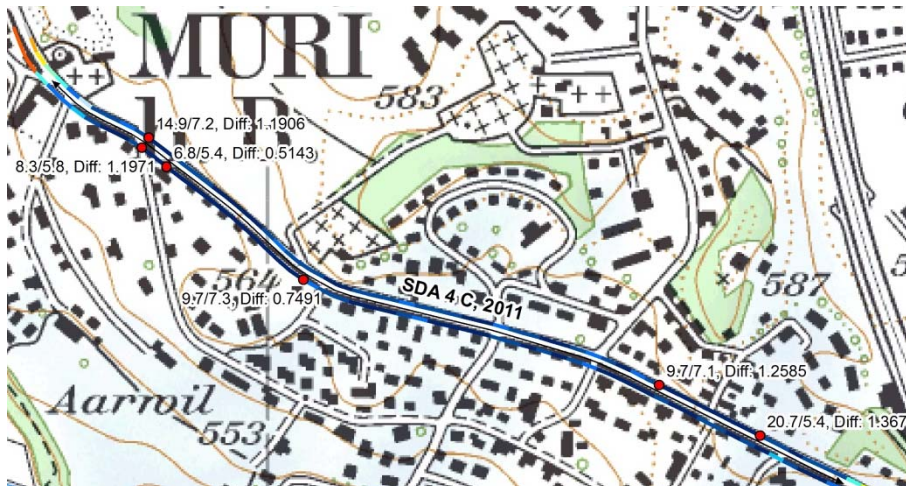


Abbildung 9: Veranschaulichungsbeispiel Homogenitätsanalyse SNHT auf dem SDA 4 C Belag in Muri. Breakpoints (rot), jeweils mit Ergebnis des T-Tests, sowie der Differenz der Mittelwerte benachbarter Teilabschnitte in dB.

4.1.3 ROLLGERÄUSCHSPEKTREN

Die mittels CPX Methode erhobenen Rollgeräuschspektren auf SDA 4 Belägen sind in Abbildung 10 dargestellt.

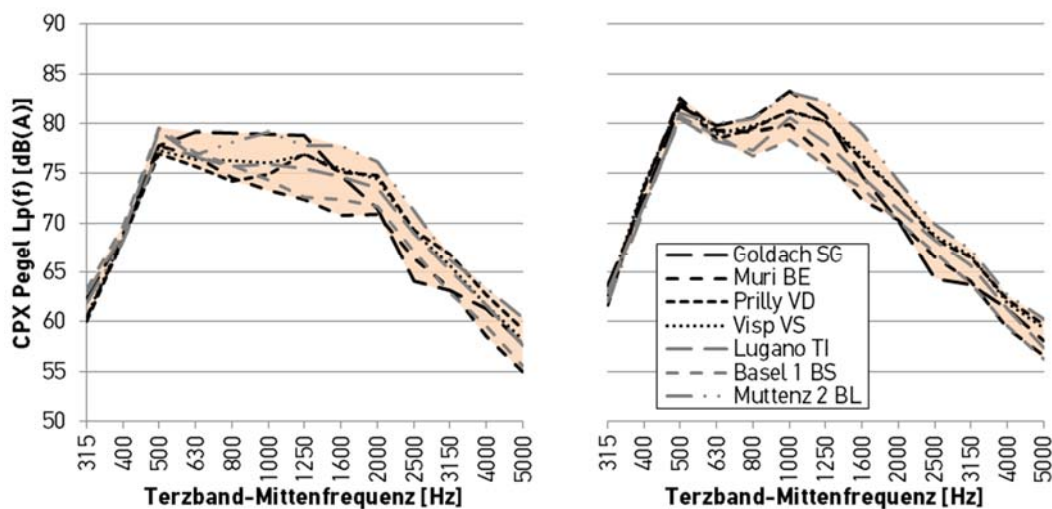


Abbildung 10: Rollgeräuschspektrum CPX SDA 4 Beläge für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (links) und LKW (rechts) im Neuzustand.

Kommentare:

- + Der SDA 4 C in Muri vermochte die Reifen-Fahrbahngeräusche über die meisten Terzband-Mittenfrequenzen am besten zu reduzieren. Im Vergleich zu den anderen SDA 4 Strecken, weist die Deckschicht in Muri insbesondere im mittleren und hohen Frequenzbereich tiefere Schallpegel auf.
- + Die Peak-Frequenz, welche auf Standardstrassenbelägen typischerweise zwischen 800 und 1000 Hz liegt, verschob 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 11 dargestellt.

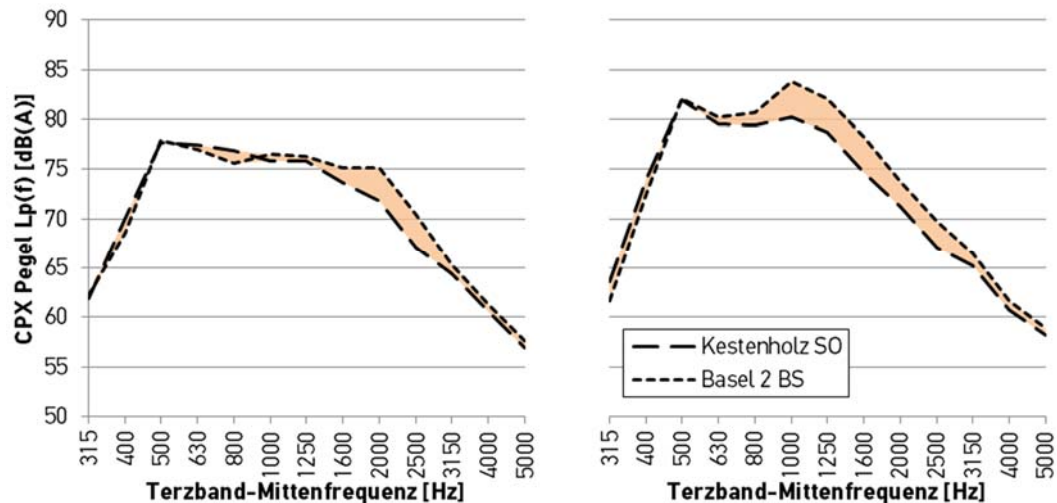


Abbildung 11: Rollgeräuschspektrum CPX SDA 6 Beläge für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (links) und LKW (rechts) im Neuzustand.

Kommentar:

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

Die mittels CPX Methode erhobenen Rollgeräuschspektren auf SDA 8 Belägen sind in Abbildung 12 dargestellt.

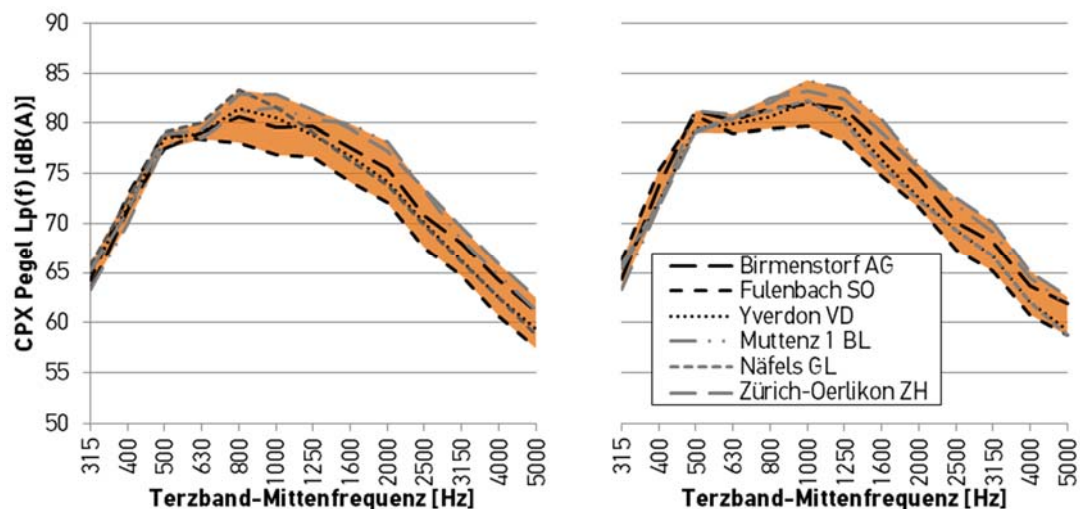


Abbildung 12: Rollgeräuschspektrum CPX SDA 8 Beläge für die Fahrzeugkategorie Personenwagen (links) und LKW (rechts) im Neuzustand.

Kommentar:

- + Das Niveau der Rollgeräusche von PW lag im mittleren Frequenzbereich auf den SDA 8 Belägen generell um 3 dB(A) bis 4 dB(A) höher als auf den SDA 4 Belägen. Aufgrund der geringeren Texturempfindlichkeit war der Niveauunterschied für den LKW Reifen weniger ausgeprägt.

- + Die Rollgeräusche auf dem SDA 8 in Fulenbach fielen insbesondere im mittleren und hohen Frequenzbereich deutlich tiefer aus als die übrigen SDA 8 Schichten in Birmensdorf, Yverdon, Muttenz 1, Näfels und Zürich-Oerlikon.
- + Als einziger der gemessenen SDA 8 Beläge, vermochte 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.

4.1.4 WIRKUNGSANALYSE SCHALLABSORPTION

Die Wirkungsanalyse Schallabsorption wurde gemäss der in Anhang A 1C) beschriebenen Methode durchgeführt. Die berechneten lärmreduzierenden Wirkungen durch Schallabsorption sind in Abbildung 13 dargestellt.

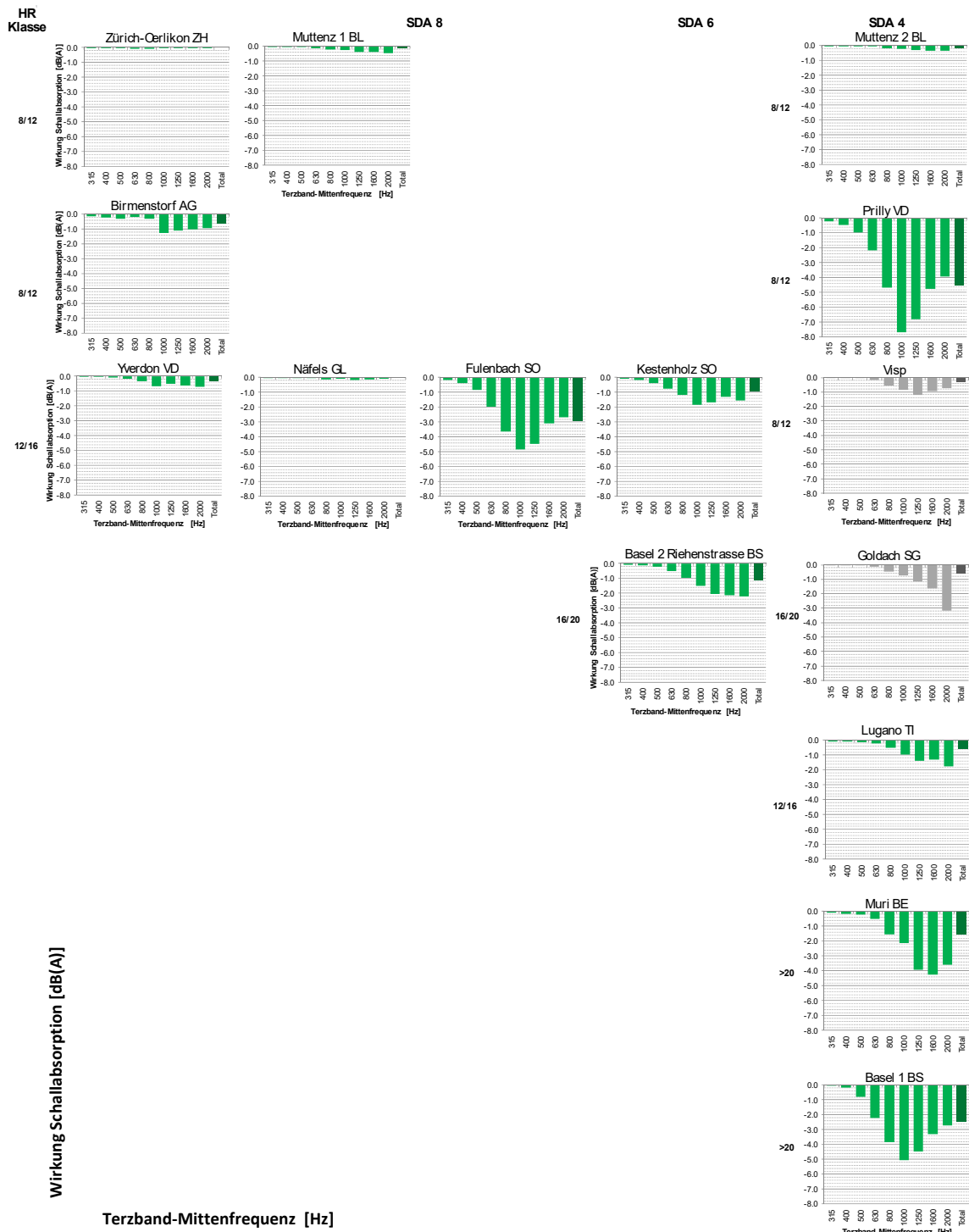


Abbildung 13: Lärmreduzierende Wirkung Schallabsorption aufgrund Wirkungsanalyse (siehe Anhang A 1C im Neuzustand). Für die Beläge in Goldach und Vsp liegen für den Neuzustand keine Wirkungsanalysen vor, deshalb wird für diese Beläge der Zustand nach einem Jahr Einbau dargestellt.

Kommentar:

- + Die lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption war 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 wiesen Lärmreduktionen durch Schallabsorption von ca. 1.5-3 dB aus.
- + Bei den SDA 8 Belägen wies einzig der Belag SDA 8 C in Fulenbach wesentliche Schallabsorptionseigenschaften auf. Die Lärmreduktion durch Schallabsorption betrug ca. 3 dB.
- + Eine geringe lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption von ca. 1 dB zeigten die Beläge in Kestenholz, Birmenstorf, Lugano und Yverdon.
- + Die SDA 8 Beläge in Zürich-Oerlikon, MuttENZ 1 und Näfels wirkten praktisch nicht schallabsorbierend, ebenso wenig wie der SDA 4 Belag in MuttENZ 2.
- + Für die Beläge in Goldach und Visp lagen für den Neuzustand keine Schallabsorptionsmessungen vor und es konnten daher keine Aussagen betreffend der Wirkung durch Schallabsorption gemacht werden.

4.1.5 WIRKUNGSANALYSE SCHALLENTSTEHUNG

Die Wirkungsanalyse Schallentstehung wurde gemäss der in Anhang A 3) beschriebenen Methode durchgeführt. Die berechneten Beiträge der einzelnen Lärmestehungsarten in Abbildung 14 dargestellt.

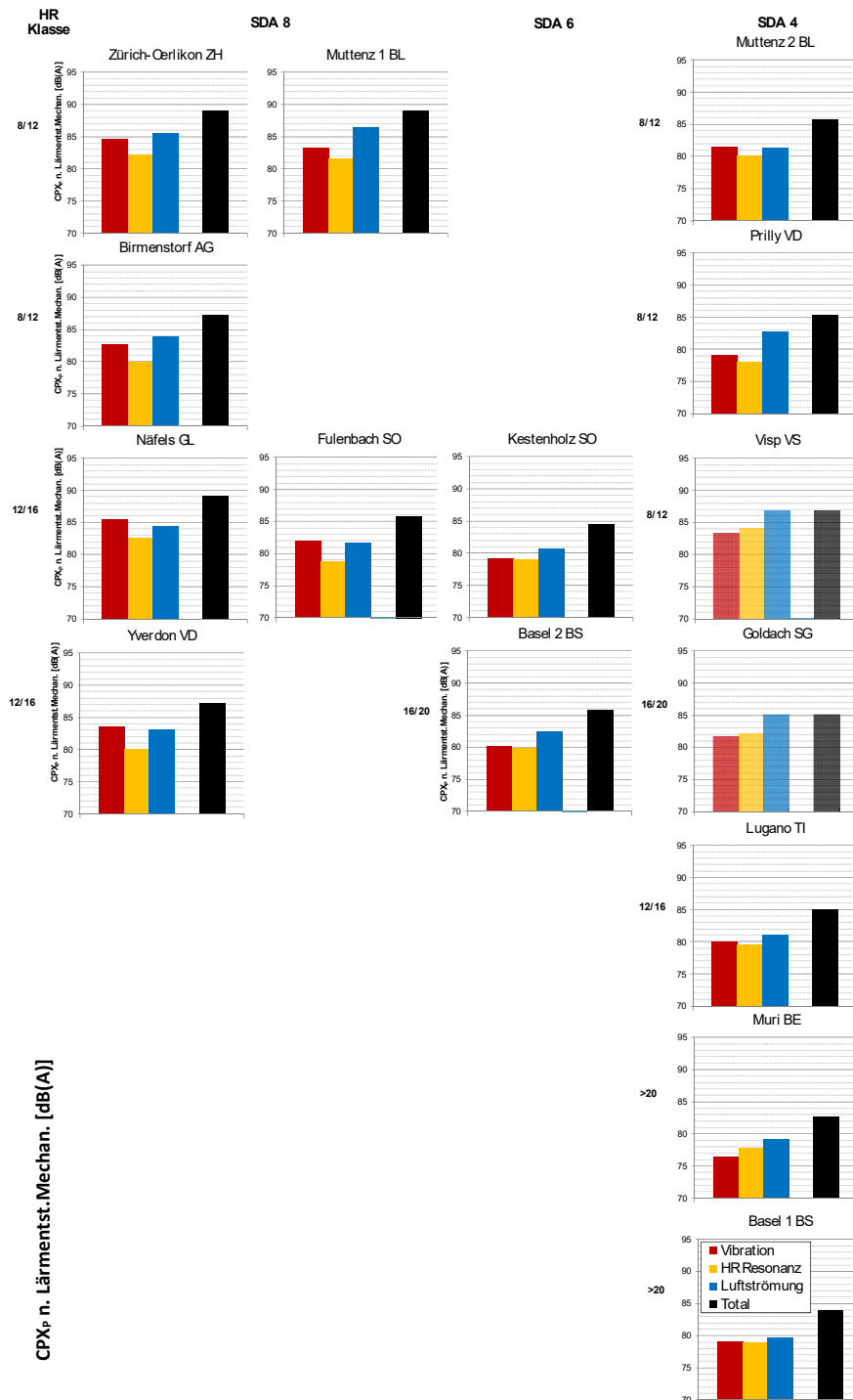


Abbildung 14: Rollgeräusch pro Lärmestehungsart aufgrund Wirkungsanalyse Schallentstehung (siehe Anhang A 3) im Neuzustand. Bemerkung: Für die Beläge in Goldach und Visp liegen für den Neuzustand keine Wirkungsanalysen vor, deshalb wird für diese Beläge der Zustand nach einem Jahr gezeigt.

Kommentar:

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

4.1.6 ZUSAMMENFASSUNG & DISKUSSION ERGEBNISSE

Lärmreduzierende Wirkung & Grösstkorn

Grundsätzlich wurde mit SDA 4 und SDA 6 Belägen eine grössere lärmreduzierende Wirkung erzielt, als dies mit SDA 8 Belägen der Fall war. Betrachtete man die mittels SPERoN-Modell und Wirkungsanalysen prognostizierte Verteilung der einzelnen Lärmentstehungsarten, wurde 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)). Trugen bei SDA 8 Belägen im Allgemeinen die Vibrationsgeräusche den grössten Anteil zur Gesamtschallenergie bei, war es bei den SDA 4 und SDA 6 Belägen entsprechend die Luftströmungsgeräusche, die dominierten.

Insgesamt war 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 war insofern nicht erstaunlich, da die lärmreduzierende Wirkung neben der maximalkornbeeinflussten Oberflächenbeschaffenheit von einer Anzahl weiteren Einflussgrössen abhängig war, welche untenstehend näher betrachtet wurden.

Lärmreduzierende Wirkung & Hohlraumgehalt

Bei der Betrachtung der lärmreduzierenden Wirkung der SDA Beläge in Abhängigkeit der Hohlraumklasse, zeigte sich, dass Beläge der Hohlraumgehaltklassen 12/16, 16/20 und >20 im Allgemeinen besser abschnitten als Beläge der Hohlraumklasse 8/12 mit demselben Grösstkorn.

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

Von den hohlraumreichen Belägen wiesen 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 entsprach der in Näfels gemessene Luftströmungswiderstand demjenigen eines dichten Belages.

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

In Goldach hingegen überlagert die geringe Schichtdicke die Wirkung des Hohlraumgehaltes (siehe nächster Abschnitt).

Lärmreduzierende Wirkung & Schichtdicke

Laut den Ergebnissen der Luftströmungswiderstandsmessungen besass der SDA 4 HR 16/20 Belag in Goldach die Eigenschaften eines offenporigen Belages. Die aufgrund von Modellberechnungen bestimmte Wirkung durch Schallabsorption ergab, dass der Belag in Goldach im Frequenzbereich um 2000 Hz stark schallabsorbierend wirkte (siehe Abbildung 15). 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 lag in der eher dünnen Schichtdicke der eingebauten Deckschicht.

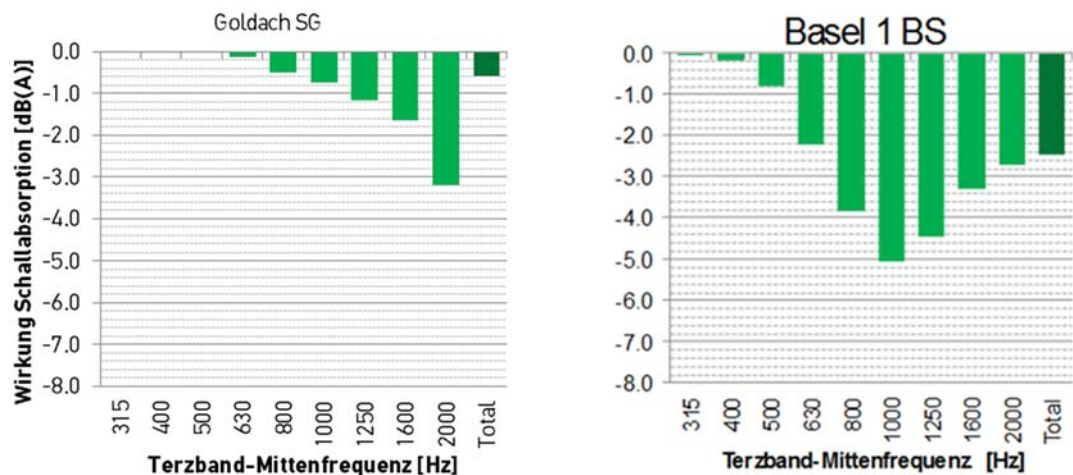


Abbildung 15: Lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption
 (Schichtdicke Goldach: 20 mm / Basel 1: 39 mm)

SDA 4 HR 16/20 in Goldach (Zustand 2011, in Goldach sind für den Neuzustand keine Schallabsorptionsmessungen und Modellierungen verfügbar) und SDA 4 HR >20 in Basel 1 im Neuzustand

4.2 VERÄNDERUNG DER BELÄGE SEIT EINBAU

4.2.1 AKUSTISCHE WIRKUNG 2015/16 (3 BIS 5 JAHRE NACH EINBAU)

Teststrecke	Typ	Zustand	CPX _P	CPX _H	Teststrecke (Mittelwert)		Analysesequerschnitt			
					Abw. StL86+	Abw. StL86+	CPX _P	CPX _H	CPX _{PW}	CPX _{LKW}
		(J.n.Einb.)	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	Abw. StL86+	Abw. StL86+
									[dB(A)]	[dB(A)]
Goldach SG	SDA 4	5	89.6	89.7	-0.6	-4.1	90.1	90.2	±0.0	-3.3
Birmenstorf AG	SDA 8	4	90.9	90.7	+1.0	-2.6	90.8	90.7	+1.0	-2.7
Fulenbach SO	SDA 8	4	90.4	90.3	+0.4	-3.2	90.6	90.2	+0.6	-3.3
Kestenholz SO	SDA 6	4	89.5	89.6	-0.7	-4.1	89.1	89.3	-1.3	-4.6
Muri BE	SDA 4	4	87.0	87.2	-3.8	-7.4	90.4	89.8	+0.4	-3.8
Prilly VD	SDA 4	4	88.5	90.0	-2.0	-3.6	88.6	90.1	-1.8	-3.4
Visp VS	SDA 4	4	90.2	90.9	+0.2	-2.4	89.7	90.9	-0.4	-2.4
Basel 1 BS	SDA 4	3	87.5	88.5	-3.2	-5.7	87.8	88.5	-2.9	-5.6
Lugano TI	SDA 4	3	87.9	88.9	-2.8	-5.1	87.4	88.7	-3.4	-5.4
Muttenz 2 BL	SDA 4	3	88.3	90.2	-2.2	-3.3	88.5	90.2	-2.0	-3.4
Basel 2 BS	SDA 6	3	86.4	88.3	-4.6	-6.0	87.0	88.4	-3.8	-5.8
Näfels GL	SDA 8	3	92.0	92.2	+2.4	-0.7	91.9	92.4	+2.3	-0.4
Yverdon VD	SDA 8	3	91.3	92.2	+1.5	-0.6	91.9	92.4	+2.2	-0.3
Zürich-Oerlikon ZH	SDA 8	3	90.3	90.6	+0.3	-2.7	90.4	90.7	+0.4	-2.7
Muttenz 1 BL	SDA 8	3	90.4	91.3	+0.4	-1.9	90.1	91.0	±0.0	-2.3

Tabelle 11: Akustische Wirkung der Testbeläge 2015/2016 in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A).

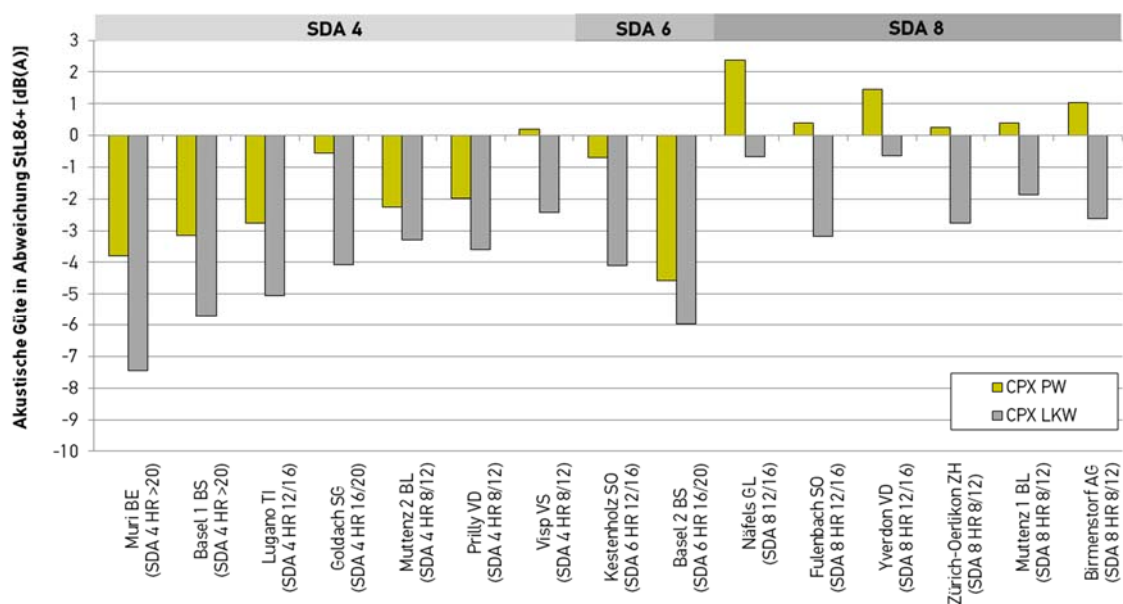


Abbildung 16: Akustische Wirkung der Testbeläge 2015/2016 in Abweichung zum Modell StL86+ in dB(A).

Kommentar zu Tabelle 11 und Abbildung 16:

- + Ein Vergleich der Messungen im Neuzustand und der aktuellsten Messungen (2015/2016) zeigte, dass die lärmreduzierende Wirkung für die Fahrzeugkategorie Personenwagen bei allen Testbelägen abgenommen hatte.
- + Die erzielte lärmreduzierende Wirkung für die Fahrzeugkategorie LKW hatte sich im selben Zeitraum weniger stark verändert und wies insbesondere für die SDA 4 Beläge nach 3 bis 4 Jahren immer noch gute bis sehr gute Werte auf.
- + Nach den CPX Messungen 2015/2016 lagen mit drei Ausnahmen sämtliche Beläge immer noch im Bereich der minimal geforderten akustischen Wirkung für lärmarme Beläge von -1 dB in Abweichung zum Emissionsmodell Stl86+ bei einem Schwerververkehrsanteil von 8%. Die SDA 8 Beläge in Birmenstorf, Näfels und Yverdon erfüllten dieses Kriterium nicht mehr.
- + Die besten akustische Wirkungen wurden auf dem SDA 4 Belag in Muri (4 Jahre nach dem Einbau), auf dem SDA 4 Belag in Basel 1 und dem SDA 6 Belag in Basel 2 (jeweils 3 Jahre nach dem Einbau) erzielt.

Die Kommentare zur Tabelle 11 und Abbildung 16 wurden in der Abbildung 17 graphisch wie folgt dargestellt:

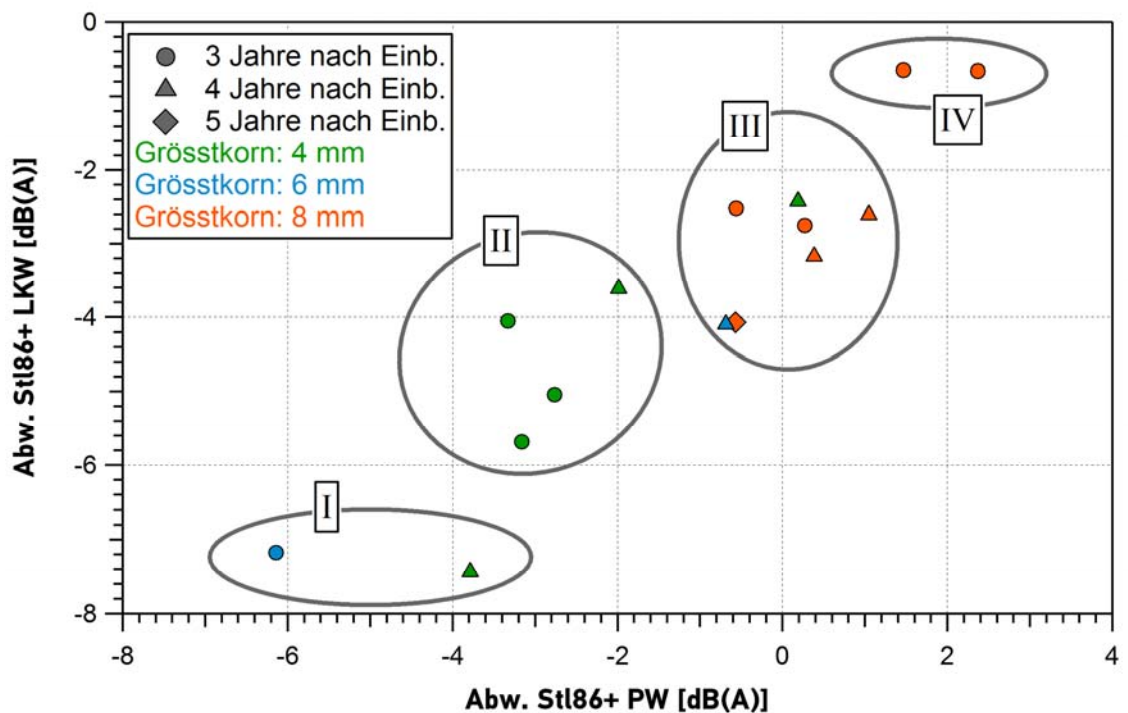


Abbildung 17: Akustische Wirkung der beiden Reifenkategorien PW und LKW in den Alterskategorien 3, 4 und 5 Jahre nach Einbau.

Die akustische Qualität der gemessenen Beläge liesse sich nach den Messungen 2015/16 in 4 Klassen einteilen:

- + Klasse I: Beläge mit sehr guter akustischer Güte für PW und LKW
- + Klasse II: Beläge mit guter akustischer Güte für PW und LKW
- + Klasse III: Beläge mit befriedigender bis ausreichender akustischer Güte für PW und guter akustischer Güte für LKW
- + Klasse IV: Beläge mit mangelhafter akustischer Güte für PW und LKW

4.2.2 VERÄNDERUNG DER AKUSTISCHEN WIRKUNG SEIT EINBAU

In den nachfolgenden Abbildungen wurde der Belag SMA 11 als Referenz genommen, da dieser international als weitverbreiteter Standardbelag bekannt ist.

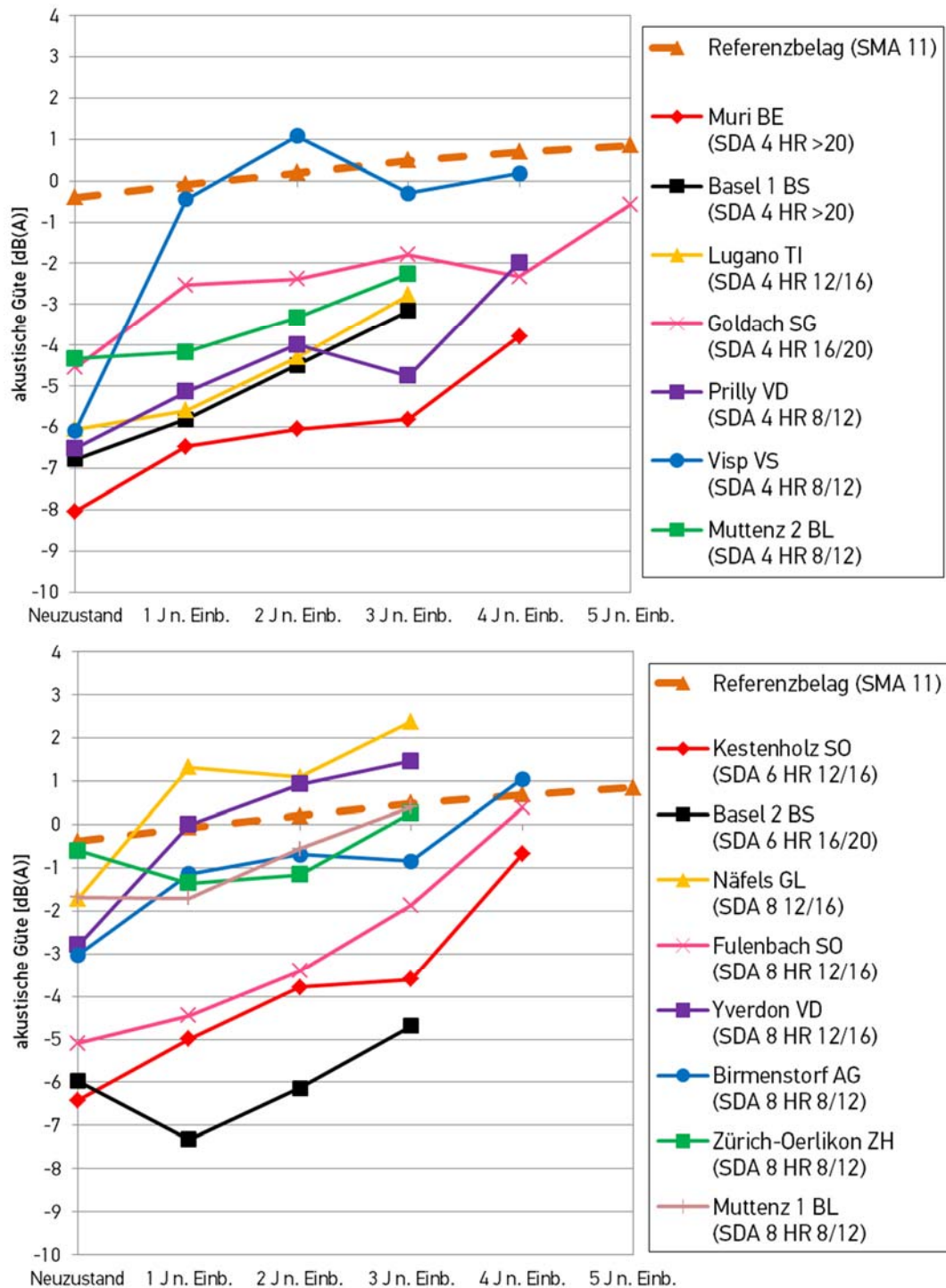


Abbildung 18: Veränderung der akustischen Güte seit Einbau (Streckenmittelwerte CPX PW) im Vergleich zu einem konventionellen dichten Belag SMA 11 als Referenz (orange).

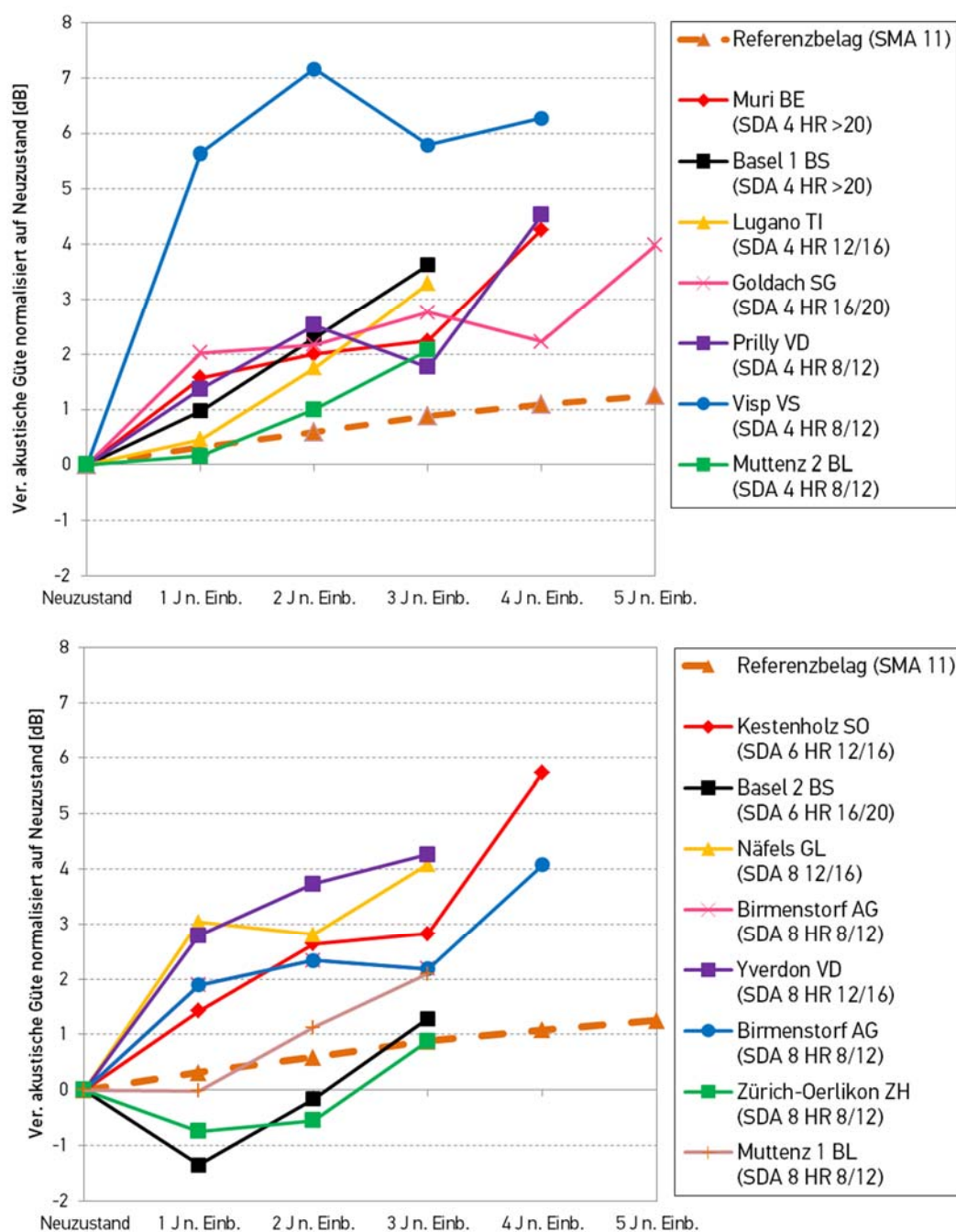


Abbildung 19: Veränderung der akustischen Güte seit Einbau (Streckenmittelwerte CPX PW) normalisiert auf Neuzustand im Vergleich zu einem konventionellen dichten Belag SMA 11 als Referenz (orange).

4.2.3 VERÄNDERUNGEN IN BEZUG AUF DIE LÄRMENTSTEHUNG

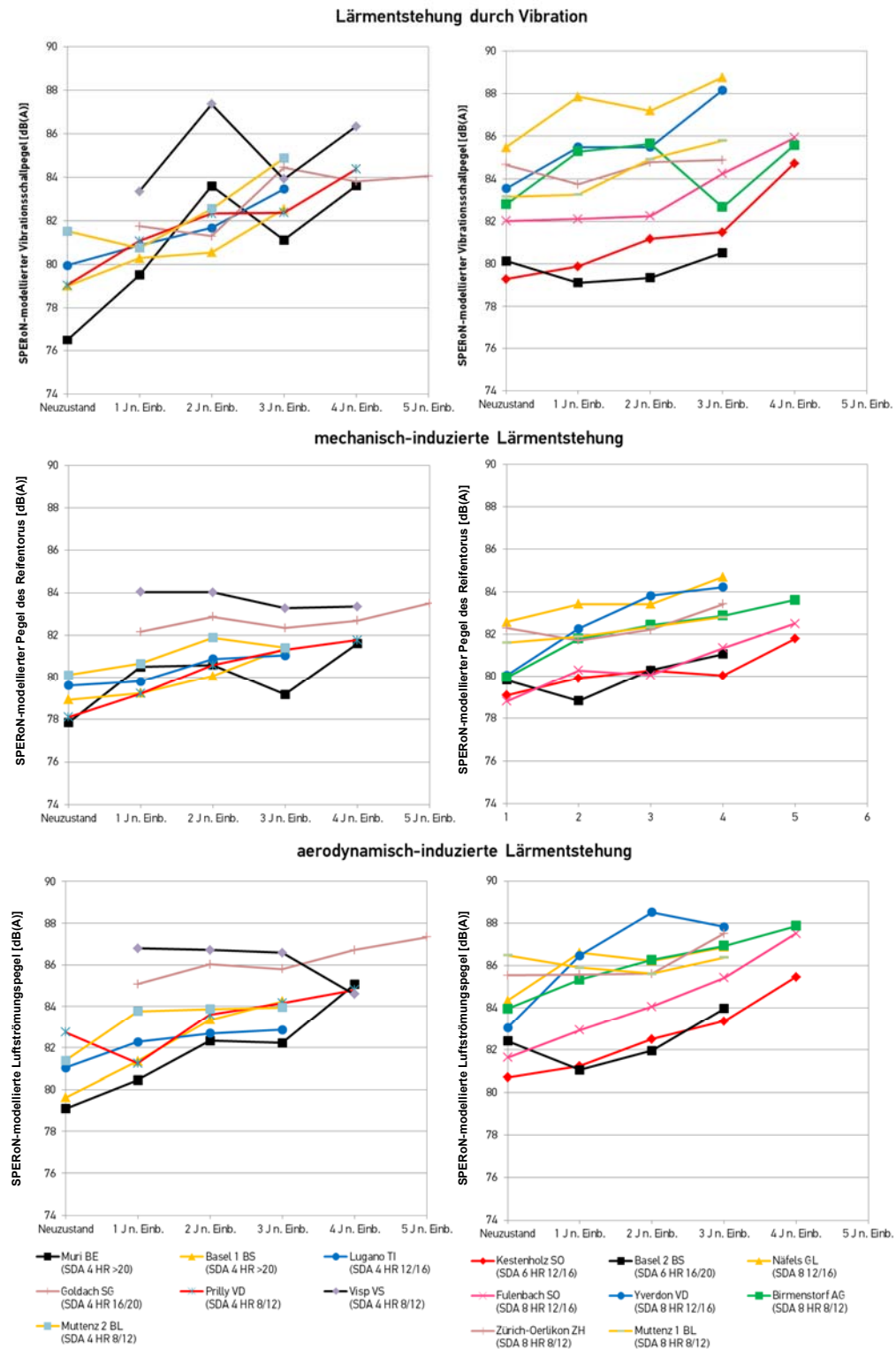


Abbildung 20: Veränderung des Vibrations-, des Hohlraum-Resonanz- und des Luftströmungsanteils an der Schallentstehung nach jeweiliger Wirkungsanalyse (siehe Anhang A 3). Für die Beläge in Visp und Goldach liegen im Neuzustand keine Messungen vor.

In der Abbildung 18 und Abbildung 19 sind die Absolutwerte und relativen Veränderungen der akustischen Güte über die Zeit nach dem Einbau dargestellt. Abbildung 20 zeigt die Veränderung des Vibrations-, des Hohlraum-Resonanz- und des Luftströmungsanteils an der Entstehung des Reifen-Fahrbahn-Schalls nach jeweiliger Wirkungsanalyse (siehe Anhang A 3). Für die Beläge in Visp und Goldach lagen für den Neuzustand keine Messungen vor.

Veränderungen im Zeitverlauf

Vibration

- + Der bisher beobachtete Trend zunehmender Vibrationsgeräusche wurde auf einigen Belägen unterbrochen. Auf einigen Belägen wurde allerdings im letzten Jahr eine Zunahme der Vibrationsgeräusche festgestellt, was auf eine tendenzielle Verschlechterung der Oberflächentextur hindeutet.

Hohlraumresonanz

- + Die Hohlraumresonanzen verschoben sich in der Regel mit der Anregung durch Vibrationen oder bleiben bei geringfügiger Veränderung der Anregung mehr oder weniger stabil. Entsprechend waren hier keine wesentlich abweichenden Trends zu erwarten.

Luftströmung

- + Bei der überwiegenden Mehrheit der Beläge war eine konsistente und kontinuierliche Zunahme der Luftströmungsgeräusche zu verzeichnen. Bei Belägen mit höheren Hohlraumgehalten war dieser Trend mit einer langsamen aber stetigen Abnahme der Porenzugänglichkeit zu erklären.

4.2.4 VERÄNDERUNG DER OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN SEIT EINBAU

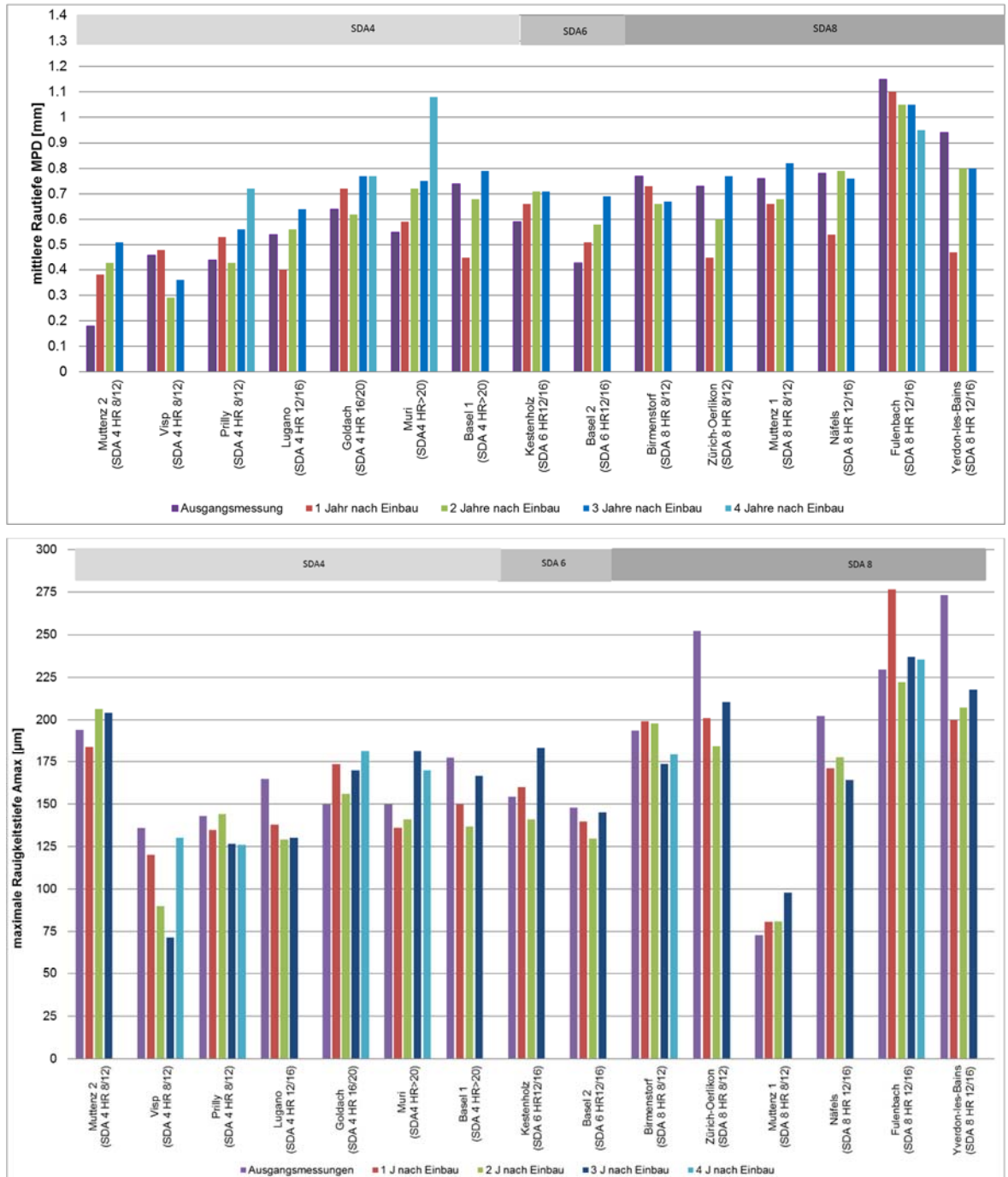


Abbildung 21: Entwicklung der mittleren MPD (oben) und maximalen spektralen Rauigkeitstiefe A_{max} (unten) seit den Ausgangsmessungen kurz nach dem Einbau

Kommentare zu Abbildung 21:

- + Auf den Strecken von Muttenez 2 und Muri war teils ein markanter Anstieg der mittleren Rauigkeitstiefe über den Beobachtungszeitraum zu beobachten.
- + Bei der Strecke in Muttenez 1 war eine kontinuierliche Zunahme der maximalen Rauigkeitstiefe über den Monitoringzeitraum zu beobachten; die Zunahme bei den Strecken Goldbach, Muri und Kestenholz verlief sprunghaft

- + Bei den Strecken in Lugano, Näfels, Zürich-Oerlikon und Yverdon war eine Abnahme der maximalen Rauigkeitstiefe zu verzeichnen.
- + Bei den Strecken MuttENZ 2, Visp, Prilly, Basel 1, Basel 2, Birmenstorf und Fulenbach lag die maximale Rautiefe am Ende des Beobachtungszeitraums etwas beim Ausgangswert, obwohl bei den jährlichen Messungen teilweise grössere Veränderungen festgestellt wurden.

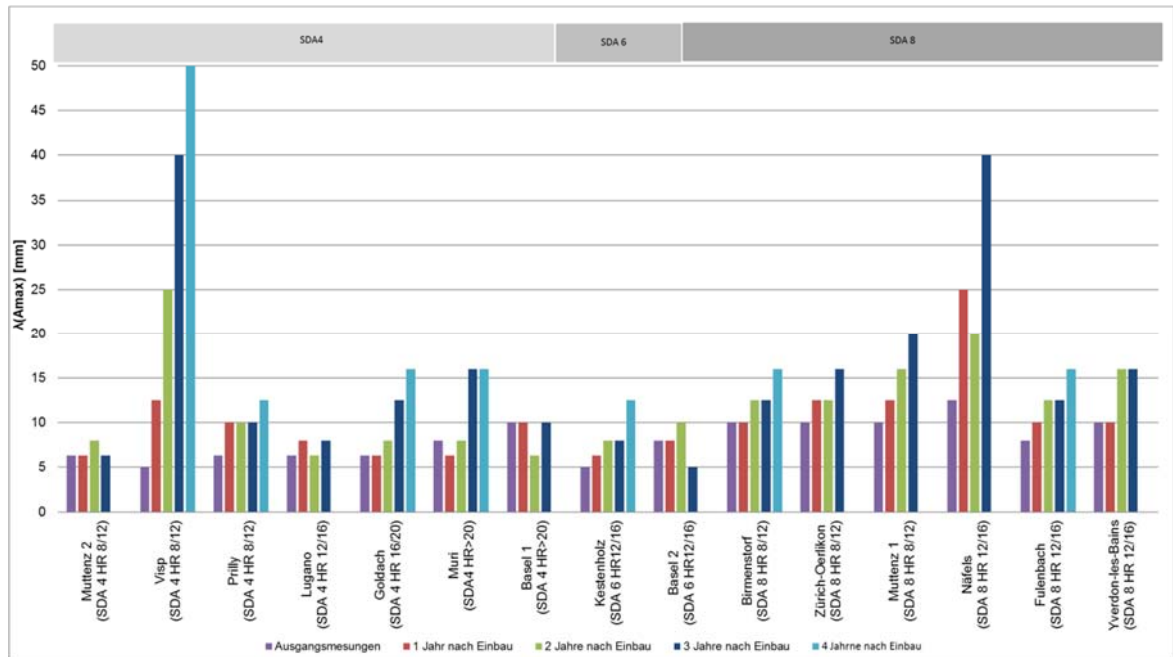


Abbildung 22: Entwicklung der Wellenlänge bei maximaler, spektraler Rauigkeitstiefe seit den Ausgangsmessungen kurz nach dem Einbau

Kommentare zu Abbildung 22

- + In Visp und Näfels ist die Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe seit Einbau markant angestiegen, was auf eine teils wesentliche Veränderung der Oberflächentextur hindeutet.
- + Bei den Strecken in MuttENZ-2, Lugano und Basel 1 hat sich die Wellenlänge bei der die maximale Rauigkeitstiefe auftritt seit dem Einbau nicht bzw. unwesentlich verändert.
- + Bei den Teststrecken in Goldach, Muri, Kestenholz, Birmenstorf, Zürich-Oerlikon, Fulenbach und Yverdon-les-Bains verschob sich die maximale Rauigkeitstiefe seit der Erstmessung um bis zu zwei Terzbänder in den langwelligeren Bereich.

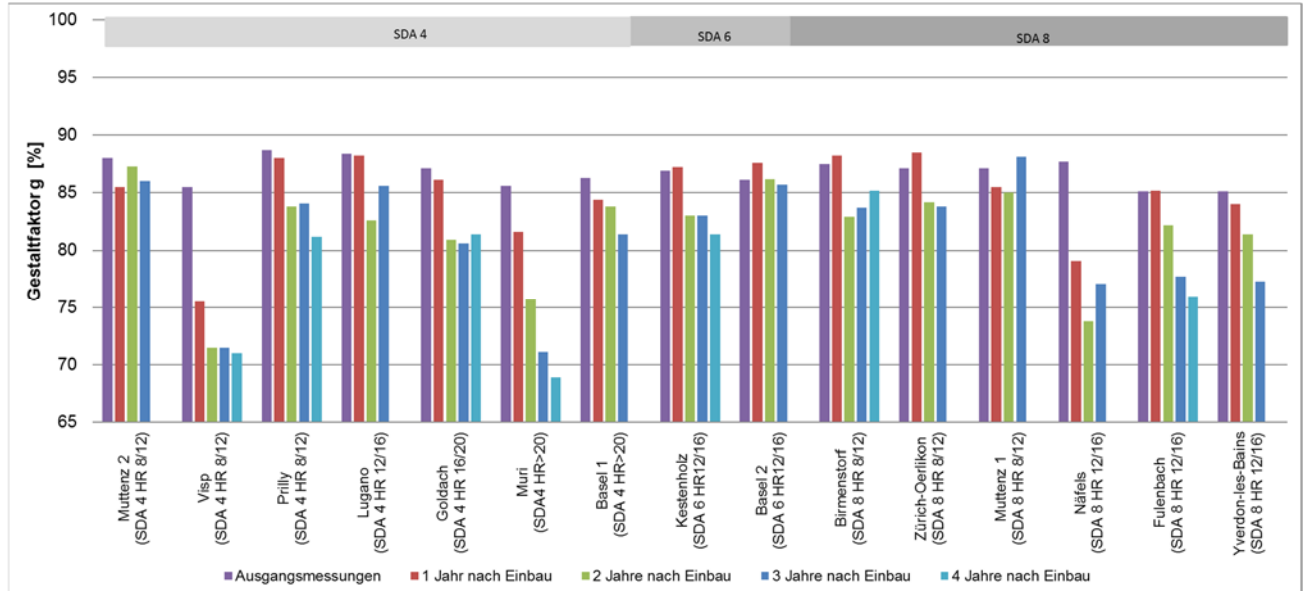


Abbildung 23: Entwicklung des Gestaltfaktors seit den Ausgangsmessungen kurz nach dem Einbau

Kommentare zu Abbildung 23:

- + Der Gestaltfaktor hat sich in Muttenez 2, Basel 2, Lugano und Muttenez 1 seit dem Einbau nur wenig verändert.
- + Wesentliche Abnahmen des Gestaltfaktors wurden hingegen in Visp, Prilly, Goldach, Muri, Näfels, Fulenbach und Yverdon festgestellt. Diese teilweise deutliche Abnahme des Gestaltfaktors deutet auf eine Veränderung der Oberflächentextur von einer konkaven zu einer konvexen Textur hin, was zu einer Verschlechterung der lärmindernden Eigenschaften der Fahrbahn führen kann.

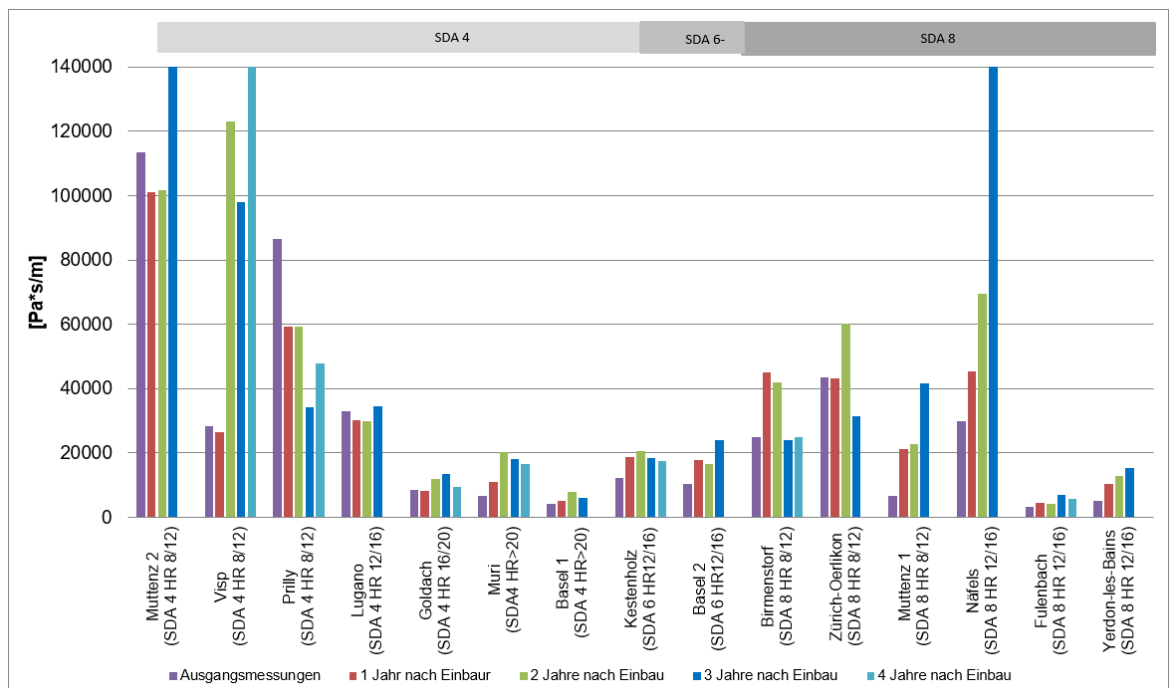


Abbildung 24: Entwicklung des Luftströmungswiderstandes seit den Ausgangsmessungen kurz nach dem Einbau

Kommentare zu Abbildung 24:

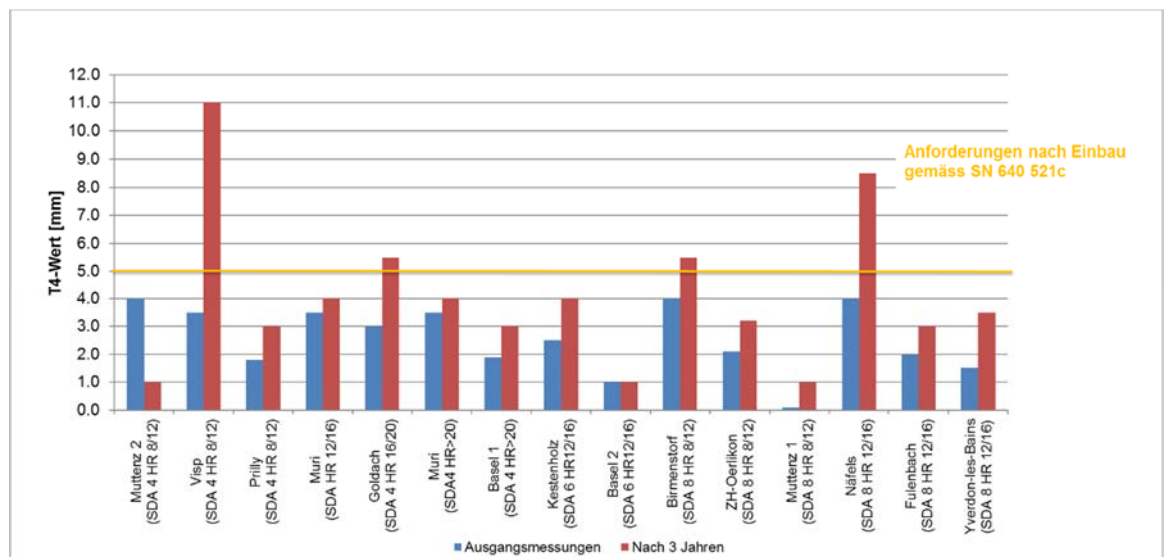
- + Von den Belägen mit den Eigenschaften eines porösen bzw. semi-porösen Strassenbelages im Neuzustand, hat der Luftströmungswiderstad bei den SDA 4 Belägen in Basel 1, Muri, Goldach, bei den beiden SDA 6 Belägen in Basel 2 (Riehenstrasse) und Kestenholz, sowie bei den SDA 8 Belägen in Fülenbach, Muttenz 1 und Yverdon-les-Bains zugenommen.
- + Die Testbeläge in Muttenz 1, Muri, Kestenholz, Basel 2 und Muttenz 2 entwickeln sich zunehmend zu dichten/semi-dichten Strassenbelägen.

4.2.5 VERÄNDERUNG DER BELAGSTECHNISCHEN KENNWERTE SEIT DEM EINBAU (WIEDERHOLUNGSMES- SUNGEN NACH 3 JAHREN)

Im Rahmen der Wiederholungsmessungen nach 3 Jahren wurden zusätzlich zu den jährlich stattfindenden belastetechnischen Messungen die Querebenheit, die Längsebenheit und die Griffigkeit mittels dem Pendelverfahren bestimmt und mit dem Zustand kurz nach Einbau der Teststrecken verglichen.

4.2.5.1 QUEREBENHEIT T4-WERT

Es zeigte sich, dass bei den meisten Strecken (ausser Visp und Näfels) die Zunahme des T4-Wertes zwischen 0.5 und 2.5 mm lag. Diese Werte lagen im Rahmen der Erwartungen und waren einerseits auf Abrieb und andererseits auf Nachverdichtungen zurückzuführen. Bei der Strecke in Visp betrug die Zunahme des T4-Wertes 7.5 mm, in Näfels 5.2 mm. Derart grosse Zunahmen können nur auf Verformungen zurückgeführt werden, wobei nicht bekannt ist, ob diese in der Deckschicht alleine oder auch in den darunterliegenden Schichten aufgetreten sind (siehe Abbildung 25). Bei der Teststrecke in MuttENZ 2 (SDA 4) war eine untypische Abnahme des T4 Wertes zu verzeichnen, was bedeuten würde, dass sich die Querebenheit verbessert hätte. Dazu gibt es keine bautechnisch plausible Erklärung, wohl jedoch eine messtechnische. Diese atypische «Verbesserung» der Querebenheit ist im Zusammenhang mit der markanten Verschlechterung der Längsebenheit zu sehen. Während die Querebenheit an 4 Profilen punktuell gemessen wurde, erfolgte die Aufnahme der Längsebenheit kontinuierlich über die gesamte Teststrecke. Es ist davon auszugehen, dass die punktuellen Querebenheitsmessungen durch die markanten Veränderungen der Längsebenheit zufällig beeinflusst wurden.



4.2.5.2 LÄNGSEBENHEIT SW-WERT (RECHTE FAHRSPUR)

Beim Vergleich der Messungen der Längsebenheit kurz nach dem Einbau und nach 3 Jahren konnte eine Veränderung von -0.1 bis $+1.7$ ‰ festgestellt werden (siehe Abbildung 26). Die meisten Strecken lagen zwischen 0.1 und 0.5 ‰. Die geringfügigen Abnahmen um 0.1 ‰ in Kestenholz und Yverdon-les-Bains sind auf Rundungseffekte der Messwerte zurückzuführen, denn es ist in der Regel mit einer Zunahme des Wertes zu rechnen. Es zeigte sich, dass die 4er Beläge im Allgemeinen eine grössere Zunahme des sW-Werts aufwiesen als die 8er Beläge.

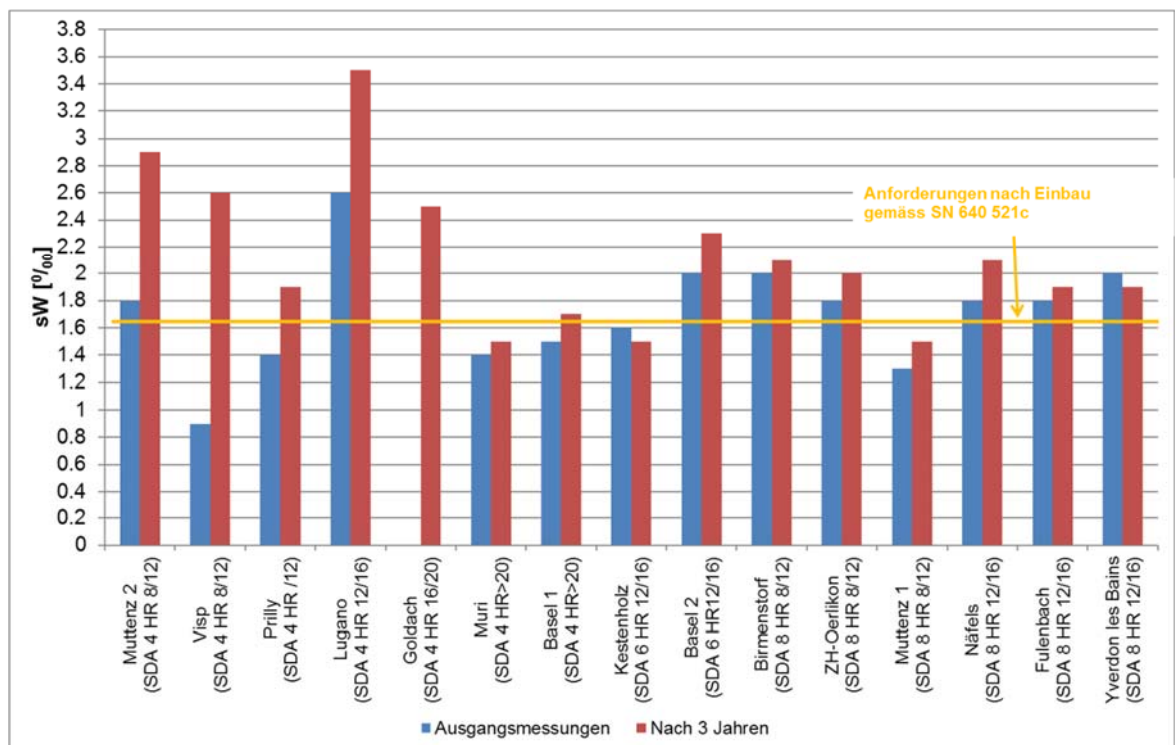


Abbildung 26: Vergleich der Ausgangswerte der Längsebenheit (sW-Wert) unmittelbar nach Einbau und nach 3 Jahren

4.2.5.3 GRIFFIGKEIT (PTV-WERT)

Die Ausgangsmessungen der Griffigkeit (PTV-Wert) fanden in der Regel 3 – 4 Monate nach dem Einbau statt. Beim Vergleich der Griffigkeit (PTV-Wert) kurz nach dem Einbau und nach 3 Jahren war bei allen Teststrecken eine Zunahme der Griffigkeit zu beobachten. Die Zunahme der Griffigkeit kann damit erklärt werden, dass bei den Ausgangsmessungen die Gesteinskörnungen teilweise noch mit einem Bitumenfilm umhüllt waren, welcher erst nach einiger Zeit durch die Verkehrsbeanspruchung abgefahren wurde. Diese Beobachtung deckt sich mit den Erfahrungen aus der Praxis. Für die Teststrecke in Goldach und Lugano wurden leider keine Anfangswerte zur Verfügung gestellt. Auf den Strecken in MuttENZ 2 & 1 (SDA 4 und SDA 8) und Basel 2 wurde auf die 3 Jahres PTV-Messungen verzichtet (siehe Abbildung 27).

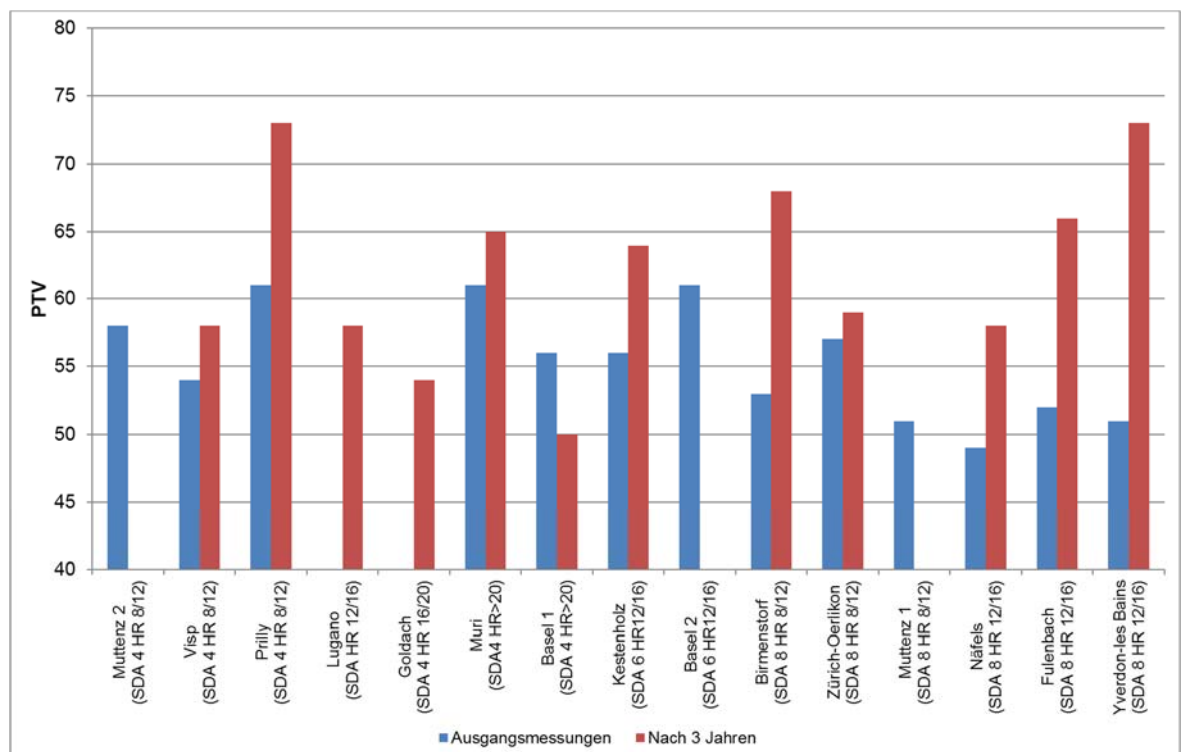


Abbildung 27: Vergleich der Ausgangswerte der Griffigkeit (PTV-Wert) unmittelbar nach Einbau und nach 3 Jahren

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die im Projekt vorgegebene Messmethode für die gegebene Fragestellung zu wenig aussagekräftig ist. Dazu wären dynamische Messverfahren in der Radspur erforderlich.

4.2.6 VERÄNDERUNG DER BINDEMITTELEIGENSCHAFTEN SEIT DEM EINBAU

Im Rahmen der Wiederholungsmessungen nach 3 Jahren wurden die Bindemittleigenschaften wie Erweichungspunkt (R&K), Penetration, Penetrationsindex und elastische Rückstellung am rückgewonnenen Bindemittel entnommener Bohrkerns bestimmt. Beim Bindemittel handelte es sich bei allen Teststrecken, bis auf die Strecke SDA 4 in Muttenz, um ein polymermodifiziertes Bitumen der Sorte PmB-E45/80-65.

Leider wurden uns für einige Teststrecken keine Ausgangsmessungen zur Verfügung gestellt, so dass nicht für alle Teststrecken die zeitliche Veränderung der Bindemittleigenschaften betrachtet werden kann. Die Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die vorhandenen Ausgangsmessungen.

Tabelle 12: Übersicht über die Ausgangsmessungen der Bindemittleigenschaften

Strecke	Mischgut	Bindemittel	EP R&K	Penetration	Pen-Index	el. Rückst.
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12	PmB-E25/55-65	✓	✓		✓
Visp	SDA 4 HR 8/12	PmB-E45/80-65	✓	✓	✓	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	PmB-E45/80-65				
Lugano	SDA 4 HR 8/12	PmB-E45/80-65				
Goldach	SDA 4 HR 16/20	PmB-E45/80-65				
Muri	SDA 4 HR >20	PmB-E45/80-65	✓	✓	✓	✓
Basel 1	SDA 4 HR >20	PmB-E45/80-65	✓	✓	✓	✓
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	PmB-E45/80-65	✓	✓	✓	✓
Basel 2	SDA 6 HR 12/16	PmB-E45/80-65	✓	✓		✓
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	PmB-E45/80-65				✓
ZH-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12	PmB-E45/80-65	✓	✓		✓
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12	PmB-E45/80-65	✓	✓		✓
Näfels	SDA 8 HR 12/16	PmB-E45/80-65				
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	PmB-E45/80-65	✓	✓	✓	✓
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR 12/16	PmB-E45/80-65				

4.2.6.1 ERWEICHUNGSPUNKT RING UND KUGEL (R&K)

Da die Ausgangsmessungen von unterschiedlichen Labors, sämtliche Messungen nach 3 Jahren jedoch von einer einzigen Prüfstelle (IMP) durchgeführt wurden, muss bei der Interpretation der Ergebnisse auch die Vergleichspräzision (R) berücksichtigt werden. Diese beträgt für polymermodifizierte Bindemittel 3.5°C. Dies bedeutet, dass zwei Ergebnisse unterschiedlicher Labors statistisch gesehen erst dann als unterschiedliche betrachtet werden dürfen, wenn sie um mehr als 3.5°C voneinander abweichen. Dies trifft nur bei den Teststrecken Fulenbach und Kestenholz zu.

Generell konnte eine Tendenz zur Erhöhung des EP R&K festgestellt werden, auch wenn die Zunahme in vielen Fällen statistisch nicht relevant ist (siehe Abbildung 28). Ein höherer EP R&K weist auf eine grössere Viskosität hin, was aufgrund der Bindemittelalterung grundsätzlich zu erwarten ist.

Für zukünftige Projekte sollten Bindemitteluntersuchungen mit dem Dynamischen Scher-Rheometer (DSR) vorgesehen werden, denn rheologische Untersuchungen geben einen vertieften Einblick in die Veränderungen der Eigenschaften. Zudem wäre es von Vorteil, wenn die Ausgangsmessungen und die späteren Messungen von der gleichen Prüfstelle durchgeführt werden.

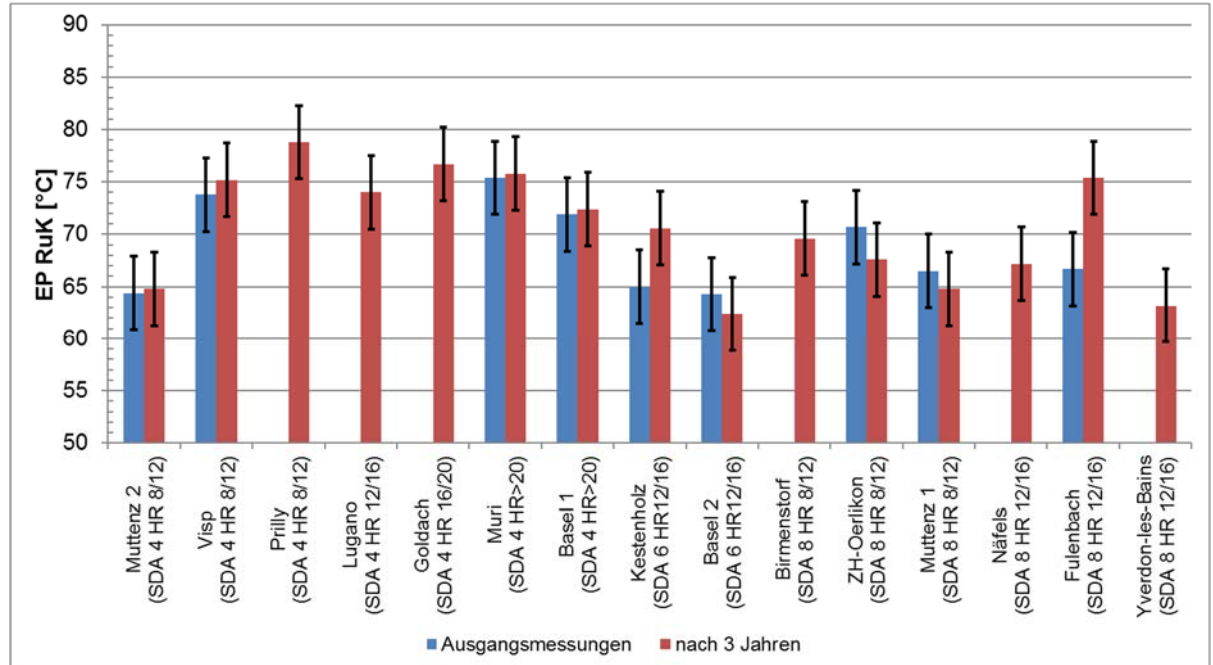


Abbildung 28: Vergleich des Erweichungspunkt (EP R&K) unmittelbar nach dem Einbau und nach 3 Jahren

Es zeigte sich, dass es bei allen Teststrecken über den Zeitraum von 3 Jahren zu einem Anstieg des Erweichungspunkts (R&K) gekommen ist. Für die Teststrecke Prilly, Goldach, und Birmenstorf lagen keine Ausgangsmessungen für den R&K vor. Der bei allen rückgewonnenen Bindemitteln beobachtete Anstieg des Erweichungspunkts entsprach den Erwartungen und ist auf das Altern des Bitumens zurückzuführen.

4.2.6.2 PENETRATION

Bei der Penetration kann die gleiche Tendenz wie beim Erweichungspunkt R&K festgestellt werden; das Bindemittel wurde im Beobachtungszeitraum härter. Im Gegensatz zum EP R&K sind bei der Penetration die Unterschiede in der Regel statistisch gesehen relevant; die Vergleichspräzision liegt bei R= 3%. (siehe Abbildung 29).

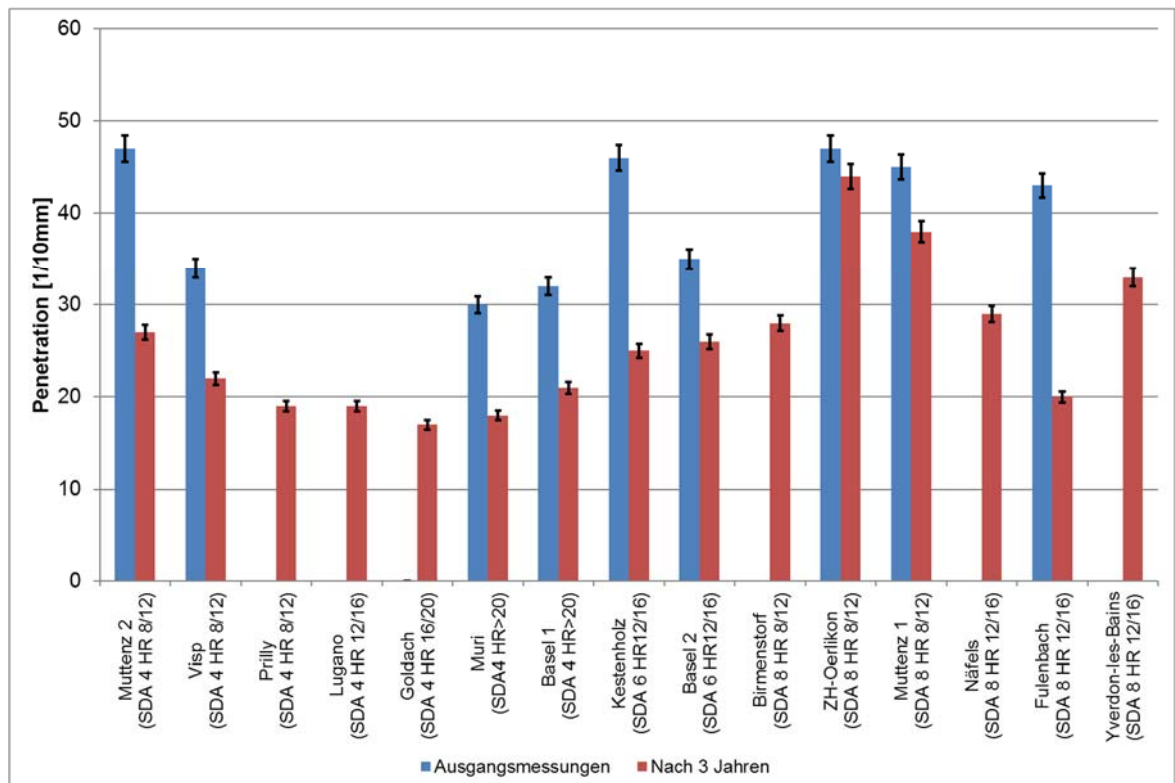


Abbildung 29: Vergleich der Ausgangswerte der Penetration unmittelbar nach dem Einbau und nach 3 Jahren

Aus der Tabelle 13 geht hervor, dass es bei den 8-er Mischgutsorten eine Abhängigkeit der Veränderung der Penetration vom Hohlraumgehalt zu geben scheint. Die Strecke mit dem kleinsten Hohlraumgehalt hat die kleinsten Veränderungen der Penetration, während diejenige mit dem grössten Hohlraumgehalt die grössten Veränderungen der Penetration aufweist. Diese Tendenz kann bei den feineren Mischgutsorten (4-er Grösstkorn) nicht festgestellt werden. Dies könnte auf die Grösse der Hohlräume zurückgeführt werden. Bekanntlich weisen feinkörnige Mischungen kleinere Hohlräume auf als grobkörnige Mischungen. Vermutlich findet in grösseren Poren ein intensiverer Austausch von Sauerstoff statt, welcher zur Oxidation und somit zur Verhärtung des Bindemittels führt.

Tabelle 13: Vergleich der Ausgangswerte der Penetration unmittelbar nach dem Einbau und nach 3 Jahren

Strecke	HR (Bohrkern)	Penetration	
	Vol.-%	ΔEinbau/3Jahre [1/10mm]	Penetration ΔEinbau/3Jahre [%]
MuttENZ 2 (SDA 4 A)	10.8	20	43
Visp (SDA 4 B)	11.7	12	35
Muri (SDA 4 C)	21.8	12	40
Basel 1 (SDA 4C)	18.2	11	34
Kestenholz (SDA 6 B)	13.1	21	46
Basel 2 (SDA 6 C)	16.1	9	26
ZH-Oerlikon (SDA 8 B)	8.8	3	6
MuttENZ 1 (SDA 8 A)	10.8	7	16
Fulenbach (SDA 8 C)	15.9	23	53

4.2.6.3 PENETRATIONSINDEX

Generell kann im Vergleich der Ausgangswerte zu den Werten nach 3 Jahren eine Abnahme des PI beobachtet werden, d.h. das Bitumen verhält sich gegenüber Temperaturveränderungen empfindlicher. Diese Abnahme entspricht den Erwartungen und kann wiederum mit dem Altern des Bitumens erklärt werden (siehe Abbildung 30)

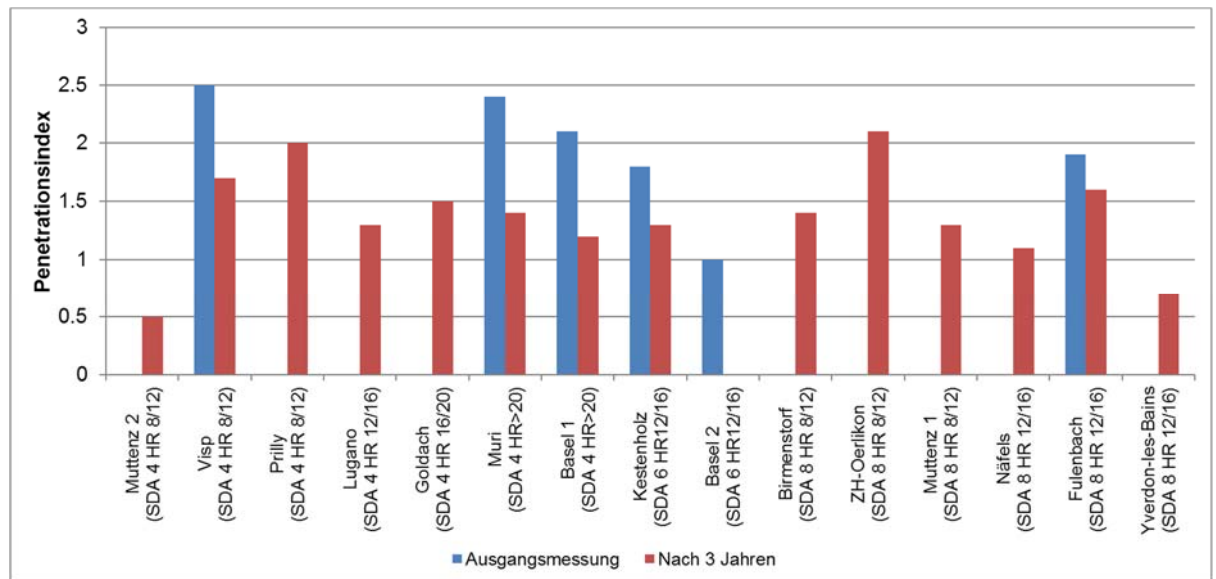


Abbildung 30: Vergleich der Ausgangswerte des Penetrationsindex unmittelbar nach dem Einbau und nach 3 Jahren

4.2.6.4 ELASTISCHE RÜCKSTELLUNG

Auch bei der elastischen Rückstellung kann die allgemeine Tendenz zu härteren Bindemitteln infolge der Alterung beobachtet werden. Einzig die Teststrecke in Muri wies einen atypischen Anstieg der elastischen Rückstellung auf, obwohl auch bei dieser Strecke die Werte für den Erweichungspunkt R&K sowie für die Penetration auf eine Alterung hinweisen. (siehe Abbildung 31).

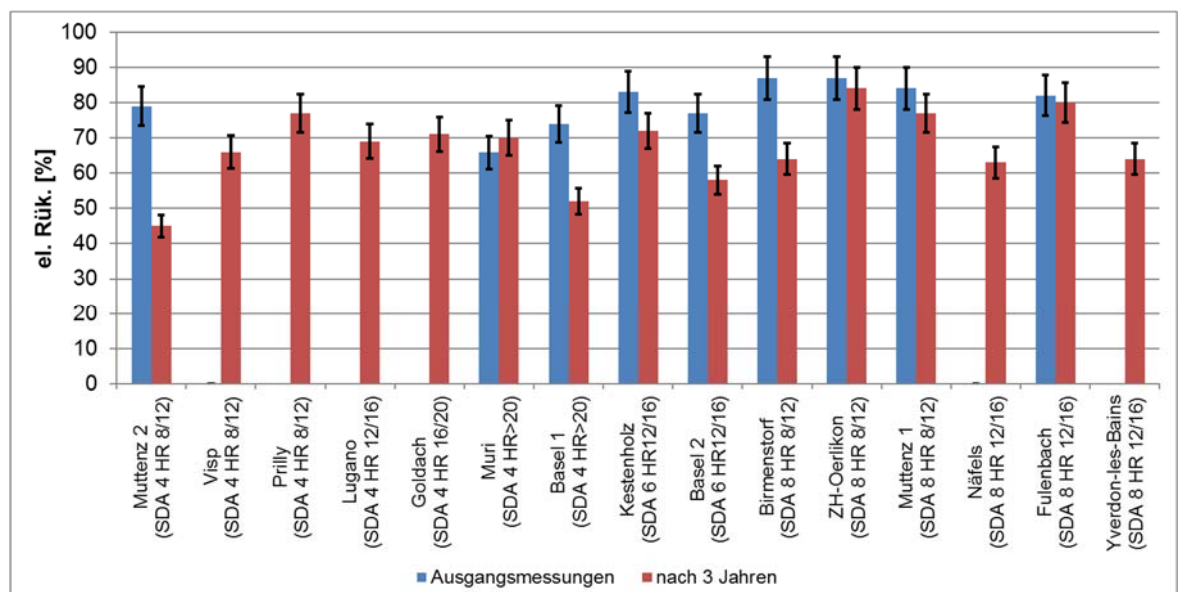


Abbildung 31: Vergleich der elastischen Rückstellung unmittelbar nach dem Einbau und nach 3 Jahren

Wird allerdings beim Vergleich Einbau/nach 3 Jahren die Vergleichspräzision $R = 7\%$ berücksichtigt, so können nur für die Teststrecken in MuttENZ2, Basel 1, Basel 2 und Birmenstorf die Abnahmen der elastischen Rückstellung als relevant bezeichnet werden. Für alle übrigen Strecken – und somit auch für Muri – sind die festgestellten Unterschiede statistisch gesehen nicht relevant.

4.2.6.5 VERGLEICH DER BINDEMITTELEIGENSCHAFTEN IN ABHÄNGIGKEIT DES HOHLRAUMGEHALTS

Da im Gegensatz zu Asphaltbeton-Deckschichten die semidichten, lärmoptimierten Deckschichten (SDA-Beläge) nicht nur einen höheren Hohlraumgehalt aufweisen, sondern auch der Hohlraumgehalt in einem deutlich grösseren Bereich variiert, wurde untersucht, ob sich der Hohlraumgehalt auf die zeitlichen Veränderungen der Bindemittleigenschaften auswirkt.

Bei der Penetration war bei den 8-er Belägen zu beobachten, dass der Hohlraumgehalt der Bohrkern- und die Veränderungen der Penetration (ΔPen) gut zu korrelieren scheinen. Obwohl nur drei Datensätze für diese Feststellung zur Verfügung standen, kann sie doch als erhärtet betrachtet werden, da diese Feststellung mit Beobachtungen in der Praxis übereinstimmt. Bei den 4-er Belägen war kein klarer Zusammenhang zwischen Bohrkern-Hohlraumgehalt und Zunahme der Penetration zu erkennen (siehe Abbildung 32). Dies ist vermutlich auf die feinkörnigere Porenstruktur zurückzuführen; siehe dazu auch Kapitel 4.2.6.2.

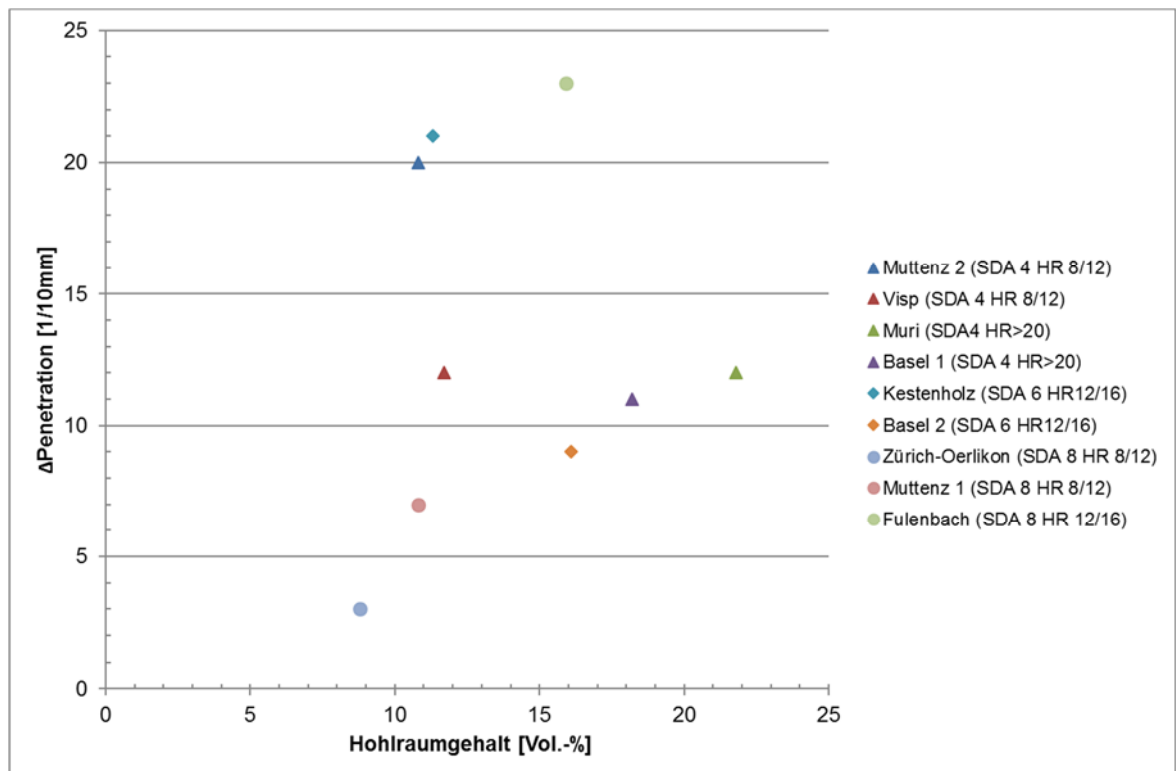


Abbildung 32: Veränderung der Penetration des Bindemittels (ΔPen) in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt der Bohrkern-.

Bei der Betrachtung der Veränderung des Erweichungspunktes Ring und Kugel ($\Delta R\&K$) in Abhängigkeit des Hohlraumgehalts konnte bei allen Mischgutsorten keine Abhängigkeit der Abnahme vom Hohlraumgehalt beobachtet werden (siehe Abbildung 33)

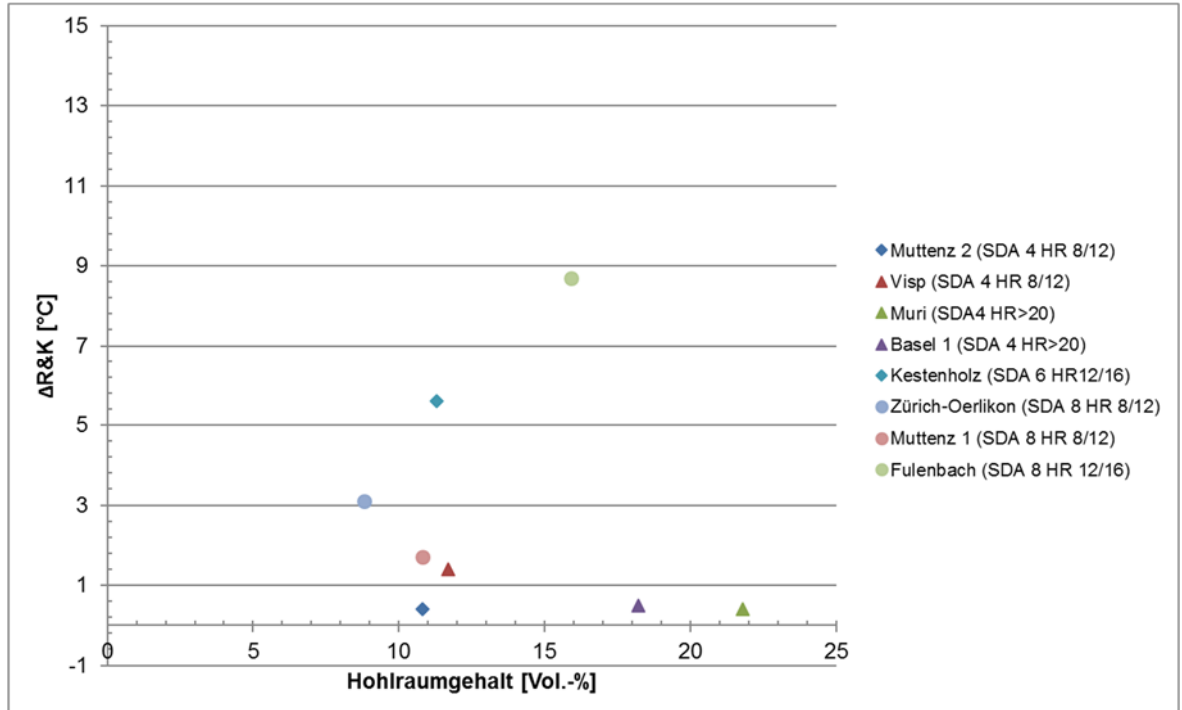


Abbildung 33: Veränderung des Erweichungspunktes R&K des Bindemittels ($\Delta R\&K$) in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt der Bohrkern.

Bei der Gegenüberstellung der Veränderung der elastischen Rückstellung (Δ el. Rückstellung) und des Hohlraumgehalts war ein genereller Trend über alle Mischgutsorten beobachtbar. Mit zunehmendem Hohlraumgehalt nimmt die Veränderung der elastischen Rückstellung zu (siehe Abbildung 34). Dass sich die 4-er Beläge hier analog der 8-er Beläge verhielten überraschte etwas, muss jedoch kein Widerspruch sein. Möglicherweise wurde die elastische Rückstellung stärker von der Kurzzeitalterung beeinflusst als die übrigen Kennwerte des Bindemittels. Die Kurzzeitalterung wird von den Verhältnissen während der Aufbereitung und dem Einbau (Mischgut-Temperatur, zeitlicher Ablauf des Aufbereitungs- und Einbauprozess) beeinflusst, so dass der Hohlraumgehalt der verdichteten Schicht keine Rolle spielt. Die während der Aufbereitung und dem Einbau stattfindenden Veränderungen der Bindemittleigenschaften erfolgten in erster Linie aufgrund destillativer Prozesse, der thermischen Beanspruchung der Polymere, sowie der Oxydation des Bindemittels, wobei die herrschenden Temperaturen und die Verweildauer des Mischgutes in unverdichtetem Zustand entscheidend sind. Es ist davon auszugehen, dass die Porengrösse im unverdichteten Mischgut auch bei den 4-er-Belägen gross genug ist, um den Austausch der Luft und somit eine Kurzzeitalterung zu ermöglichen.

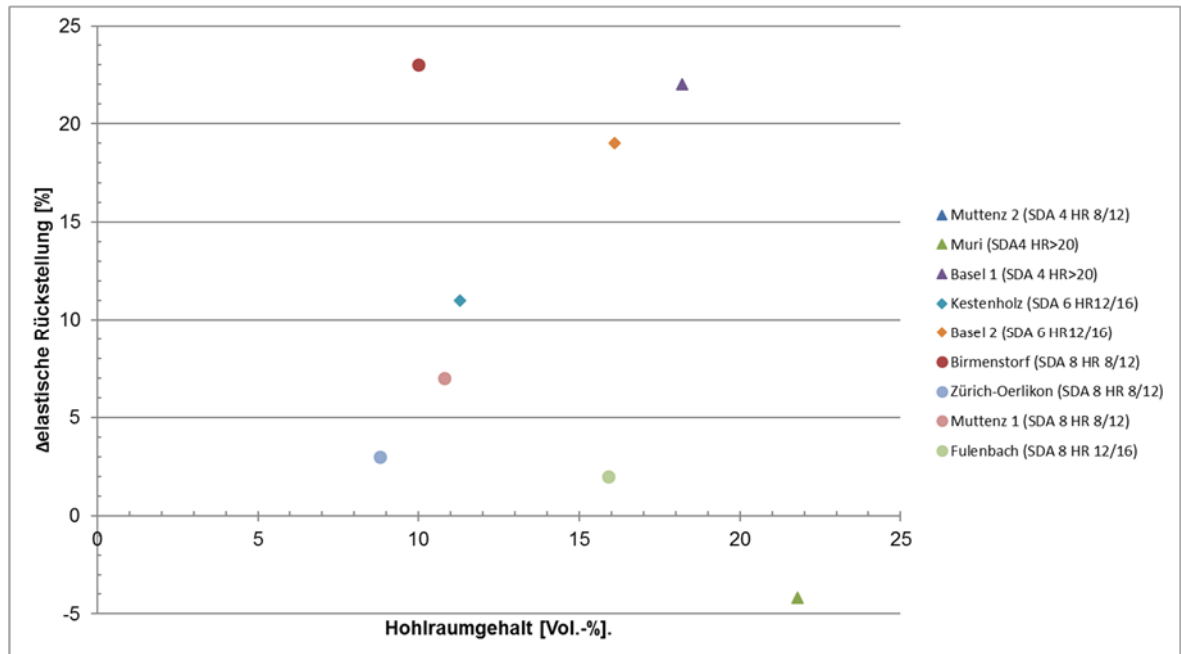


Abbildung 34: Veränderung der elastischen Rückstellung (Δ el. Rückst.) des Bindemittels in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt der Bohrkerne.

4.2.6.6 EINFLUSS DES HOHLRAUMGEHALTS AUF DIE ZEITLICHE VERÄNDERUNG DES G-FAKTORS

Der Gestaltfaktor ist ein wesentlicher Kennwert der akustischen Eigenschaften eines lärmoptimierten, semidichten Belags. Daher wurde im folgenden Abschnitt untersucht, welchen Einfluss der Belagstyp (4er oder 8er Belag) und der Hohlraumgehalt auf die zeitliche Veränderung des g-Faktors hat.

In der Abbildung 27 wurde die Veränderung des Gestaltfaktors g zwischen der Ausgangsmessung und der Messung nach 3 Jahren (Δg) dem Hohlraumgehalt der Bohrkerne gegenübergestellt. Der Wert der Teststrecke Visp (in der Abbildung in Klammern) ist aus verschiedenen Gründen fraglich, (nicht zuletzt wegen der beobachteten Kornausrüche) sodass dieser Wert für die Interpretation der Abbildung ausgeschlossen wurde. Es konnte generell eine Tendenz festgestellt werden, dass der Gestaltfaktor sich umso mehr verändert, je höher der Hohlraumgehalt war. Dieser Trend war bei den 8-er-Belägen mit einer kleineren Streuung behaftet als bei den 4-er-Belägen, bei denen die Streuung deutlich grösser war (siehe Abbildung 35).

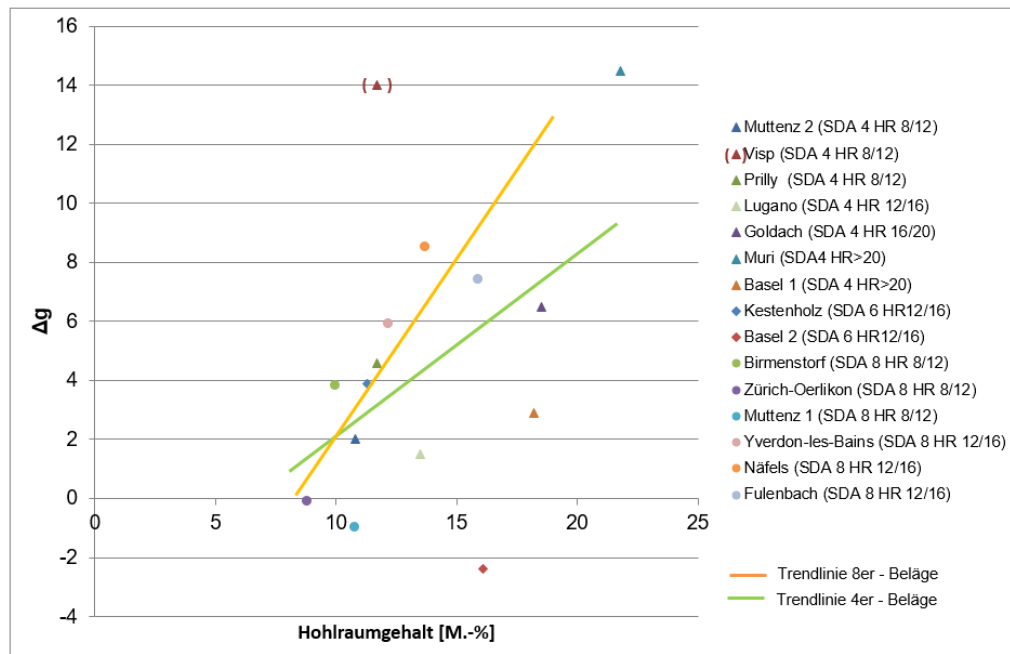


Abbildung 35 Veränderung des Gestaltfaktors (Δg zwischen der Ausgangsmessung und der Messung nach 3 Jahren) in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt der Bohrkerne

4.2.7 EINFLUSS DES HOHLRAUMGEHALTS UND DES VERDICHTUNGSGRADES AUF DIE VERÄNDERUNG DES SW-WERTS

Wie schon in Kapitel 4.2.5.2 beschrieben wurde, wiesen die 4er Beläge eine grössere Zunahme des sw-Wert auf, als die 8er Beläge (siehe Abbildung 36). Veränderung der Längsebenheit (ΔsW zwischen der Ausgangsmessung und der Messung nach 3 Jahren) in Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt der Bohrkerne

Daher wurde zusätzlich noch die Abhängigkeit vom Hohlraumgehalt (BK) untersucht. Beim Vergleichen der zeitlichen Veränderung der Längsebenheit sw mit dem Hohlraumgehalt (BK) der jeweiligen Deckschichten, konnte kein Trend erkannt werden. Dass bei den 4-er-Beläge die grössten Veränderungen der Längsebenheit beobachtet werden, war im Zusammenhang mit den mechanischen Eigenschaften der feinkörnigen Beläge einerseits, sowie der dünnen Schicht andererseits zu sehen. Je dünner die Deckschicht umso mehr war die darunterliegende Schicht an der Entwicklung der Längsebenheit beteiligt.

Da die Veränderung der Längsebenheit unter Anderem von den mechanischen Eigenschaften der Deckschicht abhängig ist, wurde in der Abbildung 36 der Wert ΔsW dem Verdichtungsgrad gegenübergestellt. Bekanntlich beeinflusst der Verdichtungsgrad die mechanischen Eigenschaften der Asphaltsschichten massiv. Die Punktwolke zeigte, dass kein deutlicher Trend erkennbar war. Die eigentlich zu erwartende Tendenz «je grösser der Verdichtungsgrad, desto kleiner ΔsW » war für einen Teil der Teststrecken erkennbar.

Auch bei dieser Betrachtung war die Dicke der Schicht zu berücksichtigen, denn bei dünnen Schichten wurde die Veränderung der Längsebenheit durch die darunterliegende Schicht mitbeeinflusst. Dies könnte ein Grund sein, weshalb keine Abhängigkeiten in der Abbildung 36 erkannt werden konnten.

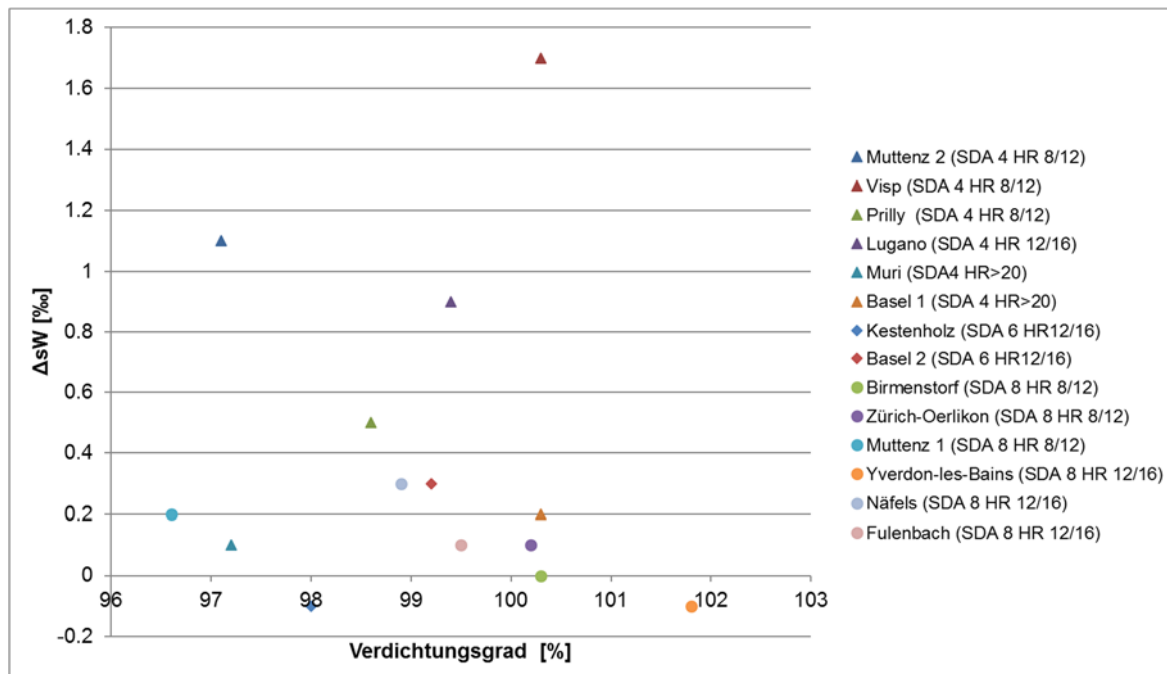


Abbildung 36: Veränderung der Längsebenheit (ΔsW zwischen der Ausgangsmessung und der Messung nach 3 Jahren) und dem Verdichtungsgrad der Bohrkerne.

4.2.8 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN WIEDERHOLUNGSMESSUNGEN NACH 3 JAHREN

Ebenheit

Die belagstechnischen Untersuchungen zeigten wie erwartet eine Abnahme der Längsebenheit (sW-Wert) und eine Zunahme des T4-Werts (entspricht der Spurrillenbildung). Diese beiden Veränderungen des Belags waren auf die dynamischen Belastungen und dem Abrieb infolge der Überrollungen des PW- und LW Verkehrs zurückzuführen. Es konnte gezeigt werden, dass die 4er Beläge eine grössere Zunahme des sw-Wertes aufwiesen als die 8er Beläge.

Verschlechtert sich die Längsebenheit, können die Reifen beim Abrollvorgang vermehrt zum Schwingen angeregt werden, es kann somit zu einer Erhöhung des Abrollgeräusches kommen. Dies deckt sich mit der beobachteten Zunahme des Vibrationsanteils der Schallentstehung (siehe Abbildung 20, S 39).

Bindemittleigenschaften

Die Untersuchungen zeigten, dass es während der Beobachtungsdauer von 3 Jahren zu einer deutlichen Bindemittelalterung gekommen ist. Da die lärmoptimierten Asphalte hohlraumreich sind, sollte die weitere Entwicklung beobachtet werden. Der 3-jährige Zeitraum ist relativ kurz um diesbezüglich gefestigte Aussagen zu machen.

Die Verhärtung des Bindemittels hat möglicherweise einen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften, der wie folgt erklärt werden könnte: Mit der Verhärtung ist auch eine Versprödung einhergehend. Für die Einbettung der einzelnen Gesteinskörner bedeutet dies, dass sie weniger elastisch in der Asphaltmatrix eingebunden sind. Das einzelne, exponierte Korn kann durch die mechanische Verkehrsbeanspruchung früher aus dem Verbund gelöst werden, da keine elastische Federung mehr möglich ist. Diese Kornausbrüche führen zu einer Veränderung der Oberflächeneigenschaften, insbesondere der lärmoptimierten Textur.

Des Weiteren konnte bei den Gegenüberstellungen der zeitlichen Änderungen der Bindemittleigenschaften mit den Hohlraumgehalten gezeigt werden, dass die hohlraumreichen 8er Beläge einer grösseren Bindemittelalterung unterliegen als die 4er Beläge.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei den 8er Belägen die zeitliche Veränderung des Gestaltfaktors tendenziell höher ausfällt als bei den 4er-Belägen. Dies deckt sich mit den akustischen Beobachtungen, bei welchen die 4er Beläge eine bessere akustische Dauerhaftigkeit als die 8er Beläge aufweisen.

Bei den Messungen der Textur mittels Laserprofilometer konnte tatsächlich eine Zunahme der mittleren Profiltiefe MPD beobachtet werden (siehe Abbildung 25).

4.3 PERFORMANCE DER BELÄGE IM QUERVERGLEICH

4.3.1 KATEGORISIERUNG & DIFFERENZIERUNG DER EINGEBAUTEN SCHICHTEN

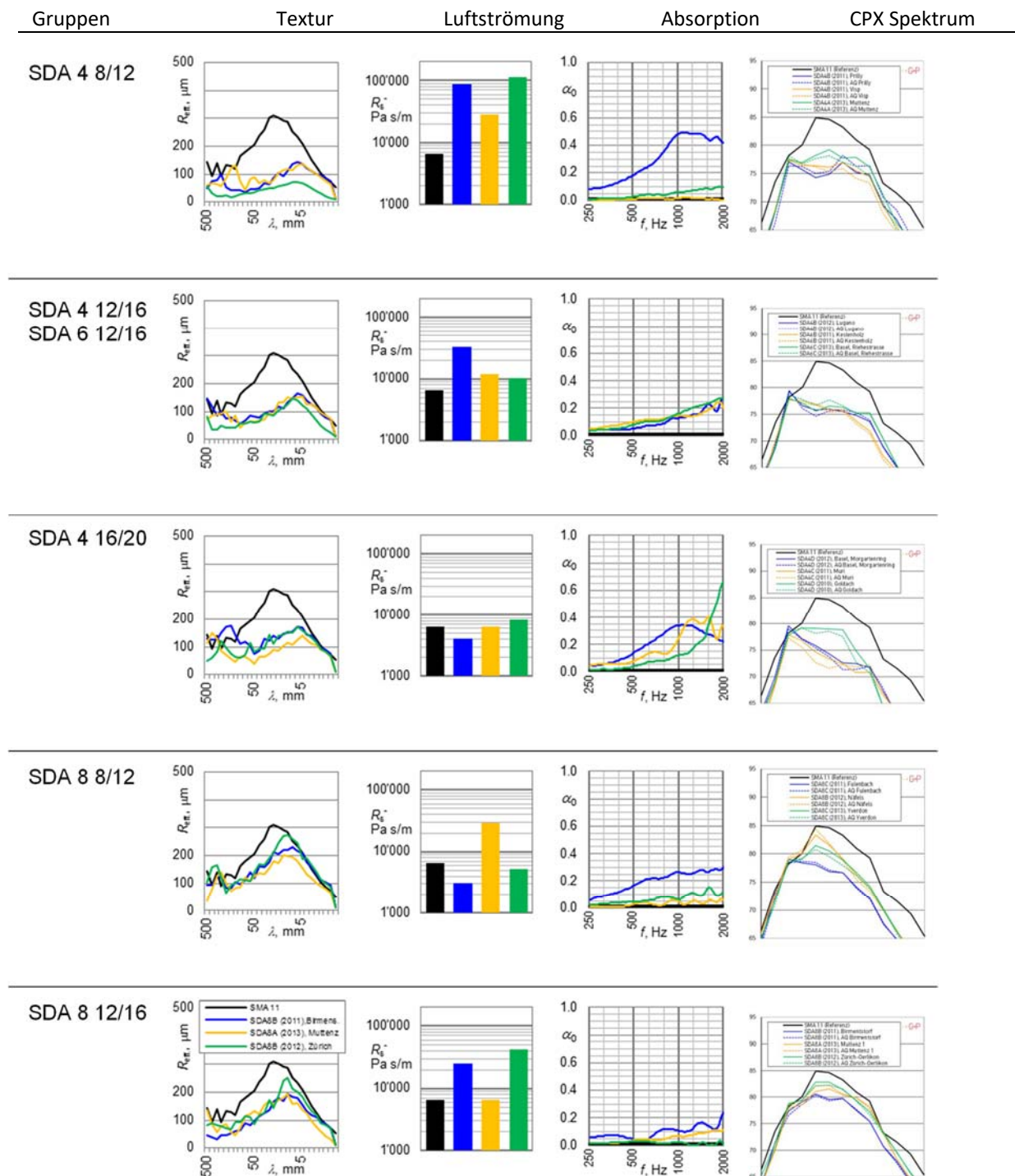


Abbildung 37: Textur-, Luftströmung-, Absorption- und CPX-Daten kategorisiert nach Belagsklasse und Hohlraumgehalt.

In Abbildung 37 sind die Texturspektren, Strömungswiderstände, Absorptionsspektren und CPX-Spektren für den P-Reifen für Belags- und Hohlraumgehaltsklassen zusammenfassend einander gegenübergestellt.

5 SYNTHESE

Die Erfahrungen aus TP2 und TP3 haben folgendes verdeutlicht:

- + Eine Verallgemeinerung der Erfahrungen ist schwierig, da die untersuchten Beläge oft Besonderheiten bezüglich Herstellung und Einbau aufweisen.
- + Ähnliche Beläge innerhalb derselben Klasse weisen oft grosse Unterschiede bezüglich der verwendeten Baustoffe, der Herstellung und dem Einbau, sowie der Beanspruchung durch Klima und Verkehr auf.

Einige Strassenbeläge wurden bezüglich Herstellung oder Einbau für ihre Belagsklasse gar als nicht aussagekräftig eingestuft. Dies ist nicht weiter erstaunlich, da neue, innovative Mischgutsorten verwendet wurden und entsprechende Erfahrungswerte im Umgang mit diesem Mischgut (Aufbereitung, Einbau und Verdichtung) fehlten.

Da diese Beläge meist auch ein besonderes technisches und akustisches Verhalten im Neuzustand oder im Verlauf der Zeit (unter Verkehr) aufweisen, können die dort beobachteten Trends nicht für die jeweilige Belagsklasse verallgemeinert werden. Entsprechend wurden solche Beläge nicht für die allgemeinen Folgerungen der getesteten Rezepturen herangezogen.

Folgende Beläge wurden als nicht aussagekräftig eingestuft (siehe Beurteilung in Abschnitt 5.5):

- + Goldach, SDA 4 HR 16/20
- + Visp, SDA 4 HR 8/12
- + Kestenholz, SDA 6 HR 12/16
- + Näfels, SDA 8 HR 12/16
- + Yverdon, SDA 8 HR 12/16

Aufgrund sämtlicher im Bericht präsentierten, akustischen und belagstechnischen Untersuchungen, sowie der Informationen aus TP2 (Aufbereitung und Einbau), wurden im Folgenden die einzelnen Beläge bezüglich ihrer Aussagekraft für ihre entsprechende Kategorie beurteilt (siehe Abschnitte 5.1 und 5.2). Nicht alle verbleibenden Beläge wurden als vielversprechend eingestuft:

- + Der SDA 8 HR 8/12 in Zürich-Oerlikon, weil der Hohlraumgehalt am Marshallprüfkörper mit 8.9 Vol.-% unterhalb des Sollwertbereiches von 10.0 - 14.0 Vol.-% lag und damit praktisch keine von der Oberfläche zugänglichen Hohlräume aufwies.
- + Der SDA 4 HR 12/16 in Lugano, weil er für seine Hohlraumgehaltsklasse von Anfang an nur einen sehr geringen Anteil an von der Oberfläche zugänglichen Hohlräume aufwies.
- + Der SDA 4 HR>20 in Basel, weil er im 3. Jahr nach Einbau bereits ein als nicht repräsentativ erachtetes Ausmass an Kornausbrüchen aufwies.
- + Der SDA 6HR 16/20 in Basel 2, weil im Projekt nur zwei 6-er Beläge untersucht wurden, was keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen bezüglich der zu erwartenden akustischen Leistung in Abhängigkeit des Hohlraumgehaltes für diese Belagsklasse zulässt.

5.1 VIELVERSPRECHENDE 4-ER BELÄGE

Aufgrund sämtlicher im Bericht präsentierten, akustischen und belagstechnischen Untersuchungen, sowie der Informationen aus TP2 (Aufbereitung und Einbau), wurden die einzelnen SDA 4 Beläge bezüglich ihrer Aussagekraft für ihre entsprechende Kategorie beurteilt. Die Beurteilung wurde individuell für jeden einzelnen Belag durchgeführt und entsprechend dokumentiert.

Im vorliegenden Abschnitt werden die als vielversprechend einzustufenden SDA 4 Beläge zusammen mit ihren wichtigsten Eigenschaften und dem Verlauf der akustischen Entwicklung vorgestellt. Nähere Angaben zu den Belägen und deren Eigenschaften sind den Faktenblättern in Anhang B ersichtlich.

5.1.1 MURI SDA 4 HR >20

Der SDA 4 Belag in Muri (mit hohem Hohlraumgehalt) vermochte die Lärmemissionen für den Mischverkehr 4 Jahre nach dem Einbau immer noch um 5.4 dB zu reduzieren. Aufgrund der messtechnischen Erhebungen kann davon ausgegangen werden, dass trotz allmählicher Verstopfung der Hohlräume immer noch eine bestimmte Menge an Hohlräumen akustisch wirksam bzw. von der Oberfläche aus zugänglich sind. So werden zum Beispiel in Muri 4 Jahre nach Einbau noch immer Lärmreduktionen erreicht, die bei seinem akustisch dichten Pendant (SDA 4 HR 8/12) in Muttenz 2 nicht einmal im Neuzustand erreicht wurden. Gleichzeitig kann die Oberflächentextur - trotz geringfügigem rauer werden - 4 Jahre nach dem Einbau noch immer als lärmarm bezeichnet werden. Es ist allerdings abzuwarten, ob sich der etwas niedrig ausgefallene Verdichtungsgrad in der Zukunft auf die Dauerhaftigkeit des Belages auswirken wird.

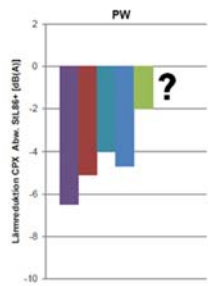


5.1.2 PRILLY SDA 4 HR 8/12

Der SDA 4 Belag in Prilly (mit mittlerem Hohlraumgehalt) wies 4 Jahre nach dem Einbau für den Mischverkehr immer noch eine Lärminderung von 2.8 dB auf. Die Abnahme der Lärminderung seit Einbau bewegte sich damit in ähnlichem Rahmen wie beim hohlraumreichen Pendant in Muri. Ebenfalls ähnlich gestaltete sich der Verlauf der akustischen Veränderung, welche sich wie beim Belag in Muri zuerst durch eine Abnahme der Porenzugänglichkeit, gefolgt von einer geringfügigen Verschlechterung der Oberflächentextur äusserte. Es bleibt abzuwarten, ob sich die festgestellte geringfügige Verschlechterung der Oberflächentextur in Zukunft verlangsamt und damit die lärmreduzierenden Eigenschaften des Belages in Prilly längerfristig erhalten bleiben.

• SDA 4 B Prilly

Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf

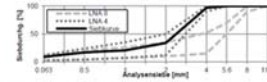


Wirkung 2015
Mischverkehr: -2.8 dB

Interpretation Veränderung

1. Phase:
Abnahme Porenzugänglichkeit
2. Phase:
Verschlechterung Oberflächentextur
3. Phase: ?

Gute akustische Entwicklung, im 4. Jahr Verschlechterung der Oberflächentextur
→ Zweite akustische Stabilisierung in Sicht?



Bohrkernuntersuchung

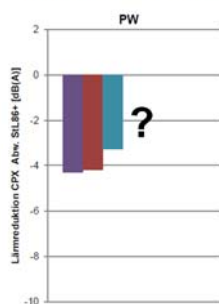
Schichtdicke:	MW: 37 mm min: 28 mm max: 44 mm
Hohlraumgehalt:	MW: 11.7 % (Vol) min: 9.7 % (Vol) max: 13.3 % (Vol)
Verdichtungsgrad:	MW: 98.6 % min: 96.3 % max: 100.4 %

5.1.3 MUTTENZ 2 SDA 4 HR 8/12

Der SDA 4 Belag in MuttENZ wies den geringsten Hohlraumgehalt der im Rahmen von TP2 eingebauten 4-er Beläge auf. Die 2 Jahre nach dem Einbau realisierte Lärmreduktion für den Mischverkehr beträgt 3.7 dB. Längere Messreihen liegen nicht vor, da der Belag erst 2014 eingebaut wurde. Trotz eines mittleren Hohlraumgehaltes von 10.8 Vol.-% am Bohrkern, kann beim SDA 4 Belag in MuttENZ aufgrund der hohen Luftströmungswiderstandswerte bereits im Neuzustand von einem akustisch dichten Belag (d.h. ein Belag ohne von der Oberfläche zugängliche Hohlräume) gesprochen werden. Deshalb bildete dieser Belag ein wertvolles Exempel zur Dokumentation der Lärmreduktion, die durch die optimierten Oberflächentextureigenschaften von SDA 4 Belägen alleine erreicht werden kann. Ein Vergleich mit Erfahrungswerten von neuen AC Belägen zeigte, dass aufgrund der lärmarmen Textur von SDA 4 Belägen mit einer zusätzlichen Lärmreduktion von 1 bis 2 dB gerechnet werden kann. Durch geringfügiges Rauen der Oberflächentextur ist im 2. Jahr nach dem Einbau dennoch eine begrenzte Abnahme der Lärmreduktion festzustellen. Zukünftige Messungen müssen zeigen, ob die akustische Veränderung mit zunehmendem Alter ähnlich oder dank des tieferen Hohlraumgehaltes (siehe Abschnitt 4.2.6 zur Veränderung der Bindemittleigenschaften) gar geringer ausfallen wird, als diejenige seiner hohlraumreicheren Pendanten in Prilly und Muri. Zudem bleibt unklar, ob sich der relativ geringe und im Streckenverlauf stark variierende Verdichtungsgrad negativ auf die akustische Dauerhaftigkeit auswirken wird.

• SDA 4 A MuttENZ

Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf

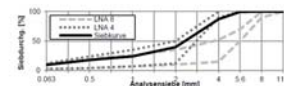


Wirkung 2015
Mischverkehr: -3.7 dB

Interpretation Veränderung

1. Phase:
keine Poren, geringe Veränderung der Oberflächentextur
2. Phase: ?

Gute akustische Entwicklung
→ Bleibt Oberflächentextur intakt?
→ Stabilisiert sich der Belag akustisch?
→ Bedingte Eignung Schlussfolgerung SDA 4 A Beläge (geringer Verdichtungsgrad)



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 %

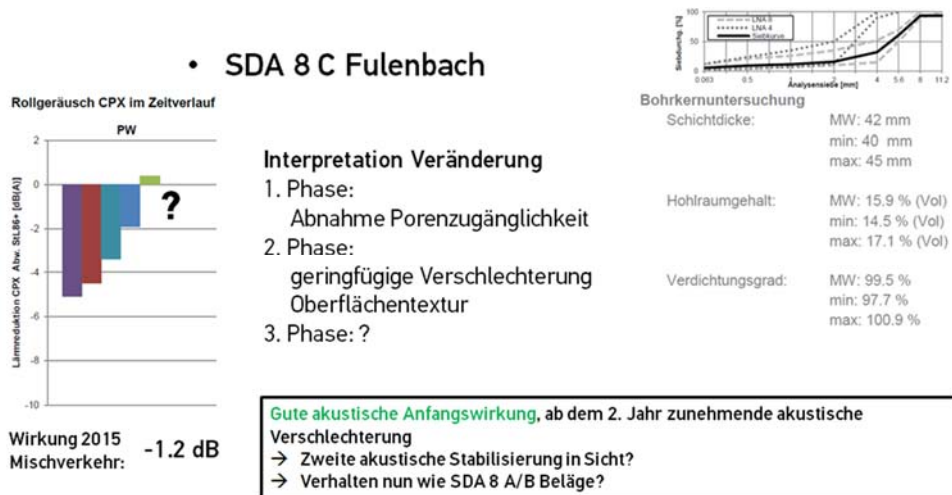
5.2 VIELVERSPRECHENDE 8-ER BELÄGE

Aufgrund sämtlicher im Bericht präsentierten akustischen und belagstechnischen Untersuchungen, sowie der Informationen aus TP2 (Aufbereitung und Einbau) wurden die einzelnen SDA 8 Beläge bezüglich ihrer Aussagekraft für ihre entsprechende Kategorie beurteilt. Die Beurteilung wurde individuell für jeden einzelnen Belag durchgeführt und entsprechend dokumentiert.

Im vorliegenden Abschnitt werden die als vielversprechend einzustufenden SDA 8 Beläge zusammen mit ihren wichtigsten Eigenschaften und dem Verlauf der akustischen Entwicklung vorgestellt. Nähere Angaben zu Belägen und deren Eigenschaften sind den Faktenblättern in Anhang B ersichtlich.

5.2.1 FULENBACH SDA 8 HR 12/16

Der SDA 8 Belag in Fulenbach wies mit fast 16 Vol.-% Hohlraumgehalt am Bohrkern den höchsten Hohlraumgehalt der im Rahmen von TP2 eingebauten 8-er Beläge auf. 4 Jahre nach Einbau betrug die Lärmreduktion für den Mischverkehr 1.2 dB und erfüllte damit immer noch das Kriterium von lärmarmen Belägen. Die Abnahme der lärmreduzierenden Wirkung im Verlauf der Zeit fiel im Vergleich zu den 4-er Belägen stetiger und etwas grösser aus. Die durch das Modell festgestellte deutliche Zunahme der aerodynamisch-induzierten Lärmentstehung deutete auf eine vergleichsweise schnellere Verstopfung des 8-er Belages hin. Abzuwarten bleibt, ob sich der SDA 8 Belag in Fulenbach aufgrund der bisher lediglich geringfügigen Veränderung der Oberflächentextur akustisch stabilisiert und seine lärmindernde Eigenschaften dadurch längerfristig behalten können.



5.2.2 BIRMENSTORF SDA 8 HR 8/12

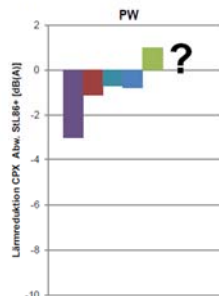
Mit einer Lärminderung für den Mischverkehr von 0.6 dB erfüllte der SDA 8 Belag in Birmenstorf mit geringem bis mittleren Hohlraumgehalt 4 Jahre nach dem Einbau das Kriterium für lärmarme Beläge knapp nicht mehr. Dennoch kann im Vergleich mit Erfahrungswerten auf Standardbelägen noch immer von einem Belag mit akustisch günstigen Eigenschaften gesprochen werden. Der Vergleich mit akustischen und belagstechnischen Erfahrungswerten auf SDA 8 Belägen ausserhalb des Forschungsprojektes deutet darauf hin, dass die lärmreduzierende Wirkung des Belages in Birmenstorf in erster Linie durch seine rugöse Textur und nur sekundär durch Hohlräume erreicht wird, welche von der Oberfläche zugänglich sind. Positiv zu vermerken ist, dass sich die akustische Veränderung, nach einer Abnahme der Lärminderung im ersten Jahr nach dem Einbau, anschliessend deutlich verlangsamt. Zukünftige Messungen müssen zeigen, ob sich dieser Trend erhärtet.

Es ist anzumerken, dass im vorliegenden Forschungsprojekt keine SDA 8 Beläge mit mittlerem Hohlraumgehalt realisiert wurden. Einzelne Erfahrungen mit solchen Belägen ausserhalb des Forschungsprojektes zeigen, dass bei SDA 8 Belägen mit einem Hohlraumgehalt am Bohrkern von ca.

11 bis 13 Vol.-% Lärmreduktionen erreicht werden, welche sich im Neuzustand ungefähr zwischen denjenigen von Fulenbach und Birmenstorf liegen und zudem im Vergleich zum hohlraumreichen SDA 8 Belag in Fulenbach geringere Wirkungsverluste über die Zeit aufweisen.

• SDA 8 B Birmenstorf

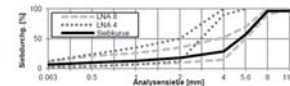
Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf



Wirkung 2015
Mischverkehr: -0.6 dB

Interpretation Veränderung

1. Phase:
Abnahme Rugosität
2. Phase:
Verschlechterung Oberflächentextur
3. Phase: ?



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke:	MW: 37.5 mm min: 34 mm max: 41 mm
Hohlraumgehalt:	MW: 10.0 % (Vol) min: 6.1 % (Vol) max: 12.0 % (Vol)
Verdichtungsgrad:	MW: 102.6 % min: 100.3 % max: 104.8 %

Schnelle akustische Verschlechterung

→ Zweite akustische Stabilisierung in Sicht?

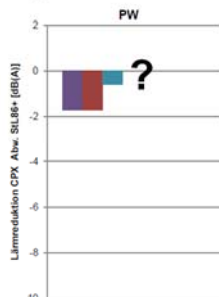
→ Bedingte Eignung Schlussfolgerung SDA 8 B Beläge (variabler HR-Gehalt)

5.2.3 MUTTENZ 1 SDA 8 HR 8/12

Der SDA 8 Belag in MuttENZ war der einzige 8-er Belag der in der Mischgutkategorie A realisiert wurde. Der Hohlraumgehalt am Marshallprüfkörper betrug 7.9 Vol.-% und fiel damit deutlich tiefer aus als beim SDA 8 B Belag in Birmenstorf (vergleiche auch Siebkurve). Durch eine tendenzielle Unterverdichtung beim Einbau wurde aber am Bohrkern ein mittlerer Hohlraumgehalt von 10.8 Vol.-% realisiert. Aufgrund der Luftströmungswiderstandswerte ist der Belag in MuttENZ trotzdem als akustisch sehr dichter Belag einzustufen. Dies äussert sich auch in der vergleichsweise geringen Lärmreduktion im Neuzustand. Allerdings hat sich die lärmreduzierende Wirkung seit Einbau nur geringfügig verschlechtert und wies 2 Jahre nach dem Einbau im Mischverkehr noch immer eine Lärmreduktion von 1.5 dB aus und erfüllt somit das Kriterium für lärmarme Beläge. Weiter zu beobachten ist, inwiefern diese Wirkung aufgrund der tendenziellen Unterverdichtung nachhaltig erhalten bleibt.

• SDA 8 A MuttENZ

Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf



Wirkung 2015
Mischverkehr: -1.5 dB

Interpretation Veränderung

1. Phase:
keine Poren, geringe Veränderung der Oberflächentextur
2. Phase: ?



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 %

Gute akustische Entwicklung

→ Bleibt Oberflächentextur intakt?

→ Stabilisiert sich der Belag akustisch?

→ Bedingte Eignung Schlussfolgerung SDA 8 A Beläge (geringer Verdichtungsgrad)

5.3 WELCHE AKUSTISCHEN LEISTUNGEN KÖNNEN VON SDA BELÄGEN ERWARTET WERDEN?

Da pro Belagssorte nur zwischen 1 bis 3 Versuchsstrecken realisiert wurden, können nur bedingt Aussagen betreffend der akustischen Dauerhaftigkeit der jeweiligen Belagssorten getroffen werden.

Es können jedoch folgende Trends für die jeweiligen Belagssorten in Abhängigkeit des Grösstkorns formuliert werden.

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

- + Grössere initiale Lärminderung
- + Bessere akustische Dauerhaftigkeit
- + HR 16/20 und HR>20 weisen die höchsten initiale Lärminderung aus
- + Bis auf die nicht repräsentative Strecke in Visp (SDA 4 HR8/12) gelten alle Teststrecken nach 3 Jahren als lärmarm gemäss der SN 640 425

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

- + Geringere initiale Lärminderung
- + Schlechtere akustische Dauerhaftigkeit, nur 1 der 6 8-er Belägen ist nach 3 Jahren als lärmarm gemäss der SN 640 425 zu bezeichnen.

Die Kapitel 5.1 als vielversprechenden bezeichneten 4er-Beläge verhielten sich bezüglich ihrer akustischen Dauerhaftigkeit analog derjenigen 4er-Beläge welche seit Jahren ausserhalb des Forschungsprojekt akustisch begleitet werden. Auch die in Kapitel 5.2 als vielversprechend bezeichneten 8er-Beläge konnte in der Praxis ein ähnliches akustisches Verhalten wie im Forschungsprojekt beobachtet werden.

5.4 DIE 6-ER BELÄGE ALS MITTELWEG?

Mit den beiden SDA 6 Belägen Kestenholz und Basel 2 wurden im vorliegenden Forschungsprojekt lediglich zwei 6-er Beläge eingebaut. Die messtechnischen Untersuchungen deuten darauf hin, dass die lärmreduzierende Wirkung im Neuzustand für SDA 6 Beläge nur leicht geringer ausfällt als diejenige der 4-er Beläge. Aufgrund der beiden Testbeläge konnte nicht abschliessend geklärt werden, ob sich SDA 6 Beläge im Verlauf der Zeit ebenfalls ähnlich günstig wie die 4-er Belägen entwickeln, dies sowohl akustisch wie auch belagstechnisch. Kann dies bestätigt werden, könnten die 6-er Beläge ein nützlicher Kompromiss zwischen akustischer Wirkung und mechanischer Widerstandsfähigkeit bilden. Sie könnten gegebenenfalls dort eingesetzt werden, wo grosse Lärmreduktionen erforderlich sind und gleichzeitig erhöhte Anforderungen bezüglich mechanischen Beanspruchungen bestehen.

5.5 NICHT AUSSAGEKRÄFTIGE BELÄGE (VON DER SYNTHESE AUSGESCHLOSSEN)

5.5.1 GOLDACH SDA 4 HR 16/20

Nicht aussagekräftig für SDA 4 HR 16/20 Beläge, da mit zu geringer Schichtdicke eingebaut (siehe Schichtdicke der Bohrkernuntersuchung: MW 20 mm, min: 14 mm):

- + Schallabsorptionseigenschaften liegen nicht im optimalen Bereich
- + Eingebaute Schicht im Neuzustand akustisch relativ inhomogen
- + Belag verhält sich schon im Neuzustand nicht charakteristisch für SDA 4 HR 16/20-Beläge

5.5.2 VISP SDA 4 HR 8/12

Wird aus folgenden Gründen als nicht aussagekräftig für SDA 4 Beläge betrachtet:

Im ersten Jahr nimmt die akustische Güte sprunghaft um fast 6 dB ab, pendelt sich dann aber auf diesem Niveau ein (es wird erwartet, dass sich SDA 4 Beläge nicht wesentlich weiter akustisch verschlechtern können).

- + Beschädigung tritt in Form von ca. 1-2 cm grossen Ausbrüchen hauptsächlich in Radspur in Erscheinung
- + Starke Zunahme des Wertes T4 (Querebenheit) zwischen der Ausgangsmessung und der Wiederholungsmessung nach 3 Jahren, was auf eine ausgeprägte Spurrillenbildung schliessen lässt.
- + Starke Abnahme (-10%) des Gestaltfaktors g schon im ersten Jahr nach dem Einbau
- + Starke Zunahme des Luftströmungswiderstands ab dem 2 Jahr nach dem Einbau

5.5.3 KESTENHOLZ SDA 6 HR 16/20

In einer ersten Phase entwickelt sich der SDA 6 Belag in Kestenhholz erwartungsgemäss, bis sich im 4. Jahr eine sprunghafte Abnahme der akustischen Güte zeigt, welche auf eine schnelle Verschlechterung der Oberflächentextur zurückzuführen ist, die als nicht charakteristisch für diese Belagsklasse eingestuft wird.

- + Im Jahr 4 zeigte der Belag plötzlich ein grosses Ausmass an Kornausbrüchen (siehe Veränderung des Oberflächentexturspektrums in Abbildung 22)
- + Der in der Norm geforderte Verdichtungsgrad von 97% wurde auf dem SDA 6 Belag in Kestenhholz teilweise nicht erreicht. Auch der mittlere Verdichtungsgrad von 98% weist auf eine knapp genügende Verdichtung des Belages hin. Der knappe Verdichtungsgrad könnte sich ungünstig auf die Einbindung der oberflächennahen Körner (Kohäsion) ausgewirkt haben und dadurch die Kornausbrüche begünstigt haben.
- + Um die 6-er Deckschichten zu beurteilen ist weiterhin abzuwarten, wie sich der 2013 in Basel 2 eingebaute SDA 6 Belag im Verlauf der Zeit entwickeln wird.

5.5.4 NÄFELS SDA 8 HR 12/16

Trotz seines relativ hohen Hohlraumgehaltes am Bohrkern von 11.7 Vol.-%, weist der SDA 8 Belag in Näfels offensichtlich schon im Neuzustand keine kommunizierenden Hohlräume auf. Er ist faktisch akustisch "dicht" und wird deshalb nicht als charakteristisch für die Belagsklasse eingestuft.

- + Aufgrund des während dem Einbau herrschenden Föhnwindes (siehe Einbauprotokoll) stand lediglich ein kurzes Zeitfenster für die Verdichtung offen, weshalb die Verdichtungsmethode angepasst werden musste. Die dabei angewendeten Verdichtungspraktiken haben die Zugänglichkeit der Hohlräume von der Oberfläche offensichtlich stark eingeschränkt oder gar gänzlich verhindert (siehe Messungen Luftströmungswiderstand in Tabelle 7, welche Werte eines dichten Belages zeigen).

5.5.5 YVERDON-LES-BAINS SDA 8 HR 12/16

Im ersten Jahr nach dem Einbau verliert der SDA 8 Belag in Yverdon-les-Bains fast 3 dB. Diese abrupte Veränderung wird nicht als aussagekräftig für die Belagsklasse eingestuft.

- + Deutliche Zunahmen der Rollgeräusche im mittleren und hohen Frequenzbereich deuten darauf hin, dass es zu einer plötzlichen Verschmutzung der Hohlräume bzw. der Hohlraumverbindungen gekommen ist. Im Umkreis der Strecke befanden sich zu diesem Zeitpunkt mehrere Baustellen.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

6.1 EINSCHRÄNKENDE BEMERKUNGEN

- + Die Verallgemeinerung der im TP3-Projekt gewonnenen Erfahrungen ist schwierig, da Beläge oft Besonderheiten bezüglich Herstellung und Einbau aufweisen, insbesondere angesichts der geringen Anzahl von Belägen gleichen Typs.
- + Ähnliche Beläge innerhalb derselben Klasse weisen oft grosse Unterschiede bezüglich Baustoffe (Provenienz der Gesteinskörnungen, Kornform/Kornrundung, Bindemittel, Füller bzw. Fremdfüller), Rezeptur (Siebkurve, Bindemittelgehalt, Zusätze), Herstellung (unterschiedliche Geräte, unterschiedliche Aufbereitungsprozesse) und Einbau (unterschiedliche Walzen und Fertiger, Umweltbedingungen während des Einbaus, Erfahrung der Mannschaft) auf.
- + Abweichungen von den Sollwerten bezüglich Mischgutzusammensetzungen (Auswirkungen auf den Hohlraumgehalt) und/oder bezüglich dem Einbau (Schichtdicke, Verdichtungsgrad) führen oft zu schnellerem Verlust der akustischen Wirkung sowie in geringerem Masse auch des technischen Zustandes und sind entsprechend zu vermeiden.
- + Dem Bestreben des Forschungsprojektes zum Trotz, Teststrecken mit ähnlich hoher Verkehrsbelastung auszuwählen, sind die Testbeläge unterschiedlichen Verkehrsbelastungen ausgesetzt. Insbesondere Differenzen im Schwerverkehrsanteil sowie Verkehrsfluss (unterschiedliche Schubkräfte infolge Stop-and-Go im Vergleich zum rollenden Verkehr) können zu unterschiedlichen akustischen Alterungsverhalten beitragen.
- + Zudem herrschen auf den Teststrecken zum Teil unterschiedliche klimatische Bedingungen (Minimum- und Maximumtemperaturen, Anzahl Frostage, Sonneneinstrahlung, Salzstreuintervalle/Winterdienst etc.), sowie unterschiedliche Bedingungen bezüglich Schmutzeintrag (Nähe zu Baustellen, Landwirtschaftszonen etc.) vor, was die Vergleichbarkeit der Veränderung der Beläge über Zeit erschwert.

6.2 WICHTIGSTE FOLGERUNGEN

- + Im Vergleich zu den Erfahrungswerten mit Standardbelägen lassen sich mit SDA Belägen sowohl im Neuzustand wie auch nach 4 Jahren wesentliche Lärmreduktionen erzielen (Ausnahme: SDA 8 A).
- + Durch SDA 4 Beläge werden im Vergleich zu den SDA 8 Belägen der jeweiligen Hohlraumklasse um ca. 2 dB grössere Lärmreduktionen erreicht.
- + Der Wirkungsunterschied zwischen den Hohlraumklassen (HR Klassen TP 3) beträgt im Neuzustand jeweils ca. 1.5 dB (gilt für SDA 8 UND SDA 4 Beläge). Bei den SDA 4 Belägen ist dieser Wirkungsschied ebenfalls nach 4 Jahren ersichtlich.
- + Bei allen untersuchten Belägen nimmt die lärmreduzierende Wirkung mit zunehmendem Alter ab. Allgemein kann festgehalten werden, dass die Wirkungsabnahme durch Verstopfung der Hohlräume allmählich geschieht, die Wirkungsabnahme durch Verschlechterung der Oberflächentextur hingegen abrupt.
- + Der lärmreduzierende Effekt von Hohlräumen in semi-dichten Belägen bleibt auch bei zunehmender Verstopfung bestehen, so lange eine bestimmte Menge an oberflächlich zugänglichen Hohlräumen erhalten bleibt (so werden im Beispiel von Muri nach 4 Jahren für den Mischverkehr noch immer Lärmreduktionen erreicht, die bei seinem akustisch dichten Pendant in Muttenz 2 nicht einmal im Neuzustand erreicht wurden).
- + Die akustische Veränderung über die Zeit verläuft für die verschiedenen Klassen parallel. D.h. die Wirkungsdifferenz zwischen den Hohlraumklassen bleibt über die Zeit bestehen (es ist unklar bzw. zweifelhaft, ob diese Aussage auch für SDA 8 Beläge gilt).

- + Die akustische Dauerhaftigkeit konnte im vorliegenden Forschungspaket im Vergleich zum letzten Forschungsprojekt deutlich verbessert werden. Dem Einsatz von semi-dichten Rezepturen ist im Innerortsbereich gegenüber porösen Rezepturen der Vorzug zu geben. Zur Erreichung eines möglichst dauerhaften lärmarmen Belages ist ein Kompromiss zwischen möglichst hoher bautechnischer Dauerhaftigkeit durch Minimierung des Hohlraumgehaltes bei gleichzeitiger Sicherstellung von Hohlraumverbindungen zur Beibehaltung der akustischen Wirkung anzustreben.
- + Die Auswertung der Längsebenheit nach 3 Jahren zeigt, dass der Zustand des Unterbaus bei SDA 4 Belägen zu erhöhten Längsebenheitswerten führen kann. Entsprechend ist bei der Konzipierung von SDA 4 Belägen eine ebene und verformungsfeste darunterliegende Schicht erforderlich.

6.3 EMPFEHLUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON SDA BELÄGEN

Mit den im vorliegenden Forschungsprojekt untersuchten SDA 4 Belägen konnten noch 4 Jahre nach Einbau im Vergleich zu einem mittleren Standardbelag (AC, SMA) Lärmreduktionen von bis zu ungefähr 6 dB erreicht werden. Da dies akustisch einer Verkehrsabnahme um $\frac{3}{4}$ des ursprünglichen Verkehrs entspricht, bilden solche Beläge eine äusserst wirksame Massnahme zur Reduktion des Strassenverkehrslärms an der Quelle. Mit den neuen, semi-dichten SDA Rezepturen konnte die akustische und technische Dauerhaftigkeit zudem massgebend verbessert werden.

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

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

In jedem Fall muss der Belag eine ausreichende Griffigkeit aufweisen, um einen möglichst grossen Beitrag zur Verkehrssicherheit beizusteuern. Grundsätzlich liegt es in der Verantwortung der Strasseneigentümer die Strategie bezüglich des Einsatzes von lärmarmen Strassenbelägen festzulegen.

6.4 WEITERER FORSCHUNGSBEDARF

- + Nominell wurden alle Testbeläge (Ausnahme Muttentz 2 (SDA 4)) mit Bindemittel desselben Typs hergestellt. Die Ergebnisse der Untersuchungen am rückgewonnenen Bindemittel weisen aber auf unterschiedliche Eigenschaften hin. Der Einfluss der Bindemittelleigenschaften auf die Dauerhaftigkeit der semidichten Deckschichten ist weiterzuverfolgen. Gestützt auf die Beobachtungen der Texturveränderungen ist ein hoher Einfluss der Bindemittelleigenschaften auf die akustische Dauerhaftigkeit der Beläge zu erwarten.
- + Weiteres Optimierungspotential besteht bei der Festlegung des optimalen Mörtelanteils sowie bei den Mörtel Eigenschaften. Es wird davon ausgegangen, dass von der Menge und der Qualität des Mörtels eine zentrale Rolle zur Sicherstellung einer dauerhaften lärmarmen Oberflächentextur ausgeht. Neben der Bindemittel spielen hier die Eigenschaften der verwendeten Füller eine grosse Rolle.

- + Weiterer Optimierungsbedarf besteht bei der Sicherstellung der akustischen Leistung von SDA Belägen. Dies ist ein zentrales Bedürfnis aus dem Lärmvollzug, wo in den Projekten von einer gewisse akustische Leistung ausgegangen werden muss, um SDA Beläge als Lärmschutzmassnahme einzusetzen. Momentan ist die akustische Variabilität der einzelnen SDA Rezepturen relativ gross, was auf Unterschiede der eingebauten Schichten bezüglich der von der Oberfläche zugänglichen und damit akustisch wirksamen Hohlräumen zurückzuführen ist. Die Variabilität der akustischen Leistung könnte mit einer Verengung der zugelassenen Sieblinien erreicht werden.
- + Weiterer Optimierungsbedarf besteht bei der Untersuchung des Einflusses der Kornform und des Korngefüges auf die Lärminderung, da diese über die Form der Hohlräume - und des damit zusammenhängenden Verbindungsgrades - die akustische Wirksamkeit der Hohlraumstruktur entscheidend beeinflusst.
- + SDA 4 Beläge sind akustisch besser als SDA 8 Beläge, dafür besitzen SDA 8 eine höhere mechanische Beständigkeit. Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Fragestellung, ob 6-er- Beläge ein Kompromiss zwischen den beiden Anforderungen Akustik und Dauerhaftigkeit bilden könnten. Die zwei Teststrecken mit 6-er Grösstkorn stellen im vorliegenden Forschungsprojekt, eine zu geringe Stichprobe dar, um diesbezüglich eine verlässliche Aussage zu erhalten.
- + Die lärmreduzierende Wirkung der SDA 8 Beläge im Forschungsprojekt entsprechen nicht den Erwartungen und decken sich nicht mit anderweitigen Untersuchungen [Ref. AG, unpubliziert]. Zur Sicherstellung einer dauerhaften akustischen Wirkung von SDA 8 Belägen besteht weiter Forschungs- und Optimierungsbedarf.

7 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.
- Angst Ch., Beltzung F., Bosshardt D., Grolimund H.-J., Pestalozzi H. 2008: Lärmarme Beläge innerorts. Schlussbericht 2007 – Kurzfassung. Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Strassen, Bern. 23 S.
- ASTRA / BAFU, 2013: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen, Leitfaden Strassenlärm Anhang 1c (Version: 11.12.2013).
- BASt, 2011: Griffigkeitsprognose an offenporigen Asphalten – 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.
- ISO 11819-1, 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, Geräuschmindernde Fahrbahnbeläge in der Praxis, Müller-BBM, Gelsenkirchen.
- Merki M., R. Schibli, S. Schulze, E. Bühlmann, 2014: Statistical methods to determine acoustically homogeneous sections and predict road surface type changes using tyre/road noise data. *Proc. Forum Acusticum*, Krakow.
- Peeters B., I. Ammerlaan and A. Kuijpers, 2010: Noise reduction by absorbing road surfaces: destroying the horn effect, *Proc. of ISMA*, Leuven.
- Pestalozzi, H., Grolimund, H.-J., Angst, Ch., Lärmarme Strassenbeläge innerorts, Statusbericht 2003, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2004
- Sandberg U. and J.A. Ejsmont 2002: Tyre/Road Noise Reference Book, Ed. Informex, Sweden.

SN 640 425 Lärmindernde Decken Grundlagen, VSS

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: Statistical 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 2013. 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 38: 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, 2013, 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 neuartigen 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 betrugen 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.

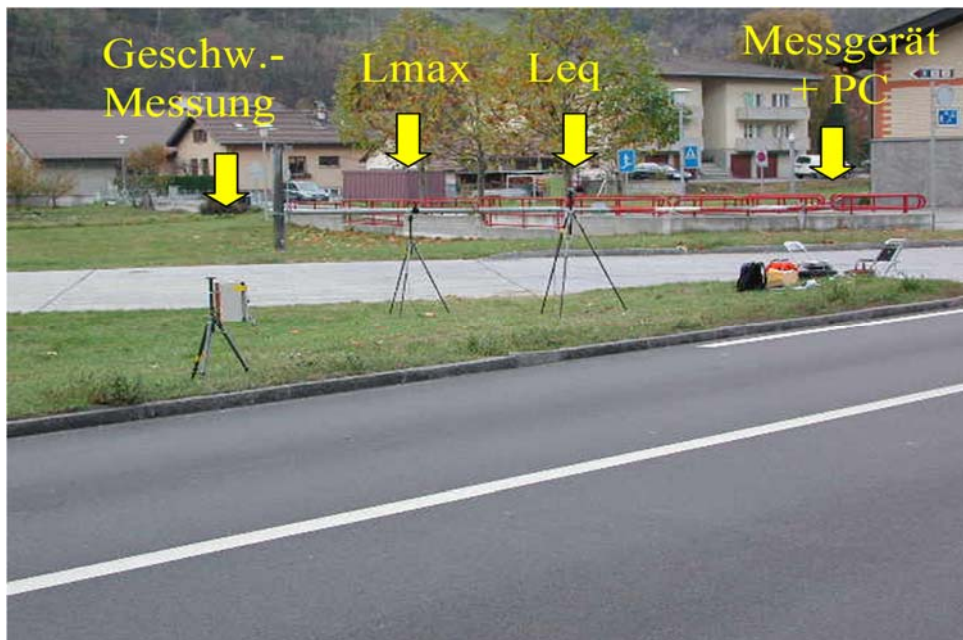


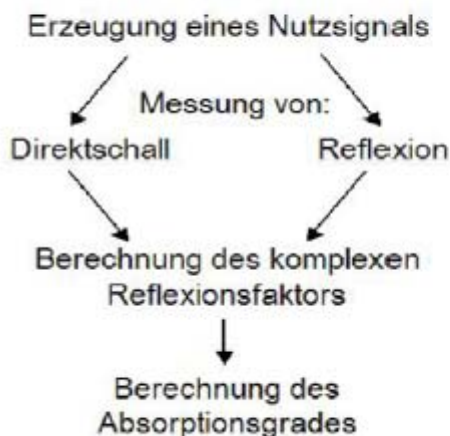
Fig. 1 Messanordnung für die statistische Vorbeifahrtmethode

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 $-0.06 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ für dichte Beläge und $-0.04 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ für offenporige Beläge auf 20°C Belagstemperatur korrigiert. Bei den Lastwagen wurde eine Temperaturkorrektur von $-0.03 \text{ dB(A)/}^{\circ}\text{C}$ 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.

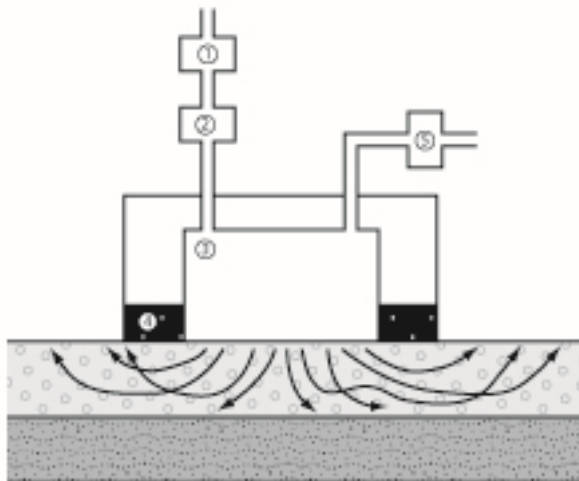
Der Luftströmungswiderstand einer Deckschicht wird definiert als Quotient des Überdruckes in der Kammer Δp zum Durchfluss q . Der spezifische Strömungswiderstand R_s wird definiert als Quotient des Überdruckes zur Strömungsgeschwindigkeit q/A (A bezeichnet die Prüffläche). Diese Definition wird in der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

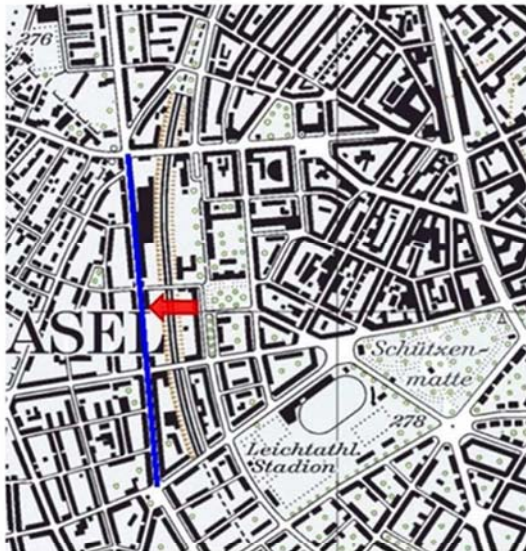
Für die Interpretation der gemessenen Rollgeräuschspektren CPX bezüglich Lärmentstehung und Wirkung Schallabsorption, wurden diese mit den durch SPERoN modellierten lärmentstehungsmechanismus-spezifischen Geräuschanteilen gewichtet (nach Bühlmann und Ziegler 2012). Auf diese Weise können Aussagen über 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 unbekannten 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). Die im vorliegenden Projekt verwendete Methode ist näher in Merki et al (2014) beschrieben.

ANHANG B: OBJEKTBEZOGENE BERICHTERSTATTUNG

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



Messungen 2015 (3 Jahre 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.

Bohrkernuntersuchung

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

Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

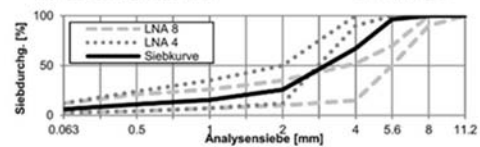
MPD: 0.72 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.78 mm
Gestaltfaktor (g): 81.4 %
 A_{max} : 166.6 μ m
 λ (A_{max}): 10 mm
Längsebenheit: W = 12.3 ‰ / sW = 1.5 ‰
Querebenheit (Mulde): 1.9 mm
Pendulum test (PTV): 61 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

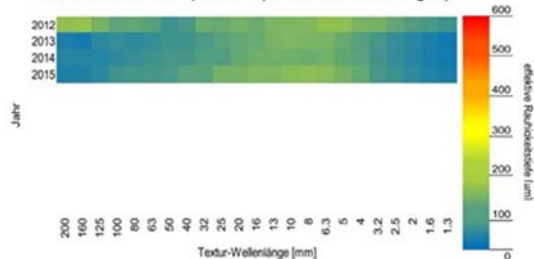
Luftströmungswiderst.: 5964 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 35 Pa*s/m
Wasserdurchlässigkeit: n.a.
Ausflusszeit: n.a.

Mischgutuntersuchung

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

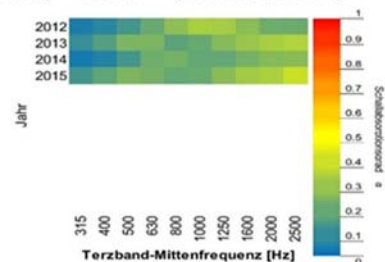


Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.4 (Neuzustand: 0.34)
Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 1000 Hz)



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

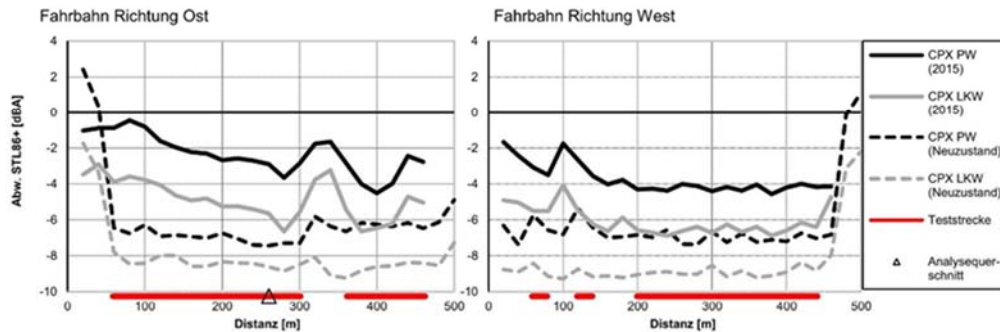
Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

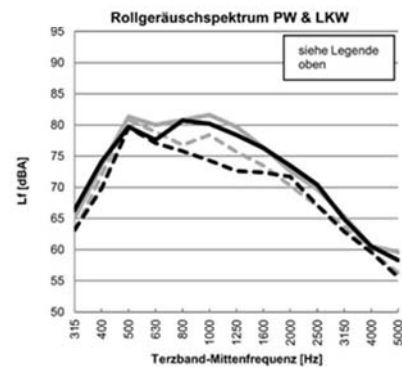
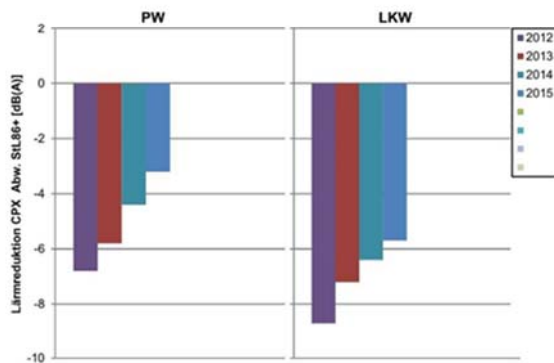
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -3.2 dB(A)
MW (CPXP): 87.5 dB(A)
Std.Abw.: 0.9 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -5.7 dB(A)
MW (CPXH): 88.5 dB(A)
Std.Abw.: 0.7 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -4.4 dB(A) Abw. StL86+
bei 124 Fahrzeugen und 47 km/h
n.a.
LKW: bei 0 Fahrzeugen und 0 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

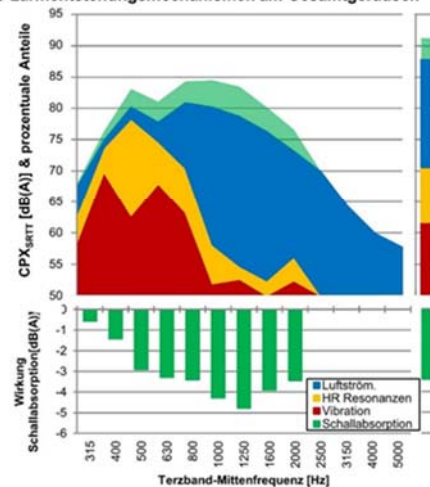
PW: -2.9 dB(A) Abw. StL86+
87.8 dB(A) CPXP
LKW: -5.6 dB(A) Abw. StL86+
88.5 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 45.5%
-Vibrationsschall: 30.8%
-Hohlraumresonanzen: 23.7%

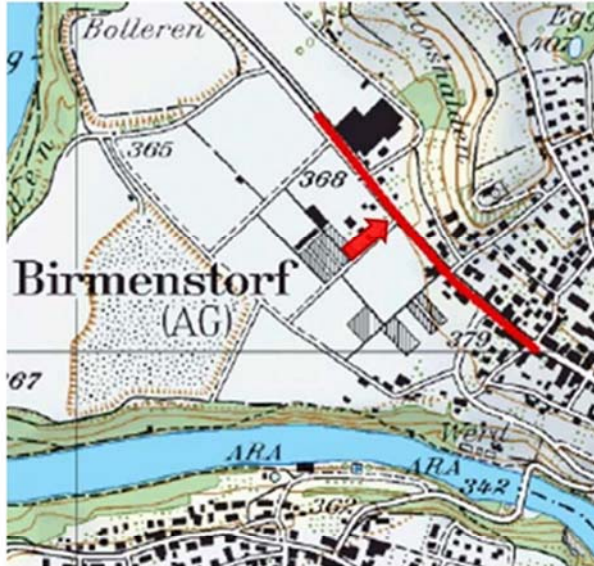
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 4.8 dB(A)
-Frequenz (max.): 1250 Hz
-Wirkung Total: 3.4 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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

Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)



Teststrecke

Einbaudatum: 11.08.2011

Länge: 330 m

Steigung: 0 %

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV 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
Brüelweg. 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.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 37.5 mm
min: 34 mm
max: 41 mm

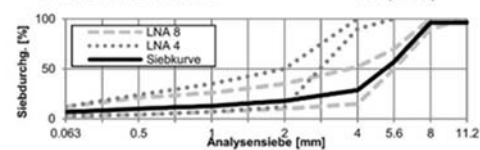
Hohlraumgehalt: MW: 8.1 % (Vol)
min: 6.1 % (Vol)
max: 10.2 % (Vol)

Verdichtungsgrad: MW: 102.6 %
min: 100.3 %
max: 104.8 %

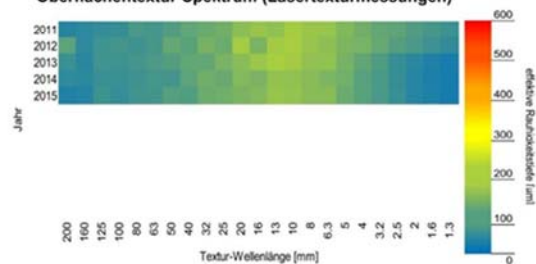
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 10.9 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

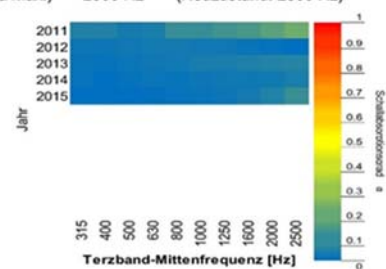
MPD: 0.71 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.77 mm
Gestaltfaktor (g): 82.9 %
 A_{max} : 179.4 μ m
 λ (A_{max}): 16 mm
Längsebenheit: $W = 6.5 \% / sW = 2 \%$
Querebenheit (Mulde): 4 mm
Pendulum test (PTV): 52 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.11 (Neuzustand: 0.22)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 24823 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 11 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.

Ausflusszeit: n.a.

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

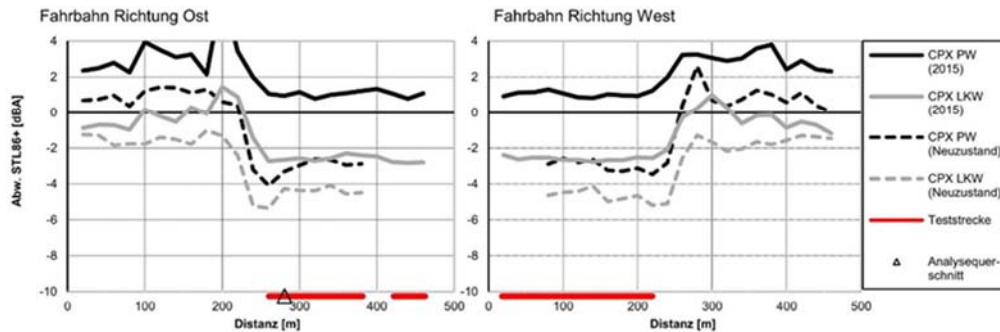
Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)

Testbelag

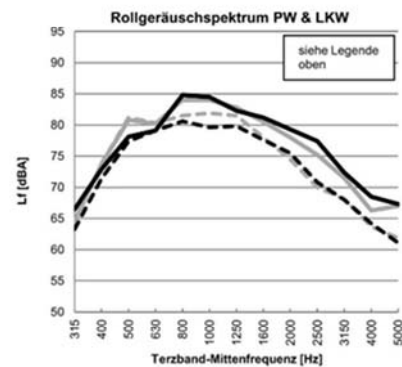
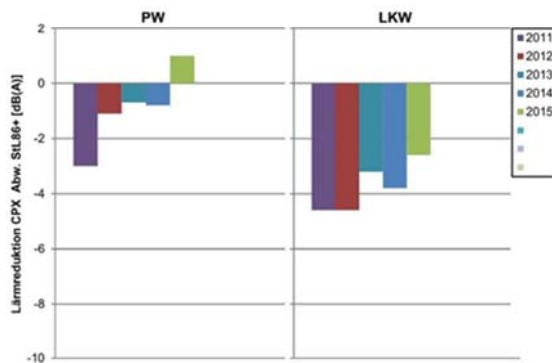
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 1 dB(A)
MW (CPXP): 90.9 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -2.6 dB(A)
MW (CPXH): 90.7 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analyseliquerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: 0.2 dB(A) Abw. StL86+
bei 124 Fahrzeugen und 47 km/h

LKW: -1.9 dB(A) Abw. StL86+
bei 25 Fahrzeugen und 39 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: 1 dB(A) Abw. StL86+
90.8 dB(A) CPXP

LKW: -2.7 dB(A) Abw. StL86+
90.7 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

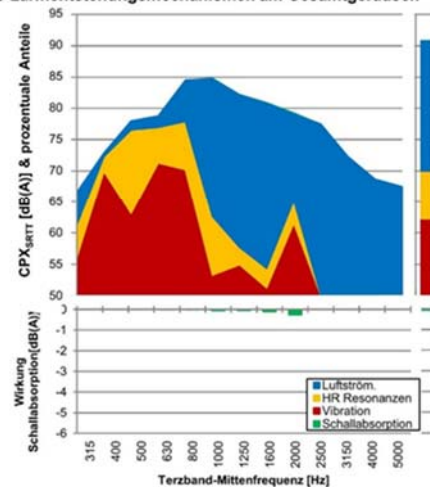
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 51.0%
- Vibrationsschall: 30.0%
- Hohlraumresonanzen: 19.1%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

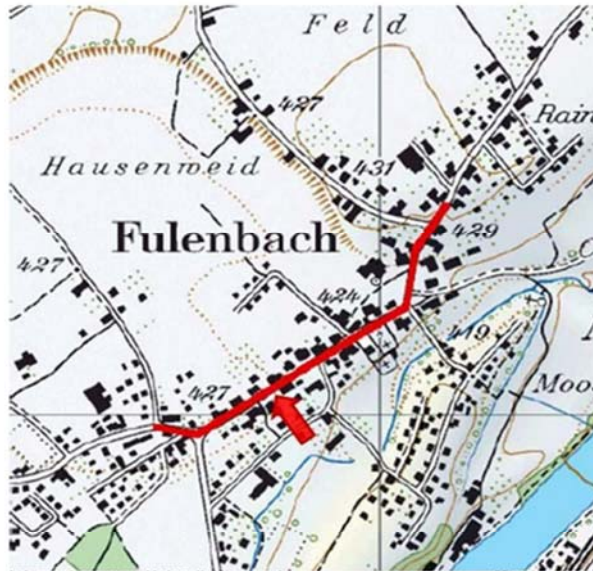
- max.: 0.3 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.1 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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

Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)



Teststrecke

Einbaudatum: 26.06.2011

Länge: 750 m

Steigung: 0.5 %

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV 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.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 42 mm
min: 40 mm
max: 45 mm

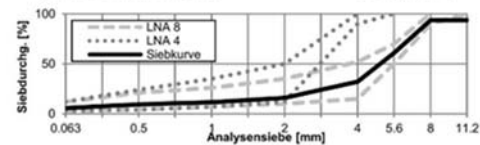
Hohlraumgehalt: MW: 15.9 % (Vol)
min: 14.5 % (Vol)
max: 17.1 % (Vol)

Verdichtungsgrad: MW: 99.5 %
min: 97.7 %
max: 100.9 %

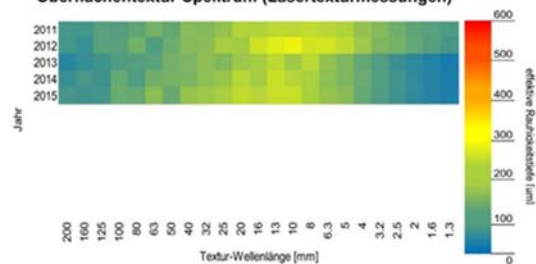
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshall) MW: 15.3 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 5.6 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 1 mm

Rauhtiefe (ETD): 1 mm

Gestaltfaktor (g): 76 %

A_{max} : 235.5 μ m

λ (A_{max}): 16 mm

Längsebenheit: $W = 10.8 \text{ ‰} / sW = 1.8 \text{ ‰}$

Querebenheit (Mulde): 2 mm

Pendulum test (PTV): 56 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 5794 Pa*s/m

Max. Durchfluss: 25 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.

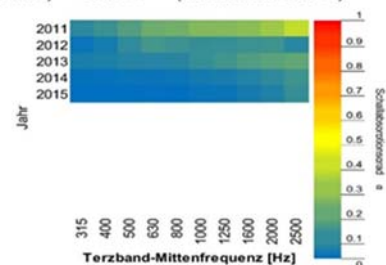
Ausflusszeit: n.a.

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.11 (Neuzustand: 0.38)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



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

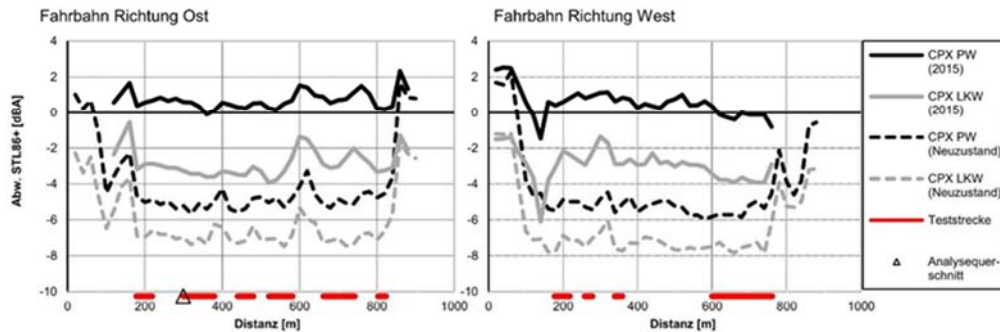
Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)

Testbelag

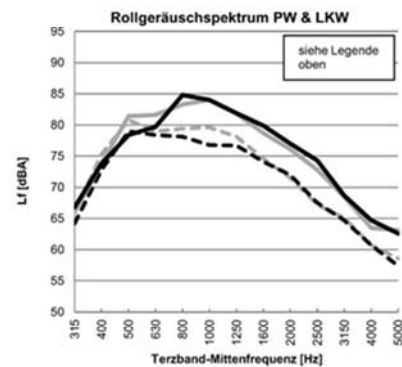
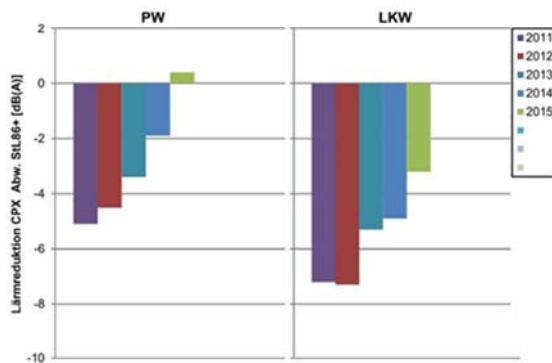
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 0.4 dB(A)
MW (CPXP): 90.4 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.: 0.4 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequen-schnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: -0.2 dB(A) Abw. StL86+
bei 124 Fahrzeugen und 49 km/h

LKW: -3.6 dB(A) Abw. StL86+
bei 20 Fahrzeugen und 47 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: 0.6 dB(A) Abw. StL86+
90.6 dB(A) CPXP

LKW: -3.3 dB(A) Abw. StL86+
90.2 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

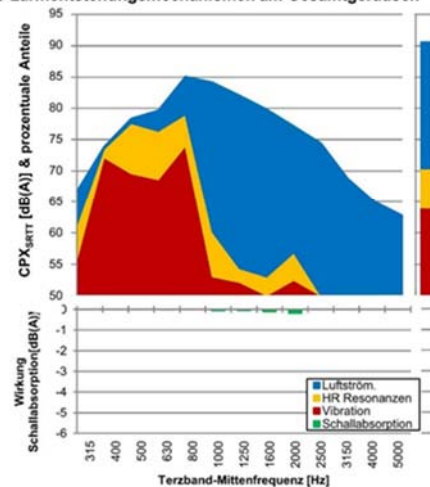
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 49.8%
- Vibrationsschall: 34.6%
- Hohlraumresonanzen: 15.6%

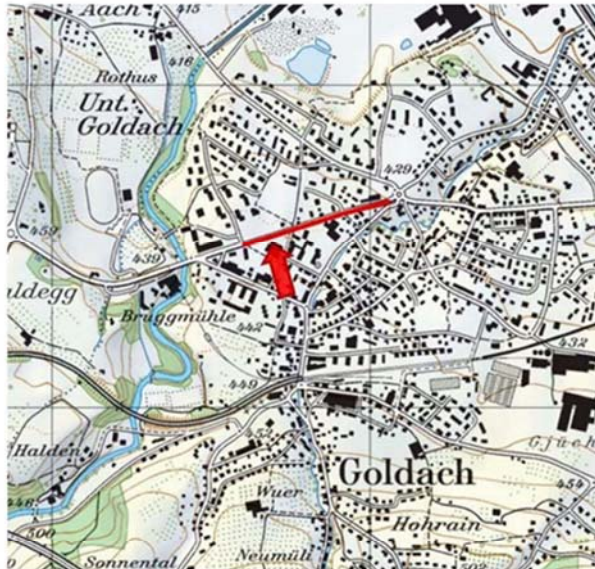
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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



Messungen 2015 (5 Jahre nach Einbau)

Teststrecke

Einbaudatum: 08.07.2010

Länge: 470 m

Steigung: 2 %

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV SN 640 005a: 12500 (2010)

Anteil LKW (tags): n.a.

Geschwindigkeit: 50 km/h

Analysesequerschnitt

Koordinaten: X = 260531



Y = 752682

Beschreibung Lage:

Zwischen Veloständer des Schulhauses

und Bushaltestelle TSM/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.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

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, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.73 mm

Rauhtiefe (ETD): 0.79 mm

Gestaltfaktor (g): 81.4 %

A_{max} : 169.8 μ m

λ (A_{max}): 16 mm

Längsebenheit: n.a.

Querebenheit (Mulde): 3 mm

Pendulum test (PTV): n.a.

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 9521 Pa*s/m

Max. Durchfluss: 15 Pa*s/m

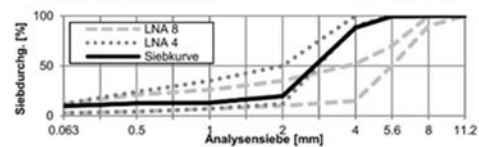
Wasserdurchlässigkeit: n.a.

Ausflusszeit: n.a.

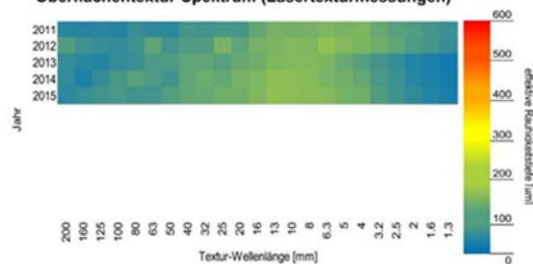
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshall) MW: 17.5 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6.1 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

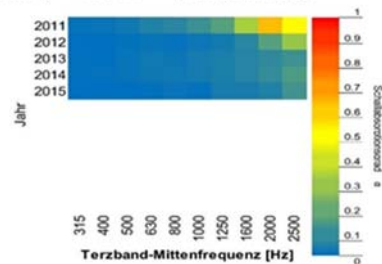


Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.13 (Neuzustand: n.a.)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: n.a.)



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

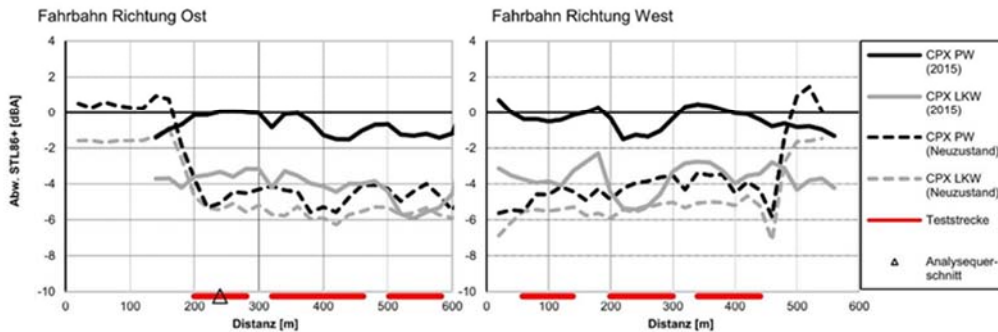
Messungen 2015 (5 Jahre nach Einbau)

Testbelag

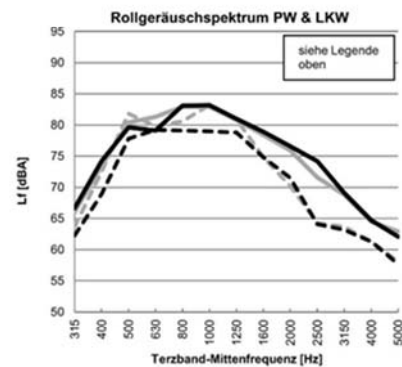
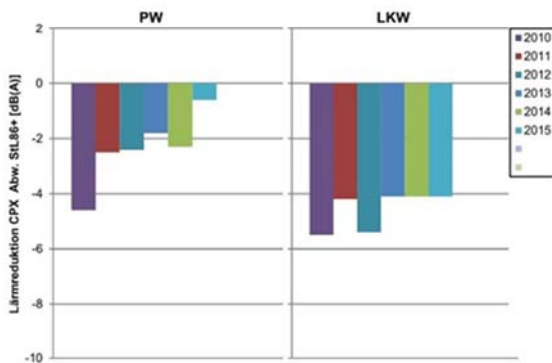
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -0.6 dB(A)
MW (CPXP): 89.6 dB(A)
Std.Abw.: 0.5 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -4.1 dB(A)
MW (CPXH): 89.7 dB(A)
Std.Abw.: 0.6 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: -0.2 dB(A) Abw. StL86+
bei 124 Fahrzeugen und 50 km/h
LKW: -3.9 dB(A) Abw. StL86+
bei 1 Fahrzeugen und 49 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

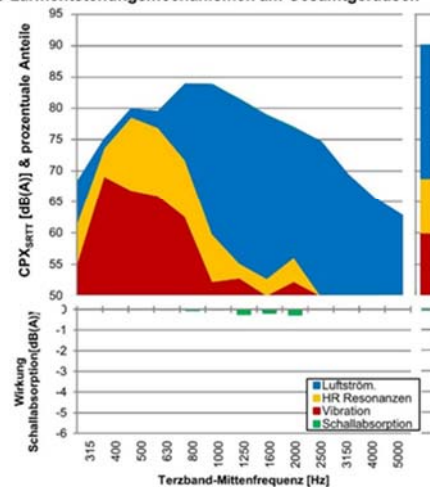
PW: 0 dB(A) Abw. StL86+
90.1 dB(A) CPXP
LKW: -3.3 dB(A) Abw. StL86+
90.2 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 53.1%
-Vibrationsschall: 25.0%
-Hohlraumresonanzen: 22.0%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.3 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0.1 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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

Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)



Teststrecke

Einbaudatum: 19.06.2011

Länge: 550 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV 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 + Zeitner AG (Opel), Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

Belagstyp: SDA 6 HR 12/16 (SDA 6 B)

Bindemittel: n.a.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 32 mm
min: 29 mm
max: 33 mm

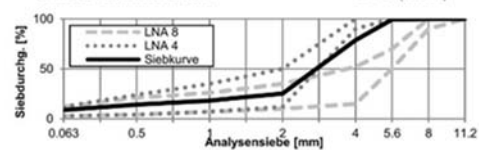
Hohlraumgehalt: MW: 13.1 % (Vol)
min: 11.4 % (Vol)
max: 14.6 % (Vol)

Verdichtungsgrad: MW: 98 %
min: 96.4 %
max: 99.9 %

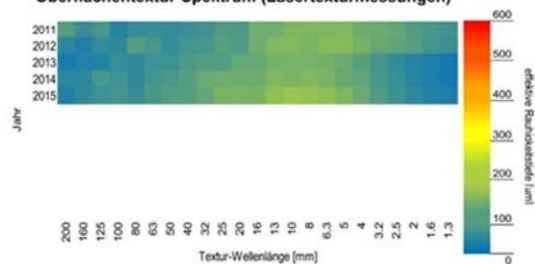
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 11.2 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6.3 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

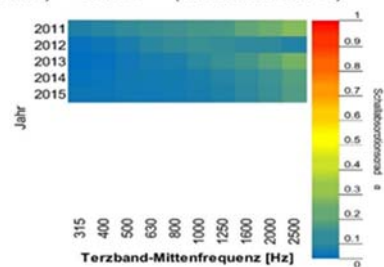
MPD: 0.77 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.81 mm
Gestaltfaktor (g): 81.4 %
 A_{max} : 183.4 µm
 λ (A_{max}): 12.5 mm
Längsebenheit: $W = 12.1 \text{ ‰} / sW = 1.6 \text{ ‰}$
Querebenheit (Mulde): 2.5 mm
Pendulum test (PTV): 56 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.16 (Neuzustand: 0.27)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 17597 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)

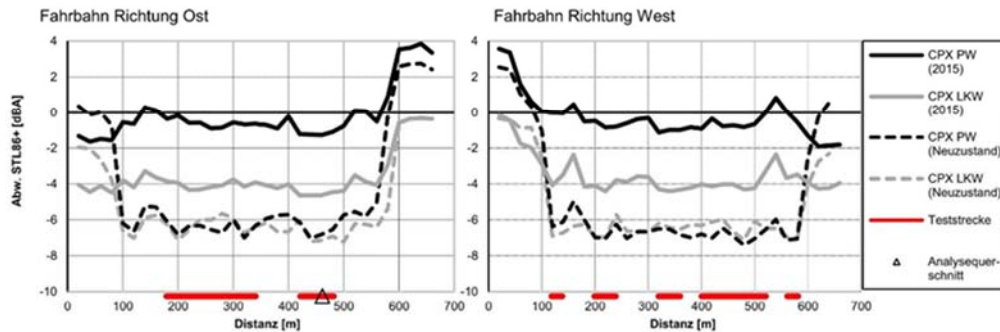
Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)

Testbelag

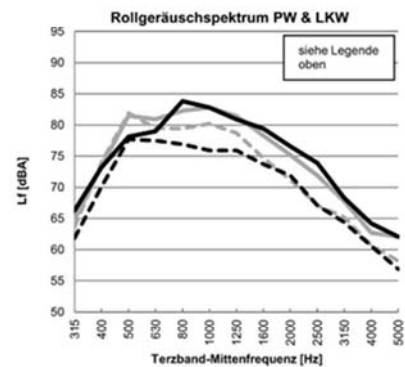
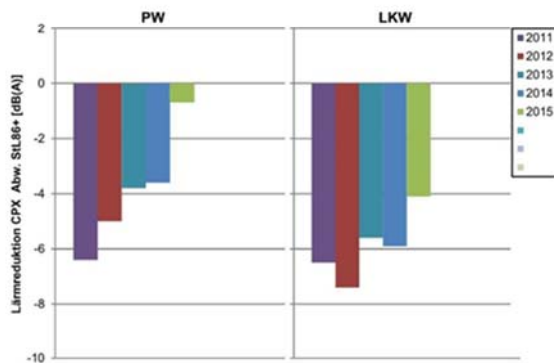
Rollgeräuschmessungen CPX

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+): -4.1 dB(A)
MW (CPXH): 89.6 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequen-schnitt

Statistische Vorbeifahrtsmessungen SPB

PW: -1.3 dB(A) Abw. StL86+
bei 120 Fahrzeugen und 48 km/h

LKW: -3.8 dB(A) Abw. StL86+
bei 18 Fahrzeugen und 47 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -1.3 dB(A) Abw. StL86+
89.1 dB(A) CPXP

LKW: -4.6 dB(A) Abw. StL86+
89.3 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

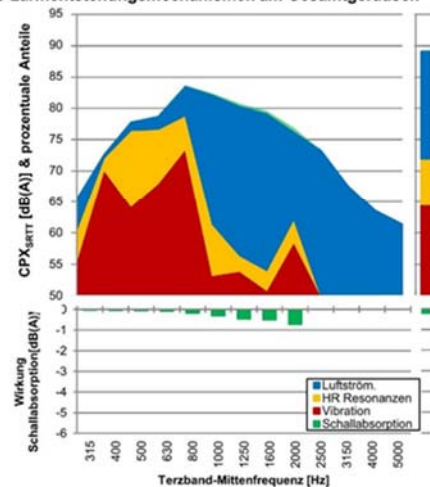
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 43.9%
- Vibrationsschall: 37.2%
- Hohlraumresonanzen: 18.9%

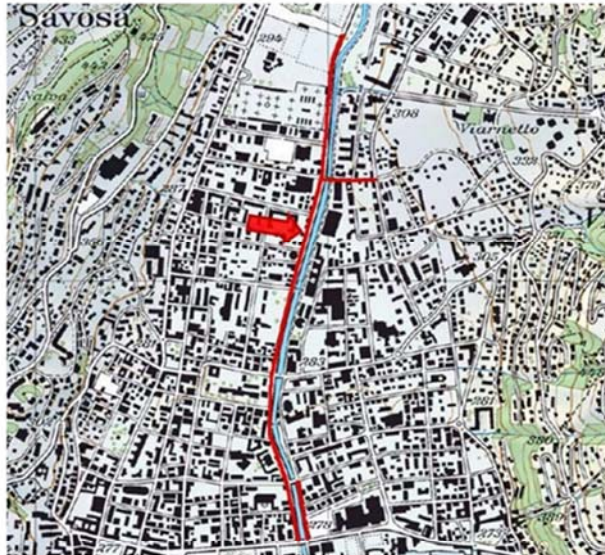
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.7 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0.2 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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



Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Teststrecke

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

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 97147
Y = 717929

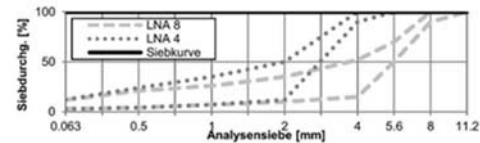
Beschreibung Lage:
Höhe Hausvorplatz Via Ciani 29,
Fahrbahn Richtung Süd

Informationen zu Belag & Mischgut

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

Mischgutuntersuchung

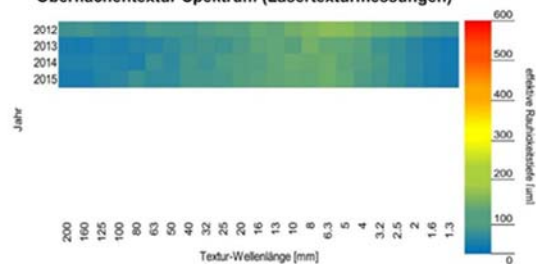
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 13 % (Vol)
löslicher Bindmittelanteil: 6.3 % (Mass)



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)

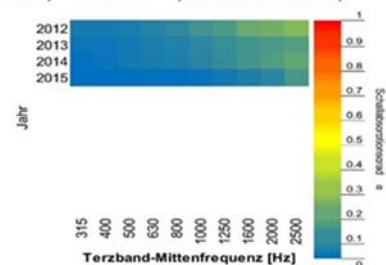


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.51 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.6 mm
Gestaltfaktor (g): 85.6 %
 A_{max} : 130.3 µm
 λ (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.: 0.14 (Neuzustand: 0.26)
Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 34512 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 10 Pa*s/m

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

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

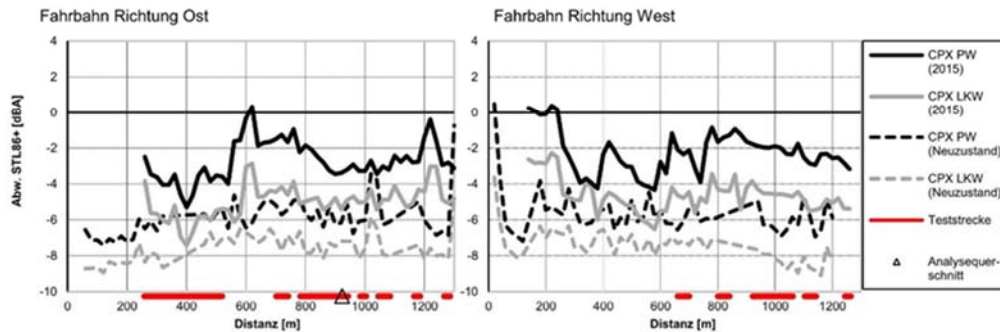
Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

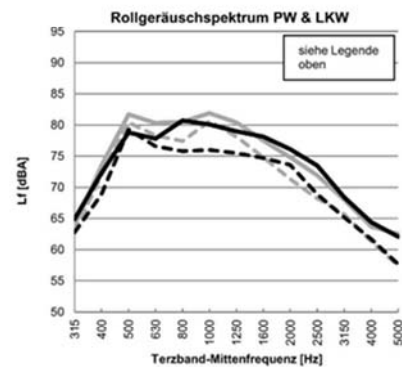
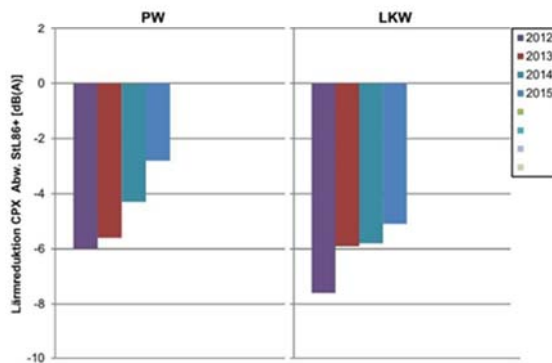
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2.8 dB(A)
MW (CPXP): 87.9 dB(A)
Std.Abw.: 0.7 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -5.1 dB(A)
MW (CPXH): 88.9 dB(A)
Std.Abw.: 0.5 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: -2.9 dB(A) Abw. StL86+
bei 107 Fahrzeugen und 49 km/h
n.a.
LKW: bei 1 Fahrzeugen und 36 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

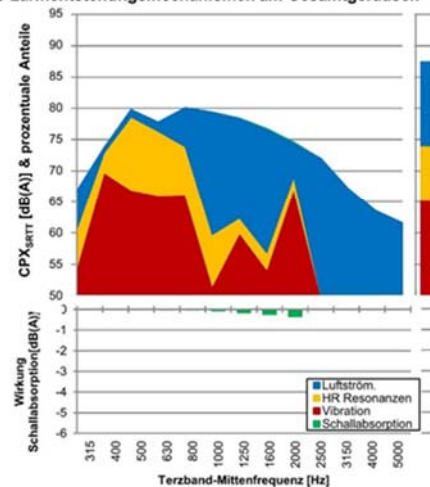
PW: -3.4 dB(A) Abw. StL86+
87.4 dB(A) CPXP
LKW: -5.4 dB(A) Abw. StL86+
88.7 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

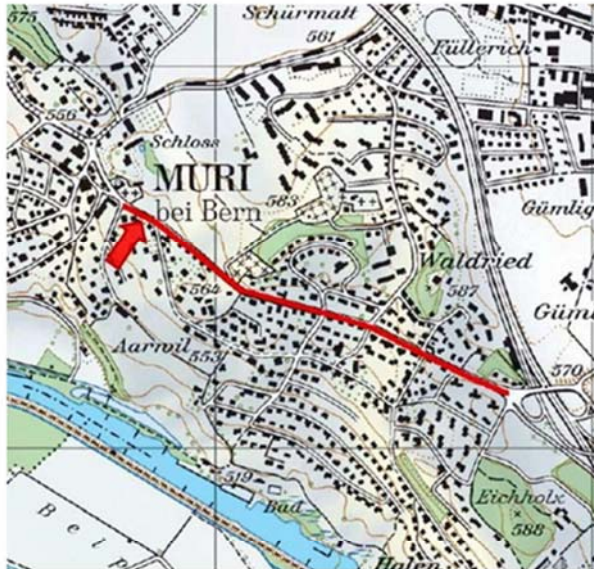
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 35.6%
-Vibrationsschall: 40.9%
-Hohlraumresonanzen: 23.5%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.3 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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



Messungen 2015 (4 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

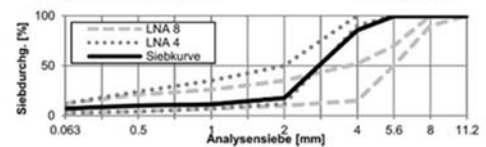
Beschreibung Lage:
Vor Kirchgemeindehaus Muri - Gümligen
Thunstrasse Nr.96, auf Höhe Vorplatz.
Fahrbahn Richtung Ost.

Informationen zu Belag & Mischgut

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

Mischgutuntersuchung

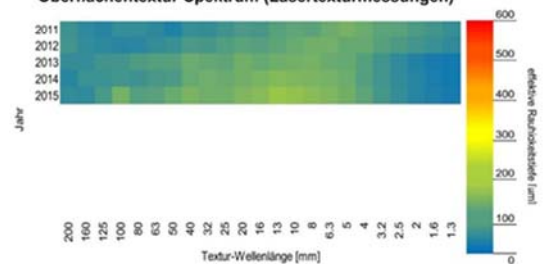
Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 18.9 % (Vol)
löslicher Bindmittelanteil: 5.5 % (Mass)



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)

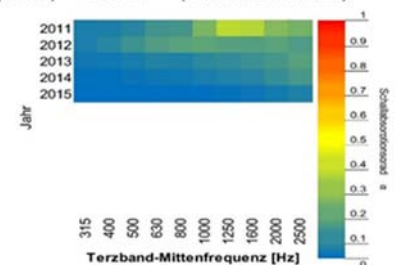


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.96 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.97 mm
Gestaltfaktor (g): 68.9 %
 A_{max} : 181.6 μ m
 λ (A_{max}): 16 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.: 0.06 (Neuzustand: 0.37)
Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 1250 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 16664 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 12 Pa*s/m

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

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

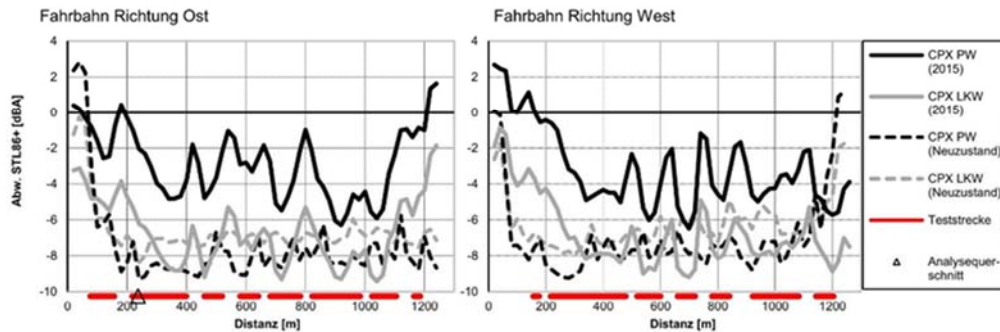
Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)

Testbelag

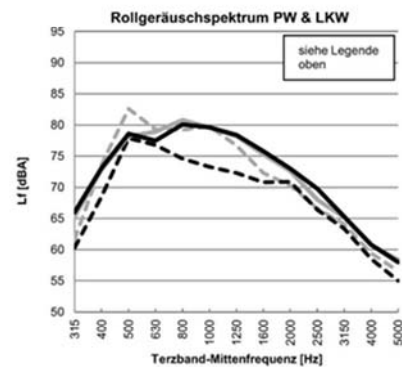
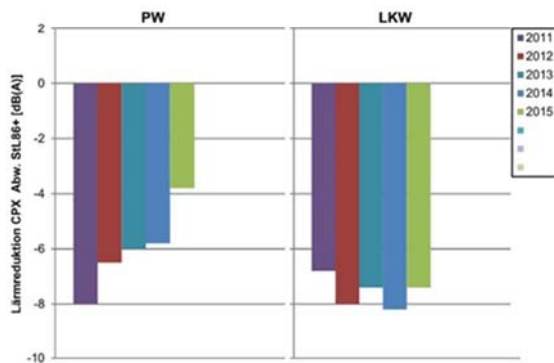
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -3.8 dB(A)
MW (CPXP): 87 dB(A)
Std.Abw.: 1.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -7.4 dB(A)
MW (CPXH): 87.2 dB(A)
Std.Abw.: 1 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: -1.5 dB(A) Abw. StL86+
bei 105 Fahrzeugen und 47 km/h
LKW: -3.8 dB(A) Abw. StL86+
bei 4 Fahrzeugen und 45 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

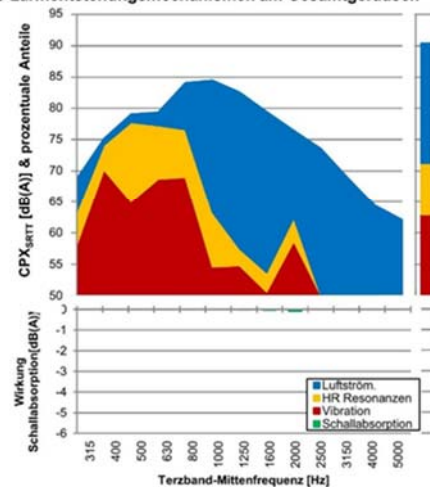
PW: 0.4 dB(A) Abw. StL86+
90.4 dB(A) CPXP
LKW: -3.8 dB(A) Abw. StL86+
89.8 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 47.4%
-Vibrationsschall: 31.9%
-Hohlraumresonanzen: 20.7%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.1 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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

Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)



Teststrecke

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

Analysequerschnitt

Koordinaten: X = 218249
Y = 723429

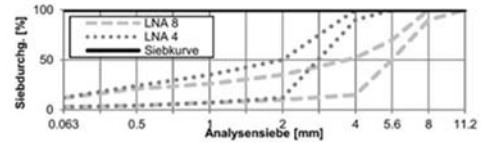
Beschreibung Lage:
zwischen Bauernhaus Unterdorfstrasse
47 und Haus Nr. 49, Mitte Feld, Fahrbahn
Richtung Süd

Informationen zu Belag & Mischgut

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

Mischgutuntersuchung

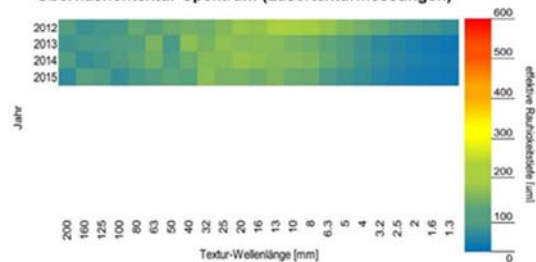
Hohlraumgehalt (Marshall) MW: 12.5 % (Vol)
löslicher Bindemittelanteil: 6.2 % (Mass)



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)

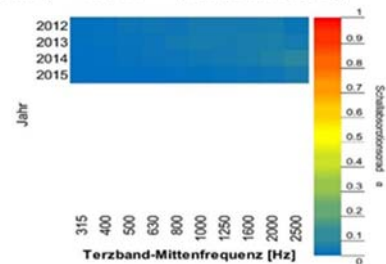


Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.74 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.79 mm
Gestaltfaktor (g): 77.1 %
 A_{max} : 164.1 μ m
 λ (A_{max}): 40 mm
Längsebenheit: $W = 8 \% / sW = 1.8 \%$
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.): 2500 Hz (Neuzustand: 2000 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 149682 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 4 Pa*s/m
Wasserdurchlässigkeit: n.a.
Ausflusszeit: n.a.

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

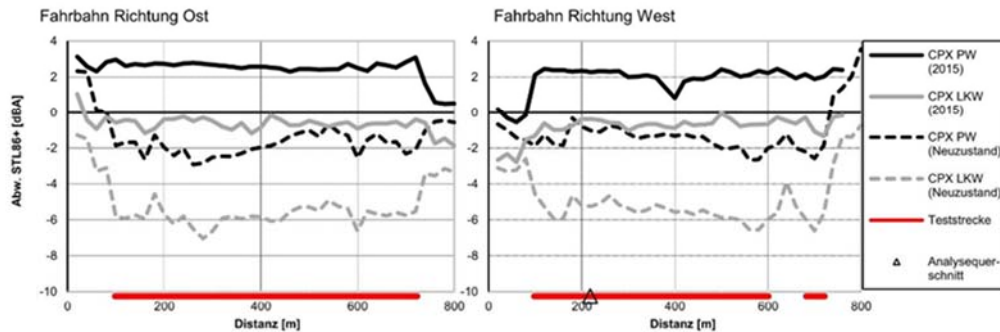
Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

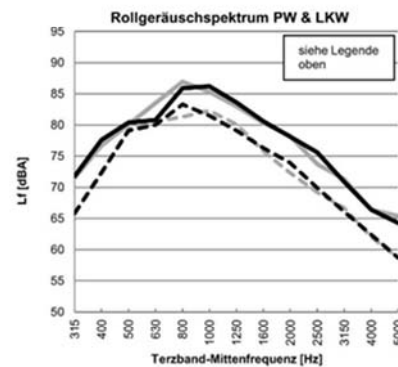
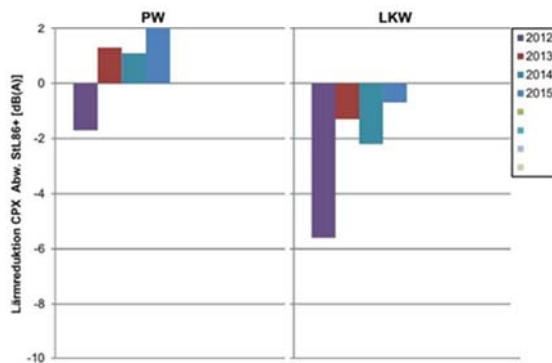
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 2.4 dB(A)
MW (CPXP): 92 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -0.7 dB(A)
MW (CPXH): 92.2 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequenzschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: 2.5 dB(A) Abw. StL86+ bei 111 Fahrzeugen und 52 km/h
LKW: -1.7 dB(A) Abw. StL86+ bei 40 Fahrzeugen und 49 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

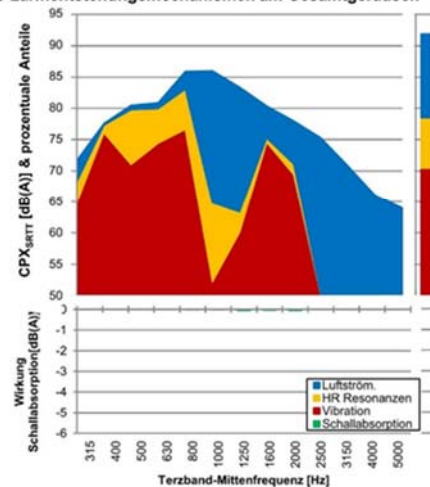
PW: 2.3 dB(A) Abw. StL86+
91.9 dB(A) CPXP
LKW: -0.4 dB(A) Abw. StL86+
92.4 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 32.0%
-Vibrationsschall: 48.8%
-Hohlraumresonanzen: 19.2%

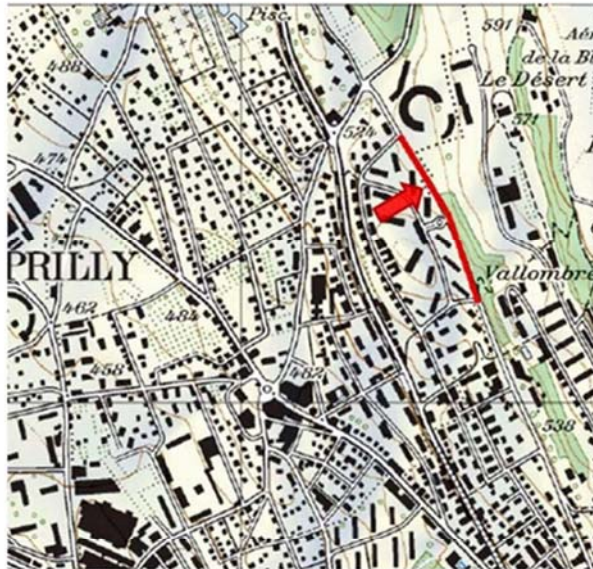
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.1 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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

Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)



Teststrecke

Einbaudatum: 11.05.2011

Länge: 500 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV 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.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 37 mm
min: 28 mm
max: 44 mm

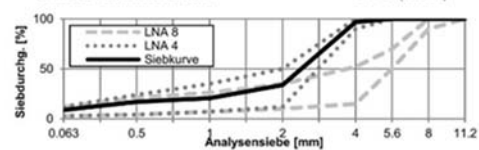
Hohlraumgehalt: MW: 11.7 % (Vol)
min: 9.7 % (Vol)
max: 13.3 % (Vol)

Verdichtungsgrad: MW: 98.6 %
min: 96.3 %
max: 100.4 %

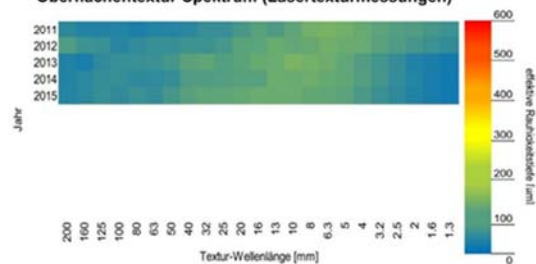
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 9.9 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6.7 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

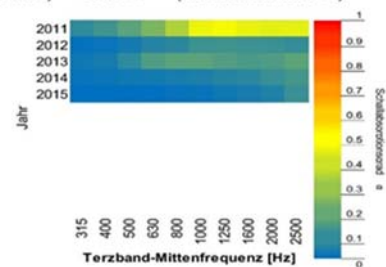
MPD: 0.59 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.67 mm
Gestaltfaktor (g): 81.2 %
 A_{max} : 126.2 μ m
 λ (A_{max}): 12.5 mm
Längsebenheit: $W = 6.3 \text{ ‰} / sW = 1.4 \text{ ‰}$
Querebenheit (Mulde): 1.8 mm
Pendulum test (PTV): 61 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.11 (Neuzustand: 0.49)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 1250 Hz)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 47827 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 7 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.

Ausflusszeit: n.a.

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

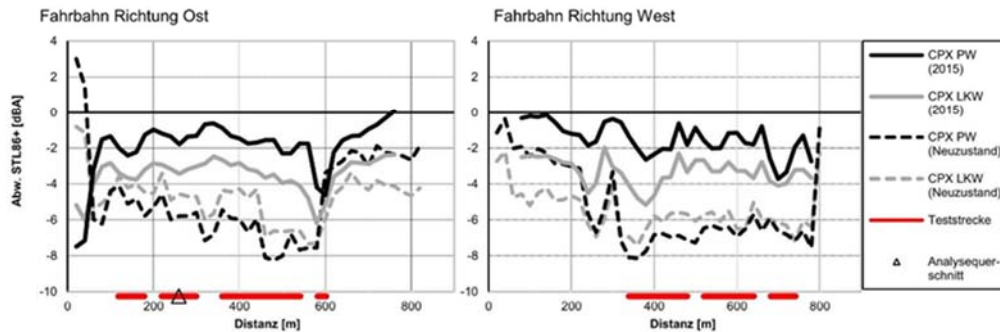
Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)

Testbelag

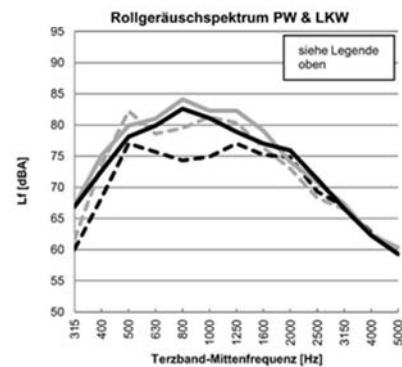
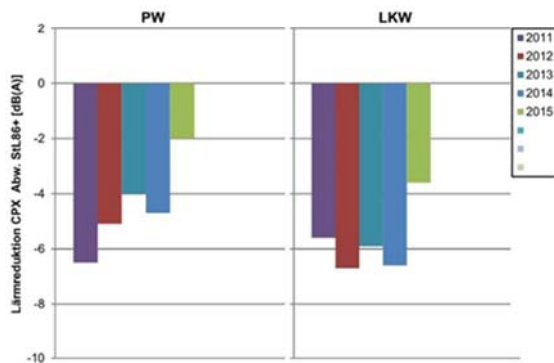
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2 dB(A)
MW (CPXP): 88.5 dB(A)
Std.Abw.: 0.7 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -3.6 dB(A)
MW (CPXH): 90 dB(A)
Std.Abw.: 0.6 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequen-schnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: -3 dB(A) Abw. StL86+
bei 139 Fahrzeugen und 47 km/h

LKW: -2.4 dB(A) Abw. StL86+
bei 2 Fahrzeugen und 41 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -1.8 dB(A) Abw. StL86+
88.6 dB(A) CPXP

LKW: -3.4 dB(A) Abw. StL86+
90.1 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

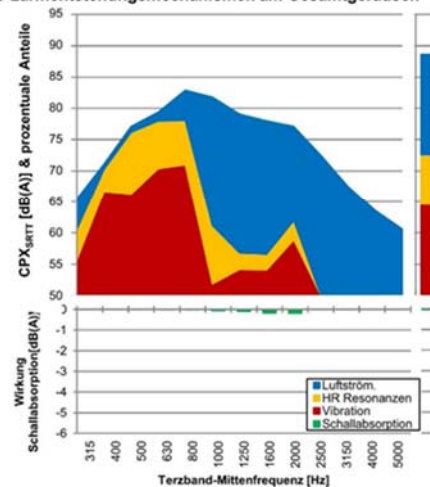
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 41.5%
- Vibrationsschall: 37.8%
- Hohlraumresonanzen: 20.7%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

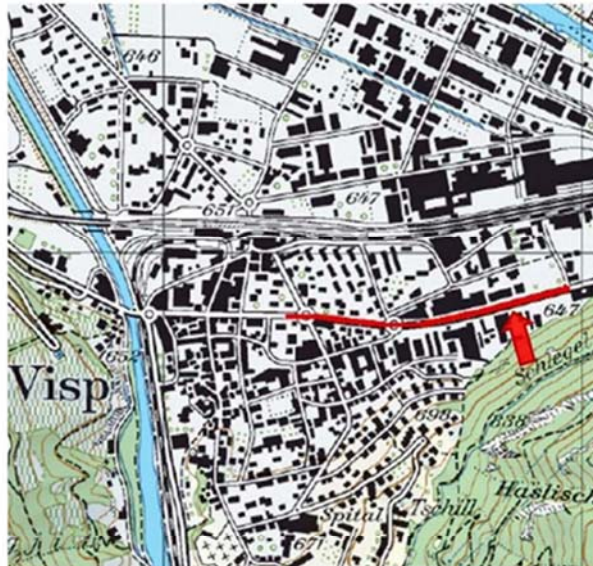
- max.: 0.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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

Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)



Teststrecke

Einbaudatum: 12.07.2011

Länge: 800 m

Steigung: n.a.

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV 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: SDA 4 HR 8/12 (SDA 4 B)

Bindemittel: n.a.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 29.5 mm
min: 20 mm
max: 40 mm

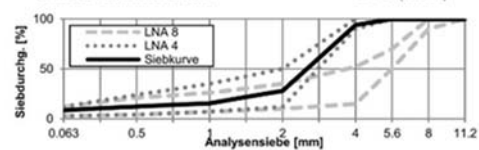
Hohlraumgehalt: MW: 11.7 % (Vol)
min: 11.2 % (Vol)
max: 12.2 % (Vol)

Verdichtungsgrad: MW: 100.3 %
min: 99.7 %
max: 100.9 %

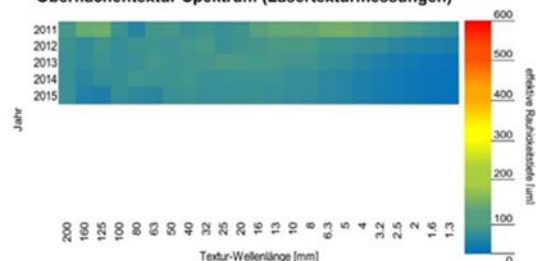
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshall) MW: 12.7 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6.3 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

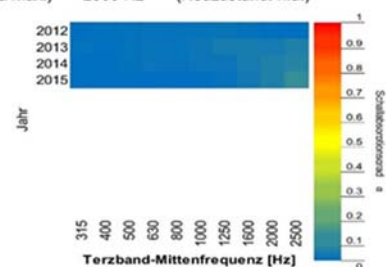
MPD: 0.42 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.53 mm
Gestaltfaktor (g): 71 %
 A_{max} : 71.5 μ m
 λ (A_{max}): 50 mm
Längsebenheit: $W = 7.2 \text{ }_{\infty} / sW = 0.9 \text{ }_{\infty}$
Querebenheit (Mulde): 3.5 mm
Pendulum test (PTV): 54 SRT

Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.11 (Neuzustand: n.a.)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: n.a.)



Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 477922 Pa*s/m

Max. Durchfluss: 2.9 Pa*s/m

Wasserdurchlässigkeit: n.a.

Ausflusszeit: n.a.

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

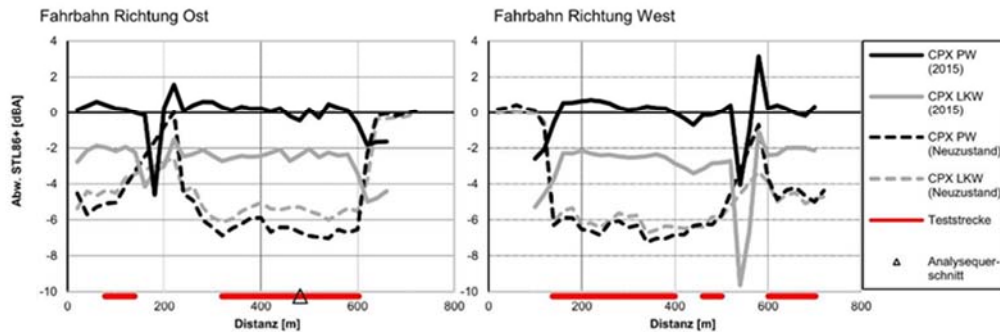
Messungen 2015 (4 Jahre nach Einbau)

Testbelag

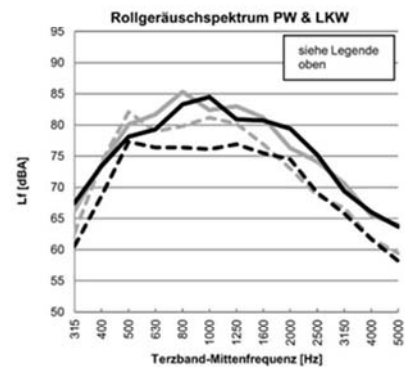
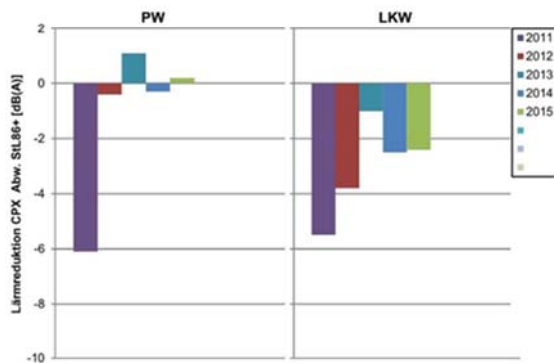
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 0.2 dB(A)
MW (CPXP): 90.2 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -2.4 dB(A)
MW (CPXH): 90.9 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequen-schnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: 1 dB(A) Abw. StL86+
bei 81 Fahrzeugen und 53 km/h

LKW: -1.7 dB(A) Abw. StL86+
bei 41 Fahrzeugen und 44 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -0.4 dB(A) Abw. StL86+
89.7 dB(A) CPXP

LKW: -2.4 dB(A) Abw. StL86+
90.9 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

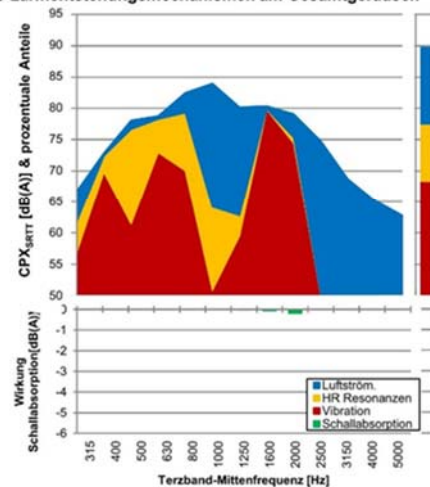
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 30.7%
- Vibrationsschall: 46.2%
- Hohlraumresonanzen: 23.1%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Yverdon VD, Passage supérieure Pomy: SDA 8 HR 12/16 (SDA 8 C)



Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Teststrecke

Einbaudatum: 01.08.2012

Länge: 170 m

Steigung: 3 %

Durchschn. tägl. Verkehr

DTV 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 12/16 (SDA 8 C)

Bindemittel: n.a.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke: MW: 38 mm

min: 33 mm

max: 40 mm

Hohlraumgehalt: MW: 12.8 % (Vol)

min: 11.5 % (Vol)

max: 14.3 % (Vol)

Verdichtungsgrad: MW: 101.8 %

min: 100 %

max: 103.3 %

Oberflächentextur, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.84 mm

Rauhtiefe (ETD): 0.88 mm

Gestaltfaktor (g): 77.2 %

A_{max} : 217.7 μ m

λ (A_{max}): 16 mm

Längsebenheit: $W = 12.5 \text{ ‰} / sW = 2 \text{ ‰}$

Querebenheit (Mulde): 1.5 mm

Pendulum test (PTV): 56 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 15314 Pa*s/m

Max. Durchfluss: 12 Pa*s/m

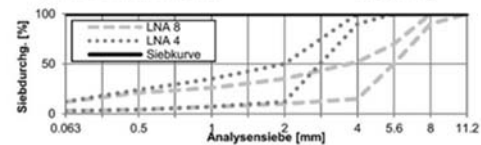
Wasserdurchlässigkeit: n.a.

Ausflusszeit: n.a.

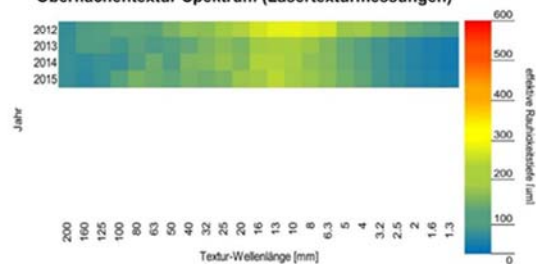
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 14.4 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

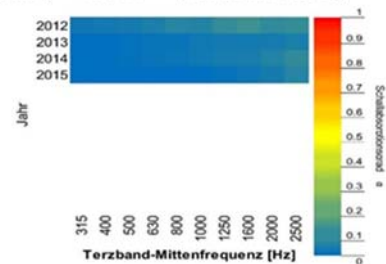


Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.08 (Neuzustand: 0.12)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 1600 Hz)



Yverdon VD, Passage supérieure Pomy: SDA 8 HR 12/16 (SDA 8 C)

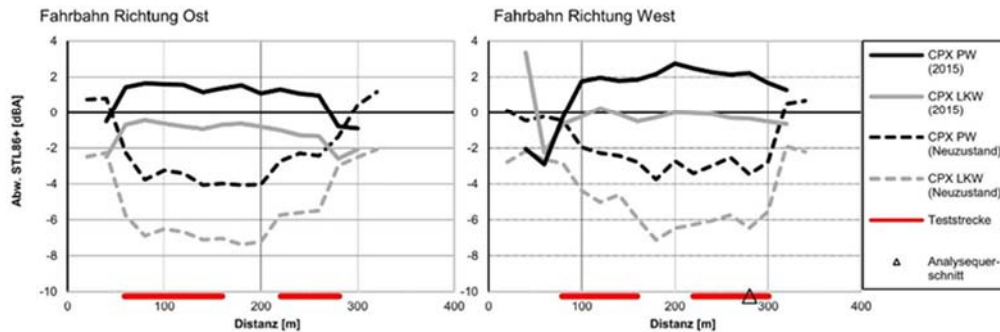
Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

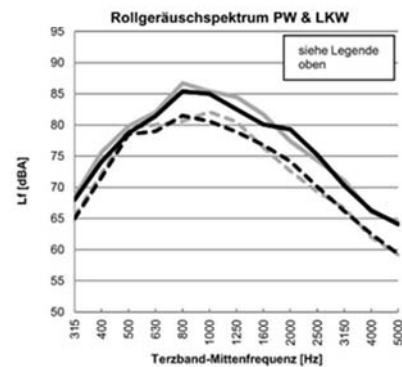
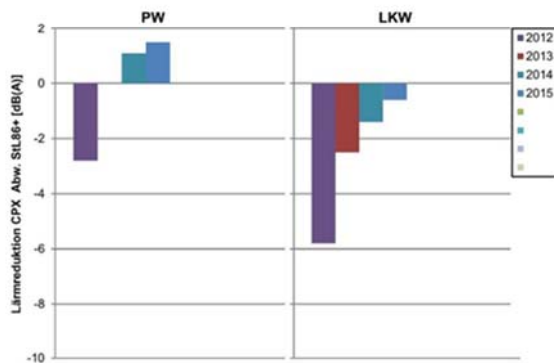
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 1.5 dB(A)
MW (CPXP): 91.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.6 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -0.6 dB(A)
MW (CPXH): 92.2 dB(A)
Std.Abw.: 0.4 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: 0.8 dB(A) Abw. StL86+
bei 102 Fahrzeugen und 49 km/h
LKW: -3.1 dB(A) Abw. StL86+
bei 1 Fahrzeugen und 48 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

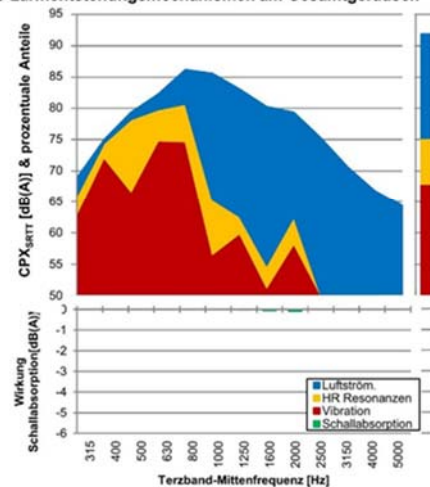
PW: 2.2 dB(A) Abw. StL86+
91.9 dB(A) CPXP
LKW: -0.3 dB(A) Abw. StL86+
92.4 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 39.8%
-Vibrationsschall: 42.8%
-Hohlraumresonanzen: 17.3%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.1 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



Zürich-Oerlikon ZH, Wallisellenstrasse: SDA 8 HR 8/12 (SDA 8



Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Teststrecke
Einbaudatum: 19.06.2012
Länge: 400 m
Steigung: 3 %
Durchschn. tägl. Verkehr
DTV 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: SDA 8 HR 8/12 (SDA 8 B)
Bindemittel: n.a.
Mineralstoffe: n.a.

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, Ebenheit & Griffigkeit

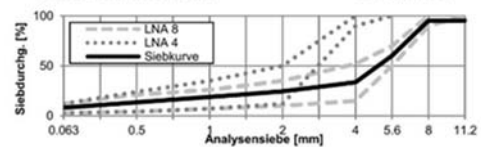
MPD: 0.72 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.77 mm
Gestaltfaktor (g): 83.8 %
 A_{max} : 210.6 μ m
 λ (A_{max}): 16 mm
Längsebenheit: W = 9.4 ‰ / sW = 1.8 ‰
Querebenheit (Mulde): 2.1 mm
Pendulum test (PTV): 63 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

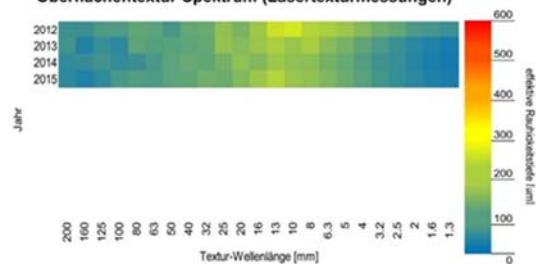
Luftströmungswiderst.: 31464 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 10 Pa*s/m
Wasserdurchlässigkeit: n.a.
Ausflusszeit: n.a.

Mischgutuntersuchung

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

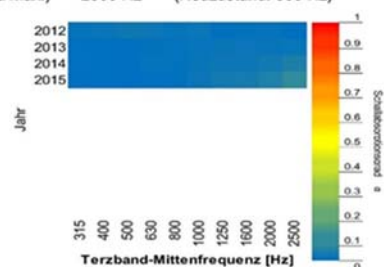


Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.1 (Neuzustand: 0.03)
Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 500 Hz)



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

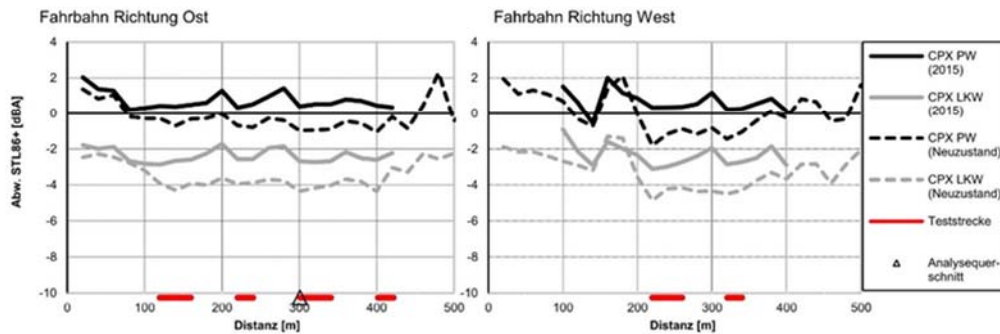
Messungen 2015 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

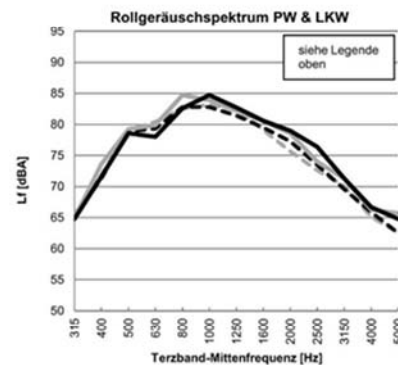
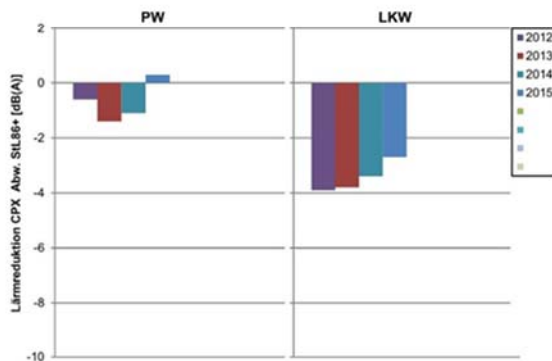
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 0.3 dB(A)
MW (CPXP): 90.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -2.7 dB(A)
MW (CPXH): 90.6 dB(A)
Std.Abw.: 0.1 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

PW: 0.8 dB(A) Abw. StL86+ bei 115 Fahrzeugen und 44 km/h
LKW: -2.8 dB(A) Abw. StL86+ bei 11 Fahrzeugen und 40 km/h

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: 0.4 dB(A) Abw. StL86+
90.4 dB(A) CPXP
LKW: -2.7 dB(A) Abw. StL86+
90.7 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

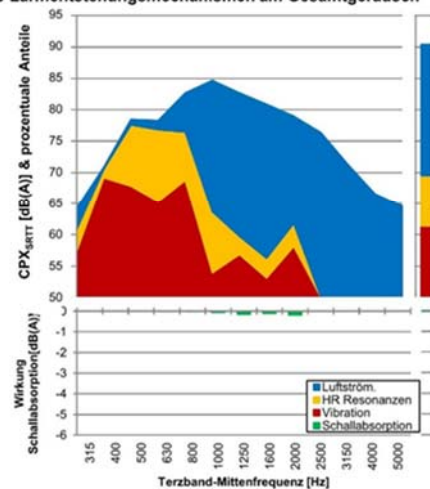
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 51.7%
- Vibrationsschall: 28.2%
- Hohlraumresonanzen: 20.1%

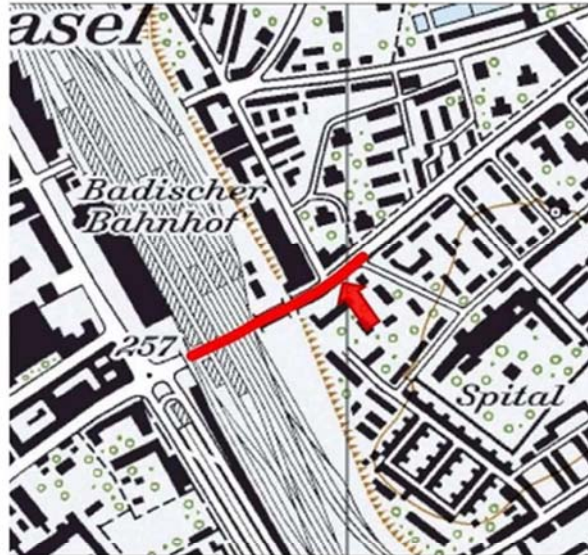
Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 0.2 dB(A)
- Frequenz (max.): 2000 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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



Messungen 2016 (3 Jahre nach Einbau)

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

Analysesequerschnitt

Koordinaten: X = 268489
Y = 612969

Beschreibung Lage:
30 m vor Abzweigung Hirzbrunnallee,
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.

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, Ebenheit & Griffigkeit

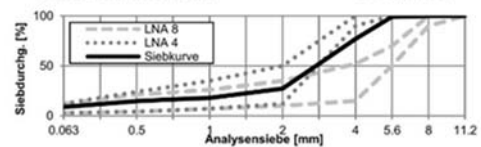
MPD: 0.49 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.6 mm
Gestaltfaktor (g): 84.5 %
 A_{max} : 119.9 μ m
 λ (A_{max}): 8 mm
Längsebenheit: W = 9.5 ‰ / sW = 2 ‰
Querebenheit (Mulde): n.a.
Pendulum test (PTV): 61 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

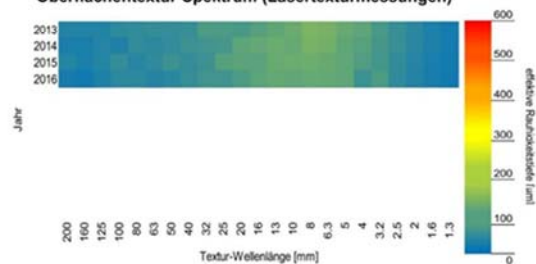
Luftströmungswiderst.: 23785 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 16 Pa*s/m
Wasserdurchlässigkeit: n.a.
Ausflusszeit: n.a.

Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshall) MW: 15.7 % (Vol)
löslicher Bindmittelanteil: 5.7 % (Mass)

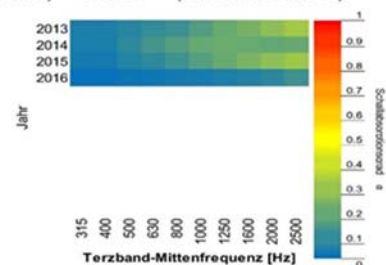


Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.12 (Neuzustand: 0.32)
Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



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

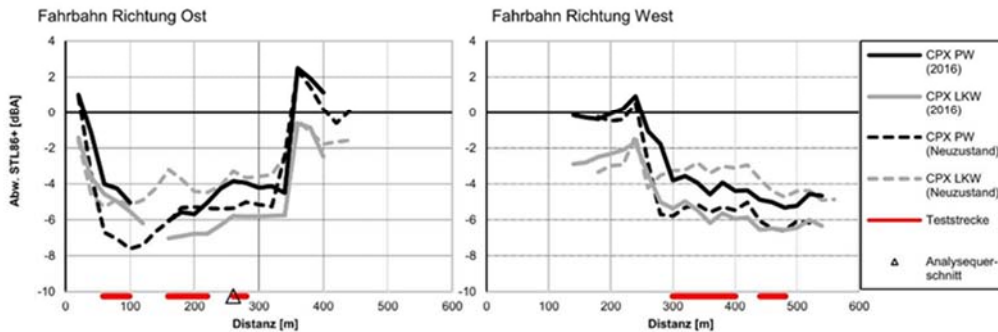
Messungen 2016 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

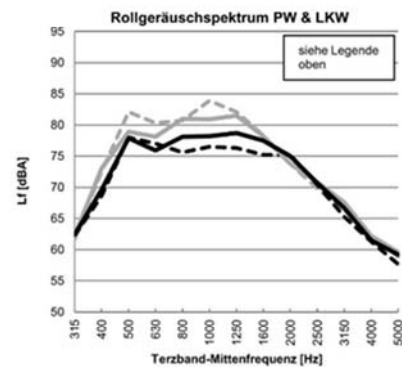
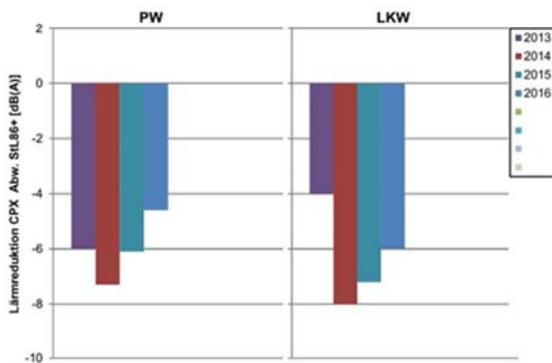
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -4.6 dB(A)
MW (CPXP): 86.4 dB(A)
Std.Abw.: 0.6 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -6 dB(A)
MW (CPXH): 88.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.5 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

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

Rollgeräuschmessungen CPX

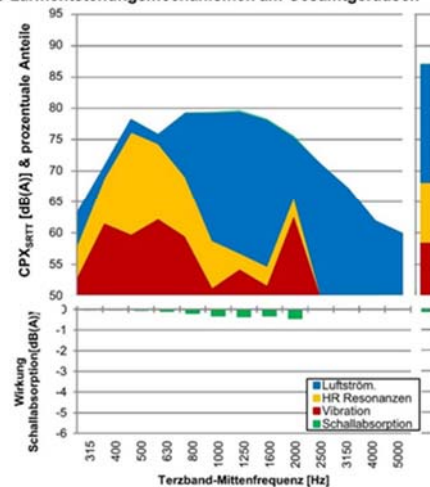
PW: -3.8 dB(A) Abw. StL86+
87 dB(A) CPXP
LKW: -5.8 dB(A) Abw. StL86+
88.4 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

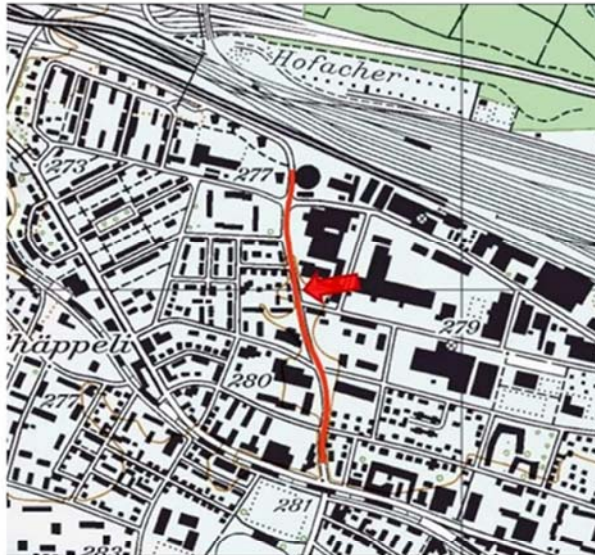
Anteile Lärmenstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 50.8%
-Vibrationsschall: 23.1%
-Hohlraumresonanzen: 26.1%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.4 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0.1 dB(A)

Anteile Lärmenstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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



Messungen 2016 (3 Jahre nach Einbau)

Teststrecke

Einbaudatum: 01.09.2013

Länge: 660 m

Steigung: 2 %

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: SDA 4 HR 8/12 (SDA 4 A)

Bindemittel: n.a.

n.a.

Mineralstoffe: n.a.

n.a.

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, Ebenheit & Griffigkeit

MPD: 0.36 mm

Rauhtiefe (ETD): 0.49 mm

Gestaltfaktor (g): 85 %

A_{max} : 91.1 μ m

λ (A_{max}): 8 mm

Längsebenheit: W = 8 % / sW = 1.8 ‰

Querebenheit (Mulde): 3.1 mm

Pendulum test (PTV): 58 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

Luftströmungswiderst.: 152766 Pa*s/m

Max. Durchfluss: 4.5 Pa*s/m

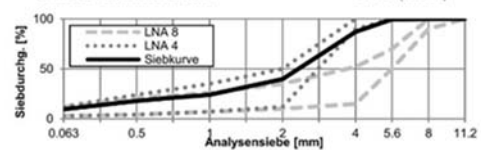
Wasserdurchlässigkeit: n.a.

Ausflusszeit: n.a.

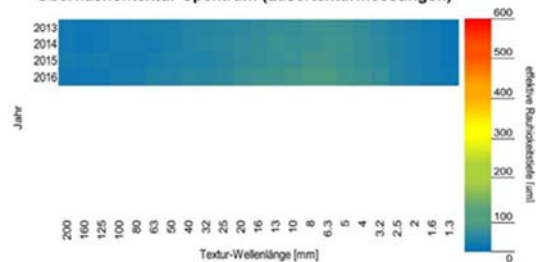
Mischgutuntersuchung

Hohlraumgehalt (Marshal) MW: 8.3 % (Vol)

löslicher Bindmittelanteil: 6.4 % (Mass)



Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)

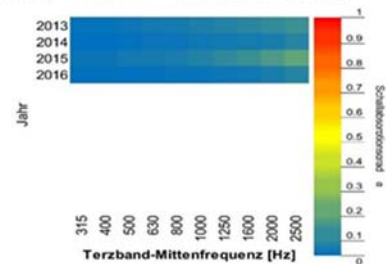


Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max.: 0.08 (Neuzustand: 0.12)

Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



Muttentz BL, Birsfelderstrasse: SDA 4 HR 8/12 (SDA 4 A)

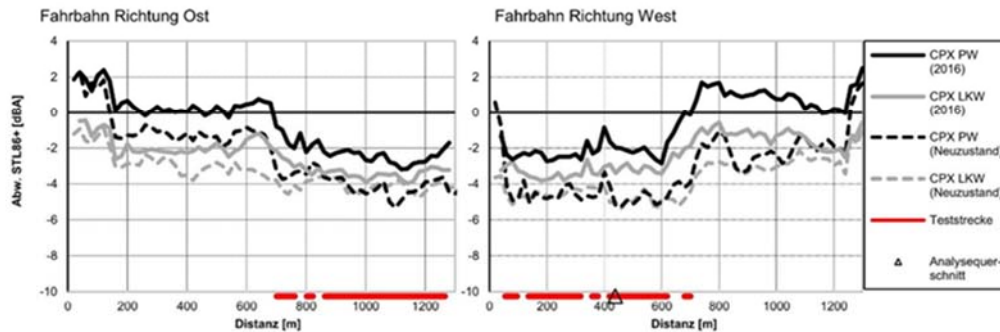
Messungen 2016 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

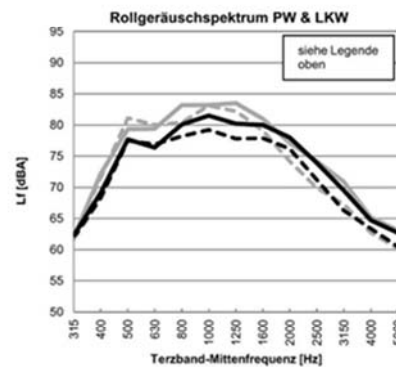
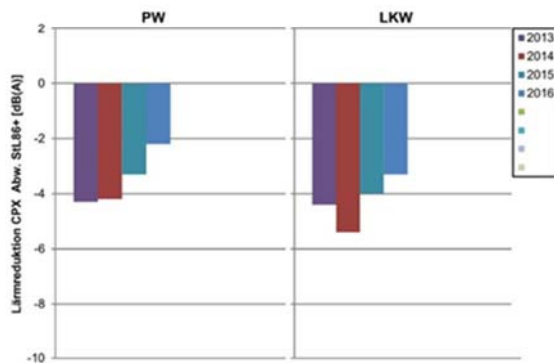
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -2.2 dB(A)
MW (CPXP): 88.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.5 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -3.3 dB(A)
MW (CPXH): 90.2 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

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

Rollgeräuschmessungen CPX

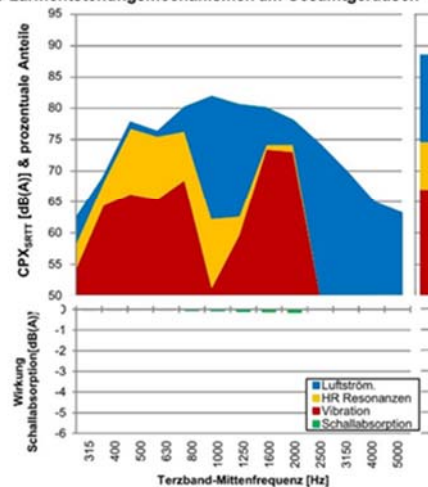
PW: -2 dB(A) Abw. StL86+
88.5 dB(A) CPXP
LKW: -3.4 dB(A) Abw. StL86+
90.2 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

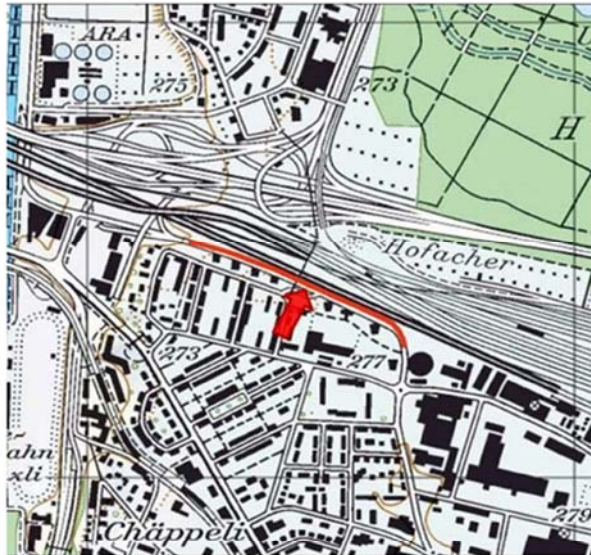
Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 35.8%
-Vibrationsschall: 44.3%
-Hohlraumresonanzen: 19.9%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.1 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



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



Messungen 2016 (3 Jahre nach Einbau)

Teststrecke

Einbaudatum: 01.05.2013
Länge: 520 m
Steigung: 2 %
Durchschn. tägl. Verkehr
DTV SN 640 005a: 12'200 (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: SDA 8 HR 8/12 (SDA 8 A)
Bindemittel: n.a.
Mineralstoffe: n.a.

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, Ebenheit & Griffigkeit

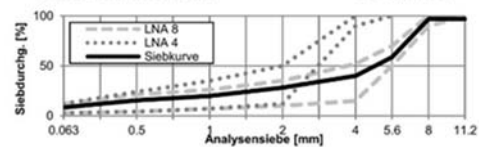
MPD: 0.63 mm
Rauhtiefe (ETD): 0.71 mm
Gestaltfaktor (g): 85.5 %
 A_{max} : 166.3 μ m
 λ (A_{max}): 20 mm
Längsebenheit: $W = 7.3 \text{ ‰} / sW = 1.3 \text{ ‰}$
Querebenheit (Mulde): 0 mm
Pendulum test (PTV): 51 SRT

Luftströmungswiderstand & Wasserdurchlässigkeit

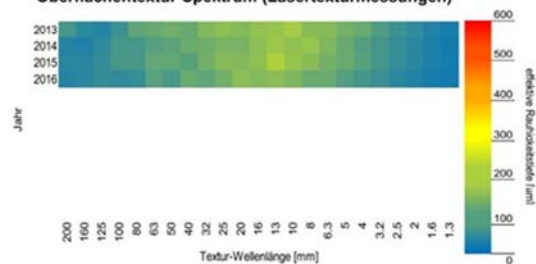
Luftströmungswiderst.: 41573 Pa*s/m
Max. Durchfluss: 10 Pa*s/m
Wasserdurchlässigkeit: n.a.
Ausflusszeit: n.a.

Mischgutuntersuchung

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

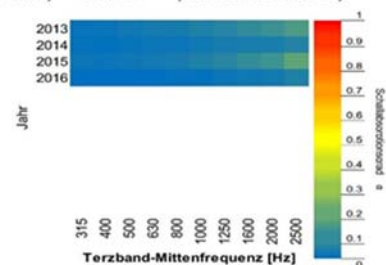


Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



Schallabsorptionsmessungen & Wirkungsanalyse

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)
 α max.: 0.07 (Neuzustand: 0.15)
Frequenz (α max.): 2500 Hz (Neuzustand: 2500 Hz)



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

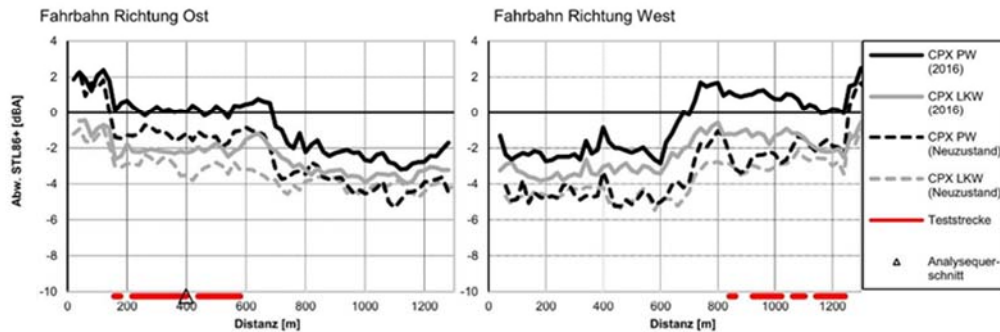
Messungen 2016 (3 Jahre nach Einbau)

Testbelag

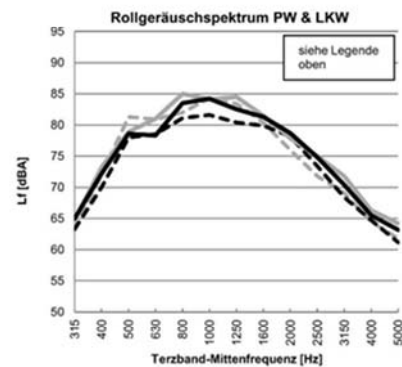
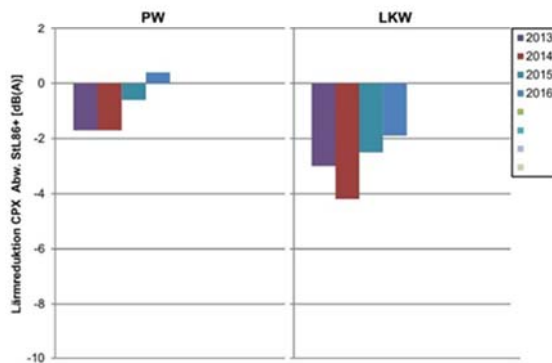
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): 0.4 dB(A)
MW (CPXP): 90.4 dB(A)
Std.Abw.: 0.4 dB(A)

Schwere Fz LKW: MW (Abw. StL86+): -1.9 dB(A)
MW (CPXH): 91.3 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequen-schnitt

Statistische Vorbeifahrtmessungen SPB

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

Rollgeräuschmessungen CPX

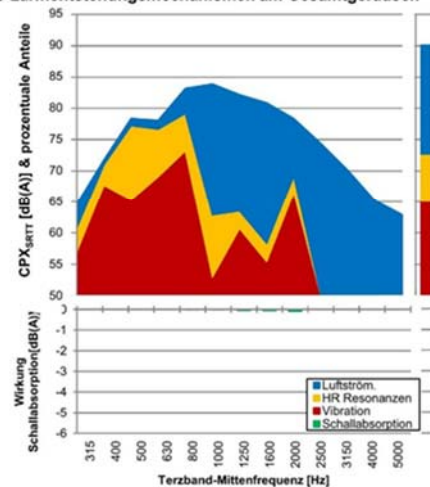
PW: 0 dB(A) Abw. StL86+
90.1 dB(A) CPXP
LKW: -2.3 dB(A) Abw. StL86+
91 dB(A) CPXH

Detaillanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmentstehungsarten am Gesamtgeräusch
-Luftströmungsschall: 43.4%
-Vibrationsschall: 37.7%
-Hohlraumresonanzen: 19.0%

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
-max.: 0.1 dB(A)
-Frequenz (max.): 2000 Hz
-Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Lärmentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



ANHANG C: MESSDATEN OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN

C1: Effektive Rauigkeitstiefe

		Mittlere Rauigkeitstiefe der Testbeläge [mm]					
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			0.18	0.38	0.43	0.51
Visp	SDA 4 HR 8/12	0.55	0.5	0.29	0.36	0.5	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	0.44	0.5	0.43	0.56	0.72	
Lugano	SDA 4 HR 12/16		0.54	0.4	0.56	0.64	
Muri	SDA 4 HR 16/20	0.48	0.59	0.72	0.75	0.81	
Goldach	SDA 4 HR > 20	0.64	0.72	0.64	0.77	1.08	
Basel 1	SDA 4 HR > 20		0.74	0.45	0.68	0.79	
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	0.59	0.66	0.71	0.71	0.81	
Basel 2	SDA 6 HR 12/16		0.73	0.43	0.51	0.58	0.69
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12		0.73	0.76	0.66	0.75	
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		0.73	0.45	0.60	0.77	
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	0.68	0.53	0.66	0.67	0.68	0.82
Näfels	SDA 8 HR 12/16		0.78	0.54	0.79	0.76	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	0.87	1.1	1.05	0.90	0.95	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		0.94	0.47	0.80	0.8	

C2: Maximale Rauigkeitstiefe A_{max}

		A _{max} [µm]					
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			194	78	81.1	98
Visp	SDA 4 HR 8/12	135.9	86.9	138	81	71.5	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	143.1	134.8	144	132	126.2	
Lugano	SDA 4 HR 12/16		164.6	90	129	130.3	
Muri	SDA 4 HR 16/20	150.1	136.1	156	156	169.8	
Goldach	SDA 4 HR > 20	149.9	173.5	141	167	181.6	
Basel 1	SDA 4 HR > 20		177.4	150	140	166.6	
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	154.4	160.1	141	154	183.4	
Basel 2	SDA 6 HR 12/16			148	137	129.7	145
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			73	184	179.4	
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		252.3	198	184	210.6	
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	193.7	199.1	171	174	206.4	204
Näfels	SDA 8 HR 12/16		202.2	201	177	164.1	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	229.5	276.6	222	237	235.5	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		273.3	200	207	217.7	

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

		$\lambda(A_{\max})$ [mm]					
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			6.3	6.3	8	6.3
Visp	SDA 4 HR 8/12	5.0	12.5	25.0	40.0	50	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	6.3	6.3	10.0	10.0	12.5	
Lugano	SDA 4 HR 12/16		6.3	8.0	6.3	8	
Muri	SDA 4 HR 16/20	400.0	6.3	8.0	16.0	16	
Goldach	SDA 4 HR > 20	6.3	6.3	8.0	12.5	16	
Basel 1	SDA 4 HR > 20		160	10.0	6.3	10	
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	5.0	6.3	8.0	8.0	12.5	
Basel 2	SDA 6 HR 12/16			8.0	8.0	10	5
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			10.0	12.5	16	
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		10	12.5	12.5	16	
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	10.0	10	12.5	12.5	16	20
Näfels	SDA 8 HR 12/16		12.5	25.0	20.0	40	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	8.0	10	12.5	12.5	16	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		10	10.0	16.0	16	

C4: Gestaltfaktor g

		Gestaltfaktor g [%]					
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			88	85.5	87.3	86.0
Visp	SDA 4 HR 8/12	85.5	75.5	71.5	71.5	71.0	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	88.7	88.0	83.8	84.1	81.2	
Lugano	SDA 4 HR 12/16		88.4	88.2	82.6	85.6	
Muri	SDA 4 HR 16/20	85.6	81.6	80.9	71.1	81.4	
Goldach	SDA 4 HR > 20	87.1	86.1	81.6	80.6	68.9	
Basel 1	SDA 4 HR > 20		86.3	84.4	83.8	81.4	
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	86.9	87.2	83	83	81.4	
Basel 2	SDA 6 HR 12/16			86.1	87.6	86.2	85.7
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			87.1	85.5	82.9	
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		87.1	88.5	84.2	83.8	
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	87.5	88.2	85.4	83.6	85.0	88.1
Näfels	SDA 8 HR 12/16		87.7	79.1	73.8	77.1	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	85.1	85.2	82.2	77.7	76.0	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		85.1	84	81	77.3	

C5: Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderstand							
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			113445	101146	101802	152766
Visp	SDA 4 HR 8/12	28289	26474	123096	98092	477922	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	86540	59356	59356	34114	47827	
Lugano	SDA 4 HR 12/16		32873	30281	29864	34512	
Muri	SDA 4 HR 16/20	6531	10887	20274	18157	9521	
Goldach	SDA 4 HR > 20	8471	8267	11985	13529	16664	
Basel 1	SDA 4 HR > 20		4137	4971	7838	5964	
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	12182	18778	20633	18566	17597	
Basel 2	SDA 6 HR 12/16			10298	17886	16523	23785
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			6564	21118	24823	
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		43604	43104	60131	31464	
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	25005	45194	41917	24009	27775	41573
Näfels	SDA 8 HR 12/16		29803	45474	69515	149682	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	3136	4540	4264	6885	5794	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		5199	10483	12708	15314	

C6: Wasserdurchlässigkeit

		Wasserdurchlässigkeit [l/min]					
Teststrecke	Mischgutsorte	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Muttenz 2	SDA 4 HR 8/12			n.b	n.b	n.b	n.b
Visp	SDA 4 HR 8/12	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Prilly	SDA 4 HR 8/12	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Lugano	SDA 4 HR 12/16		< 3	n.b	n.b	n.b	
Muri	SDA 4 HR 16/20	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Goldach	SDA 4 HR > 20	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Basel 1	SDA 4 HR > 20		< 3	n.b	n.b	n.b	
Kestenholz	SDA 6 HR 12/16	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Basel 2	SDA 6 HR 12/16			n.b	n.b	n.b	n.b
Muttenz 1	SDA 8 HR 8/12			n.b	n.b	n.b	n.b
Zürich-Oerlikon	SDA 8 HR 8/12		< 3	n.b	n.b	n.b	
Birmenstorf	SDA 8 HR 8/12	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Näfels	SDA 8 HR 12/16		< 3	n.b	n.b	n.b	
Fulenbach	SDA 8 HR 12/16	< 3	< 3	n.b	n.b	n.b	
Yverdon-les-Bains	SDA 8 HR k.A.		< 3	n.b	n.b	n.b	