

Grolimund + Partner AG

Schachenstrasse 5, 4543 Deitingen, T 032 614 01 41
www.grolimund-partner.ch



Beurteilung der akustischen Eigenschaften auf einer Teststrecke mit SDA 4-12 und SDA 4-16 Belag in Subingen

Ihre Kontaktperson: Manuel Kunz
manuel.kunz@grolimund-partner.ch, D +41 31 356 20 17

Amt für Verkehr und Tiefbau AVT Kanton Solothurn
A6839
30. März 2026



Impressum

Projektteam

Tina Saurer
Björn Probst
Manuel Kunz

Version	Datum	Autoren	Beschrieb	Verteiler
V 1.0	30.03.2026	Manuel Kunz	Endfassung	AVT Kt SO

Zusammenfassung

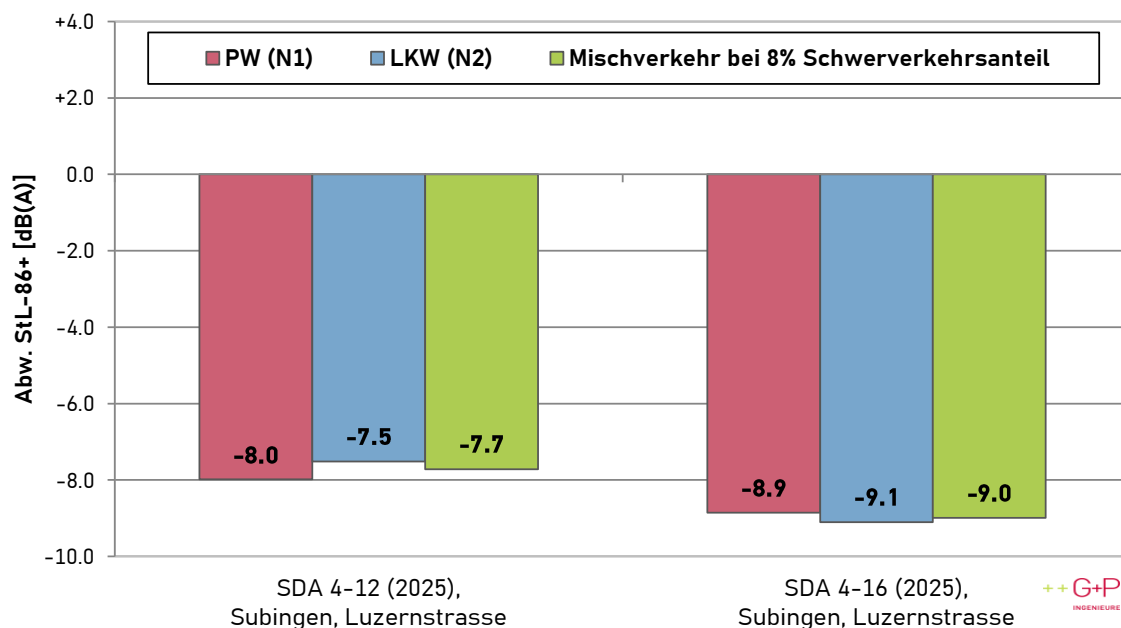
Auftrag

In Subingen im Kanton Solothurn wurden im Jahr 2025 auf einem Abschnitt zwei verschiedene Belagstypen eingebaut. Auf der Fahrbahn in Fahrrichtung West wurde ein SDA 4-12 Belag, in Fahrrichtung Ost ein SDA 4-16 Belag eingebaut. Dabei ist das Ziel, die unterschiedlichen Belagsrezepturen bezüglich ihrer akustischen Wirksamkeit und der Veränderung über die Zeit zu beobachten und zu vergleichen.

Die Gesamtlänge der beurteilten Teststrecke beträgt ca. 560 m

Akustische Wirkung

Im Streckenmittel erreichen die SDA 4 akustische Belagsgütwerte für Mischverkehr mit einem Schwerververkehrsanteil von 8% von -7.7 dB(A) (SDA 4-12) bzw. -9.0 dB(A) (SDA 4-16).



Homogenität

Mit einer Standardabweichung der akustischen Belagsgüte für PW von 0.2 dB(A) und einer maximalen Streuung von 0.7 dB(A), können die gemessenen Beläge als relativ homogen bezeichnet werden.

Erkenntnisse

Die 2025 auf der Luzernstrasse in Subingen eingebauten SDA 4-Beläge (Rezepturen 4-12 und 4-16) erfüllen beide die spezifischen bautechnischen Anforderungen und zeigen sehr gute akustische Eigenschaften. Sie bilden damit eine solide Grundlage, um die akustische Wirksamkeit beider Rezepturen und deren Veränderung über die Zeit zu vergleichen.

30. März 2026

Inhalt

1. Auftrag	5
2. Messstrecke	6
3. Durchführung der Messungen	8
3.1 CPX-Messungen	8
4. Ergebnisse	11
4.1 Ergebnisse der CPX-Messungen.....	11
4.2 Ergebnisse der Bohrkern- und Mischgutuntersuchungen	14
4.3 Ergebnisse der Wirkungsanalyse	18
4.4 Ergebnisse der Acoustic Void Content Analysis (AVCA)	21
5. Schlussfolgerungen	22
6. Kommentare zu den Messergebnissen.....	24

Anhang

I Methoden.....	25
II Erläuterungen zu den Darstellungen und Tabellen	31
III Angaben zu den Messungen und Messgeräten.....	33
IV Schallabsorptionsmessungen.....	34
V Messverfahren Oberflächeneigenschaften	35
VI Analysen Belagsakustik.....	37
VII Übersichtskarten Messungen CPX.....	38
VIII Messprotokolle CPX	41
IX Faktenblatt Wirkungsanalyse.....	45
X Faktenblätter 3D-Textur	49
XI Faktenblätter AVCA	60

1. Auftrag

In Subingen im Kanton Solothurn wurden im Jahr 2025 auf einem Abschnitt 2 verschiedene Belagstypen eingebaut. Auf der Fahrbahn in Fahrrichtung West wurde ein SDA 4-12 Belag, in Fahrrichtung Ost ein SDA 4-16 Belag eingebaut. Auf beiden Belägen wurden im Jahr 2025 CPX-Messungen, Wirkungsanalysen, 3D-Oberflächentexturmessungen, AVCA-Analysen sowie Mischgut- und Bohrkernuntersuchungen durchgeführt und miteinander verglichen. Dabei ist das Ziel, die unterschiedlichen Belagsrezepturen bezüglich ihrer akustischen Wirksamkeit und der Veränderung über die Zeit zu beobachten und zu vergleichen.

Die Ergebnisse der Messungen vom August und September 2025 werden im vorliegenden Bericht präsentiert.

30. März 2026

2. Messstrecke

In der nachfolgenden Abbildung ist die geografische Lage der Messstrecke dargestellt. In der zugehörigen Tabelle ist die CPX-Messstrecke mit den gemessenen Belagstypen, deren Einbaujahr sowie der jeweiligen Abschnittlänge aufgelistet.

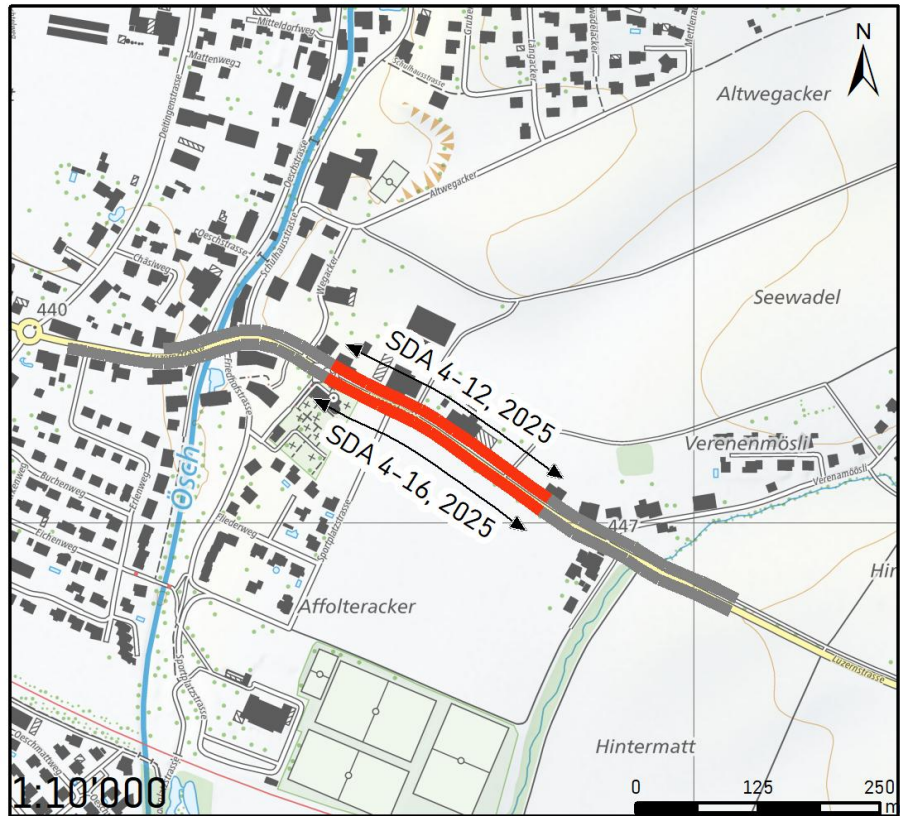


Abbildung 1: Geografische Lage der Messstrecke

Die Gesamtlänge der beurteilten Teststrecke beträgt ca. 560 m. Gemessen wurde in zwei Richtungen.

Tabelle 1: Belagsdaten und Streckenlängen der gemessenen Belagsabschnitte

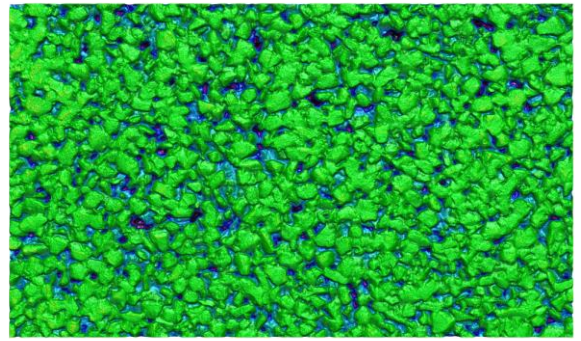
Ort	Belag	Einbaujahr	Länge [m]
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-12	2025	280
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-16	2025	280

SDA 4-12 (2025), Subingen, Luzernstrasse

Belagsfoto



3D-Texturaufnahme



SDA 4-16 (2025), Subingen, Luzernstrasse

Belagsfoto



3D-Texturaufnahme

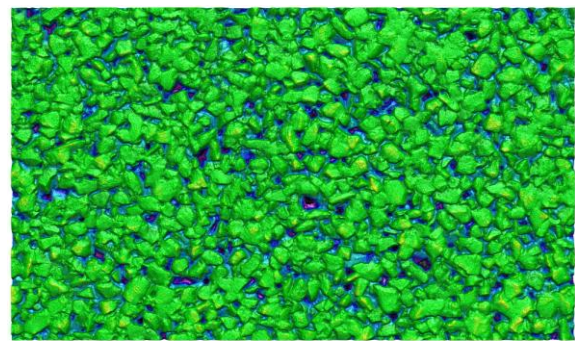


Tabelle 2: Foto und 3D-Texturaufnahme des Belagszustands zum Zeitpunkt der CPX-Messung

3. Durchführung der Messungen

3.1 CPX-Messungen

Die Messungen wurden mit einer Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h durchgeführt. Pro Reifentyp wurden mindestens drei Messfahrten vorgenommen. Bei zwei Reifentypen (PW und LKW) entspricht dies mindestens sechs Messfahrten pro Fahrspur.

3.1.1 Zeitpunkt der Messungen

Die Messfahrten wurden am Dienstag, den 19.08.2025 zwischen 07:00 und 09:00 Uhr absolviert.

3.1.2 Witterung

Zum Zeitpunkt der Messungen war es im Bereich der Messstrecke windstill und niederschlagsfrei. Die Fahrbahn war trocken. Es herrschten Lufttemperaturen zwischen 16°C und 17°C (Messung auf 1.5 m Höhe).

3.1.3 Störgeräusche

Besondere Störgeräusche, beispielsweise durch besonders laute Vorbeifahrten von LKWs, Traktoren oder durch verkehrende Flugzeuge etc., traten während den Messungen nicht auf.

3.1.4 Kalibrierung

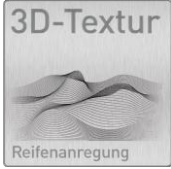
Die akustischen Messgeräte wurden vor Beginn der Messungen mit dem Akustikkalibrator kalibriert. Die Kalibrierung wurde in Messpausen und am Ende der Messungen wiederholt und überprüft. Dabei ergaben sich keine Abweichungen.

3.1.5 Besonderheiten

Es ist zu beachten, dass Kurvenfahrten gegenüber der Geradeausfahrt zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen können. Der Einfluss von Kurven mit grossen Radien auf die Mittelwerte der einzelnen Belagsabschnitte ist in der Regel gering. Messsegmente, bei denen Kurveneinflüsse deutlich erkennbar sind, wurden bei der akustischen Beurteilung der Belagsabschnitte nicht berücksichtigt.

Fahrbahnsegmente auf denen Störeinflüsse durch das Überrollen von Schachtdeckel, Fahrbahnunebenheiten, Bahngleisen, Fussgängerstreifen und andere Fahrbahnmarkierungen auftraten, wurden von der Belagsbeurteilung ausgeschlossen.

Wirkungsanalysen und Acoustic Void Content Analysis (AVCA)

Messverfahren	Zeitpunkt der Messungen	Witterung / Besonderheiten	Anzahl Messungen
Reifen-Fahrbahn-Geräusche CPX 	19.08.2025	sonnig, ca. 17°C	- je 3 Messfahrten pro Teststreifen P1 und H1 und Fahrspur flächendeckend über ganzen Streckenverlauf
Schallabsorption 	29.09.2025	sonnig, ca. 17°C	- je 6 Messungen in der rechten Radspur pro Analysesequenzschnitt
Oberflächentextur 	29.09.2025	sonnig, ca. 17°C	- fünf Messungen pro Fahrbahn, in der rechten Radspur
Luftströmungswiderstand 	19.09.2025	Lufttemp: 14.5 °C Bodentemp: 15.2°C Rel. Luftfeuchtigkeit: 85.0%	- je eine Messung (à 3 Wiederholungen) in der rechten Radspur pro Analysesequenzschnitt
Wirkungsanalysen (Modellierung) 			- eine Modellierung pro Analysesequenzschnitt
AVCA 	Bohrkernentnahme 19.09.2025		- ein Bohrkern pro Belag → insgesamt 2 Bohrkern

30. März 2026

3.1.6 Standorte der durchgeführten Messungen

Die nachfolgende Tabelle 3 beinhaltet die Standorte, an denen die obengenannten Messungen (Schallabsorption, Oberflächentextur, Luftströmungswiderstand und die Bohrkernentnahme für AVCA) durchgeführt worden sind. Die Standorte wurden so ausgewählt, dass sie möglichst repräsentativ für den jeweiligen Belagsabschnitt sind. Grundlage dafür war die visuelle Begutachtung der Messstrecke als auch die Ergebnisse der CPX-Messungen. Abbildung 2 zeigt die Position der beiden Standorte.

Tabelle 3: Standorte der Wirkungs- und AVCA-Analyse

Ort	Belag	Einbaujahr	Koordinaten		Fahrrichtung	Entnahme- / Messort
			X	Y		
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-12	2025	2613773	1227071	West	Rechte Radspur
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-16	2025	2613774	1227065	Ost	Rechte Radspur

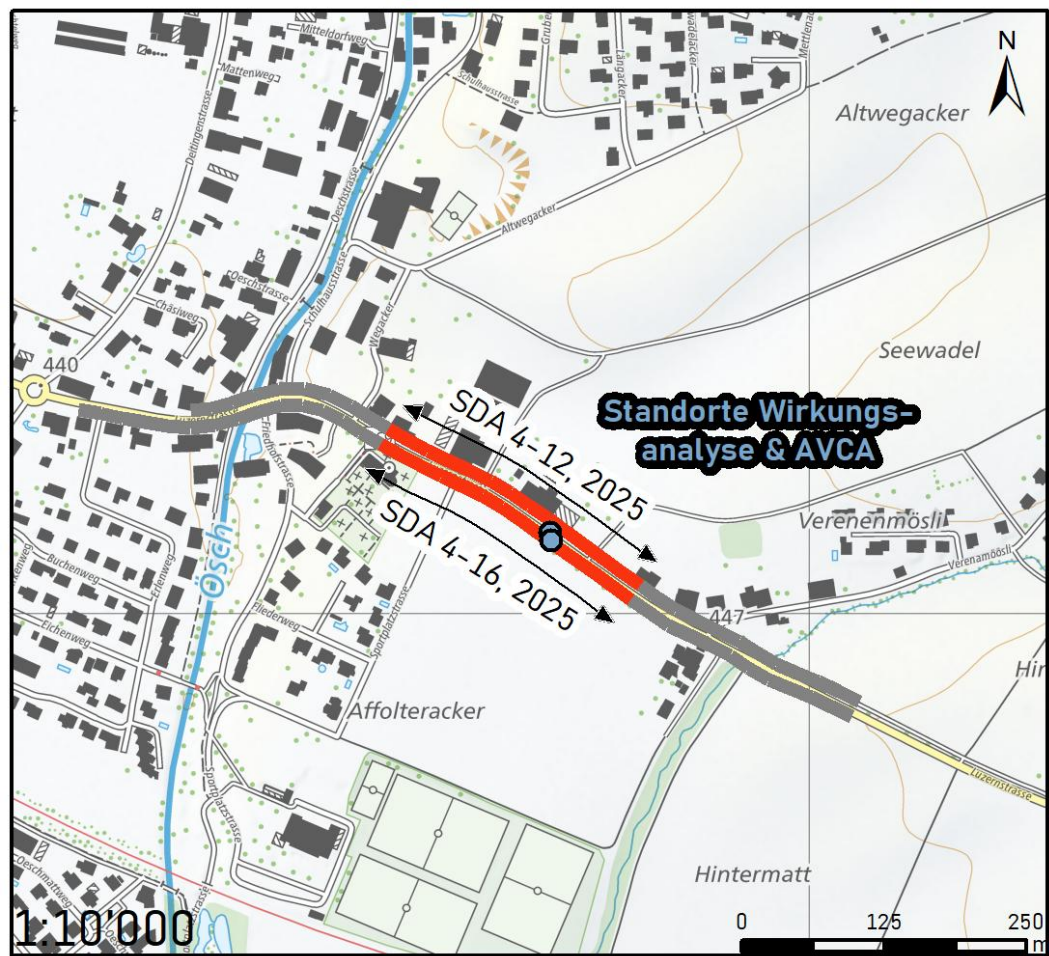


Abbildung 2: Übersichtskarte Messstrecke inklusive der Standorte für die Wirkungsanalyse und AVCA

30. März 2026

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Messergebnisse dokumentiert und kommentiert.

4.1 Ergebnisse der CPX-Messungen

In Anhang VII befinden sich die Übersichtspläne mit den CPX-Messergebnissen pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+. Anhang VIII enthält die Messprotokolle pro Fahrspur in beiden Richtungen.

4.1.1 Belagsgütwerte in Abweichung zum Modell StL-86+

Die nachfolgende Tabelle 4 enthält die mittels Regressionsmodell umgerechneten Belagsgütwerte in Abweichung zum Modell StL-86+. Es handelt sich hierbei um arithmetische Belagsgütemittelwerte, welche über alle Messwerte beider Fahrtrichtungen ermittelt werden.

Tabelle 4: CPX-Streckenmittelwerte pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+

Ort	Belag	Einbaujahr	Belagsgütwerte Abw. StL-86+ [dB(A)]		Mischverkehr bei 8% Schwer- verkehrsanteil [dB(A)]
			PW (N1)	LKW (N2)	
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-12	2025	-8.0	-7.5	-7.7
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-16	2025	-8.9	-9.1	-9.0

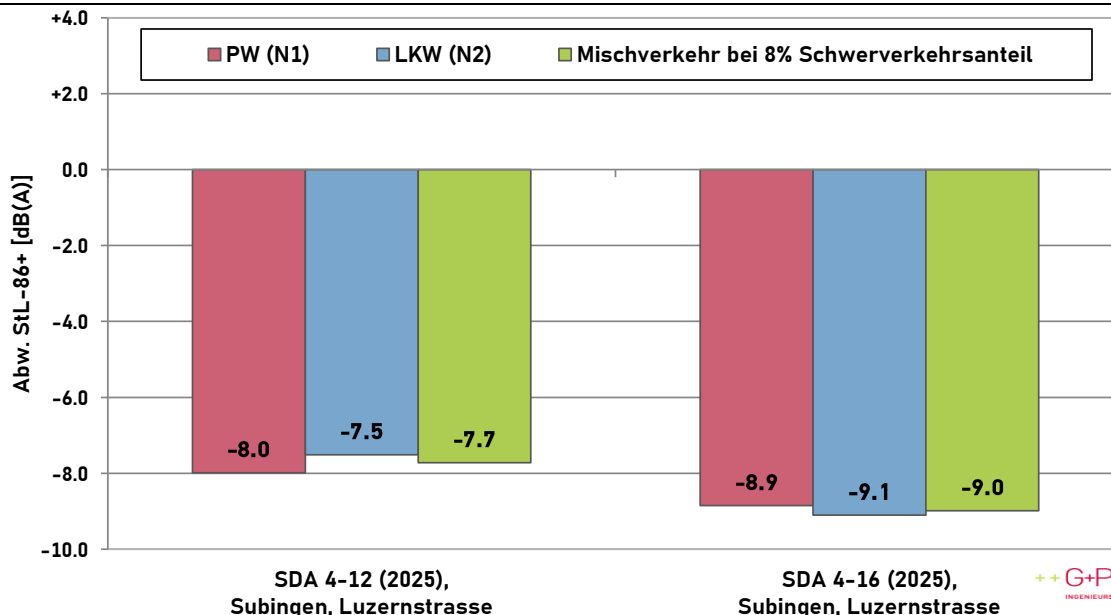


Abbildung 3: Grafische Darstellung der CPX-Streckenmittelwert pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+

Kommentar:

- Im Streckenmittel erreicht der SDA 4-12 Belag akustische Belagsgütwerte von -8.0 dB(A) für PW und -7.5 dB(A) für LKW in Abweichung zum Modell StL-86+. Der SDA 4-16 Belag weist mit -8.9 dB(A) für PW und -9.1 dB(A) für LKW leichte bessere akustische Belagsgütwerte auf.
- Im Streckenmittel erreichen die Beläge akustische Belagsgütwerte für Mischverkehr mit einem Schwerverkehrsanteil von 8% von -7.7 dB(A) (SDA 4-12) bzw. -9.0 dB(A) (SDA 4-16).

30. März 2026

4.1.2 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der CPX-Belagsgütewerte der beurteilten Strecken sind in Abbildung 4 mithilfe von Boxplots dargestellt (für Erläuterungen zur Darstellung siehe Anhang II). Die Beurteilung bezieht sich auf die jeweiligen Belagsabschnitte ohne Störeinflüsse (Markierung, Schachtdeckel, etc.). In den Boxplots sind der Median, die 25%- und 75%-Quantile (Box) sowie das 5%-Quantil und das 95%-Quantil (Whiskers) für Personenwagen (PW, N1) und Lastwagen (LKW, N2) aufgezeigt. Zum Vergleich und zum Einordnen der gemessenen Belagsgütewerte einer Messstrecke wird ein Boxplot aller bisher durch G+P AG mittels CPX-Verfahren gemessenen Beläge (lärmmarm und konventionell) im Innerortsbereich herangezogen, der sich auf eine Gesamtstrecke von etwa 23400 km bezieht.

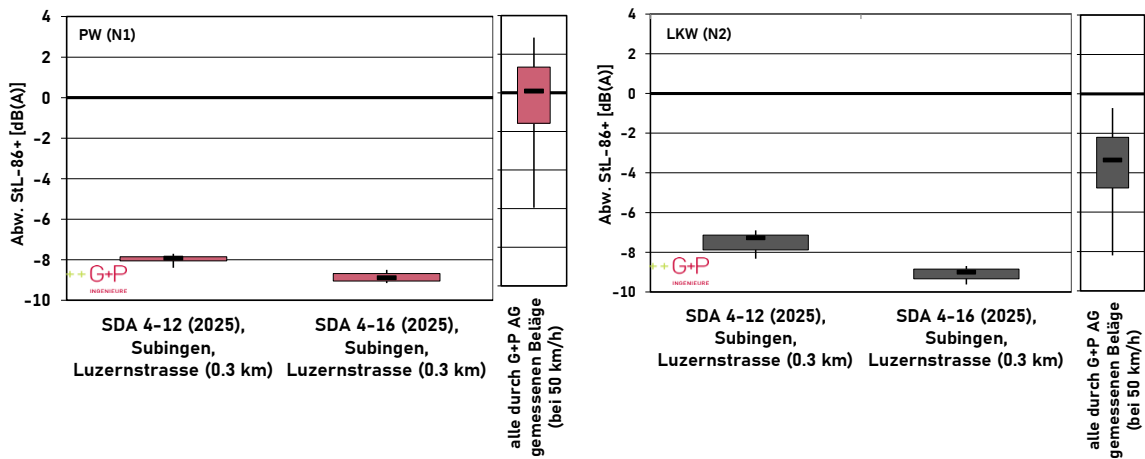


Abbildung 4: Statistische Verteilung (Boxplots) der akustischen Belagsgütewerte pro Fahrzeugkategorie in Abweichung zum Modell StL-86+. Zum Vergleich ist die Verteilung aller bisher durch G+P AG in der Schweiz im Innerortsbereich gemessenen Beläge (ca. 23400 km) dargestellt.

Tabelle 5: Referenzwerte zur statistischen Verteilung der akustischen Belagsgütewerte für PW und LKW in Abweichung zum Modell StL-86+

Belag (Einbaujahr), Ort	PW (N1)				LKW (N2)			
	Abw. StL-86+ [dB(A)]				Abw. StL-86+ [dB(A)]			
	Q ₀₅ '	Q ₉₅ "	Med'''	σ''''	Q ₀₅ '	Q ₉₅ "	Med'''	σ''''
SDA 4-12 (2024), Subingen, Luzernstrasse	-8.4	-7.7	-7.9	0.2	-8.3	-6.9	-7.3	0.5
SDA 4-16 (2024), Subingen, Luzernstrasse	-9.2	-8.5	-8.9	0.2	-9.6	-8.7	-9.0	0.3

' 5%-Quantil
" 95%-Quantil
''' Median
'''' Standardabweichung

Kommentar:

- Während die Streuung (Streuung = Q95 - Q05) der beiden Beläge für PW gleich gross ist, weist der SDA 4-12 für LKW eine leicht grössere Streuung auf.
- Mit einer Standardabweichung der akustischen Belagsgüte für PW von 0.2 dB(A) und einer maximalen Streuung von 0.7 dB(A), können die gemessenen Beläge als relativ homogen bezeichnet werden.

4.1.3 Frequenzanalyse Reifen-Fahrbahn-Geräusch

Abbildung 5 enthält die Frequenzanalyse des Rollgeräuschpegels aus den CPX-Messungen für PW-Reifen und LKW-Reifen (Erläuterungen zur Darstellung siehe Anhang II). Es handelt sich hierbei um Streckenmittelwerte, die im Vergleich zu einem weitverbreiteten Standardbelag als Referenz (SMA 11 Belag, ein Jahr nach Einbau) in der Grafik aufgetragen sind.

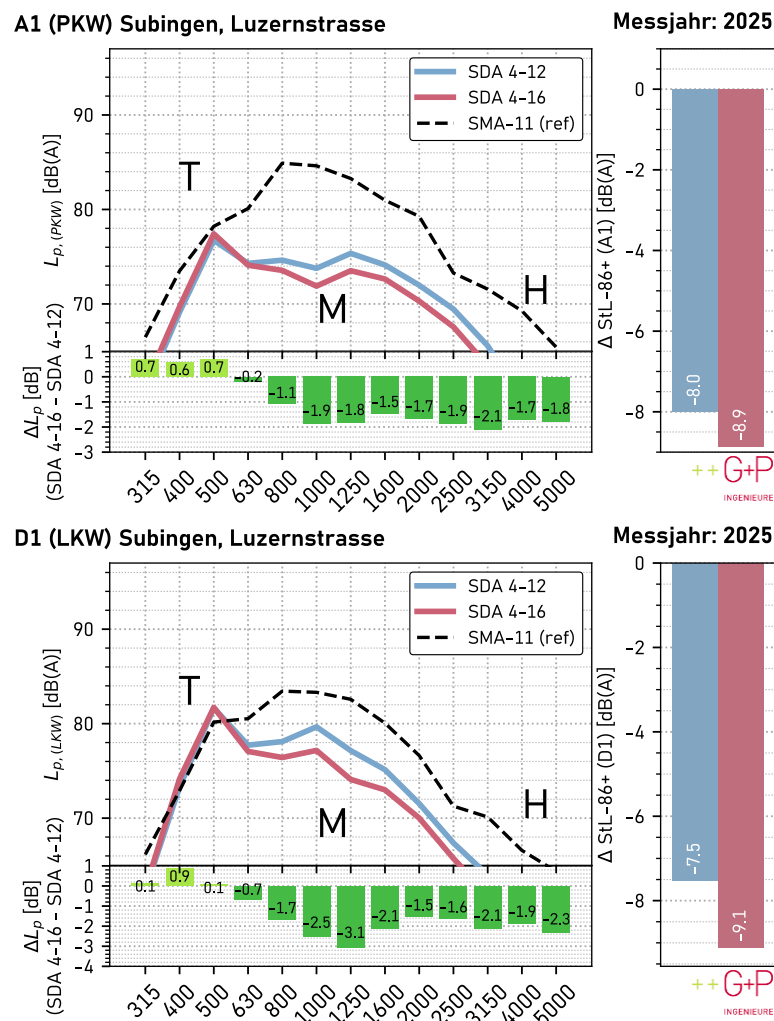


Abbildung 5: Frequenzanalyse der CPX-Messungen für PW-Reifen und LKW-Reifen in dB(A) (Mittelwert pro Belagstyp)

Kommentar:

- Die Reifen-Fahrbahn-Geräusche werden für PW bei beiden Belägen im Vergleich zur Referenz (SMA 11 Belag) im mittleren (M) und hohen (H) Frequenzbereich deutlich reduziert. Zusätzlich ist auch eine Reduktion im tiefen (T) Frequenzbereich zu beobachten, was auf eine feine Oberfläche hindeutet. Für LKW werden die Reifen-Fahrbahn-Geräusch hauptsächlich im mittleren und hohen Frequenzbereich reduziert.
- Beim Vergleich der beiden Beläge wird ersichtlich, dass der SDA 4-16 die Reifen-Fahrbahn-Geräusch im mittleren bis hohen Frequenzbereich noch etwas stärker reduziert als der SDA 4-12.

4.2 Ergebnisse der Bohrkern- und Mischgutuntersuchungen

4.2.1 Mischgutuntersuchungen

In der folgenden Abbildung 6 sind die Siebkurven der Mischgutuntersuchungen dargestellt. In der Norm wird nicht zwischen -12 und -16 SDA 4 Belägen unterschieden, es gibt lediglich einen Normbereich für alle SDA 4 Beläge.

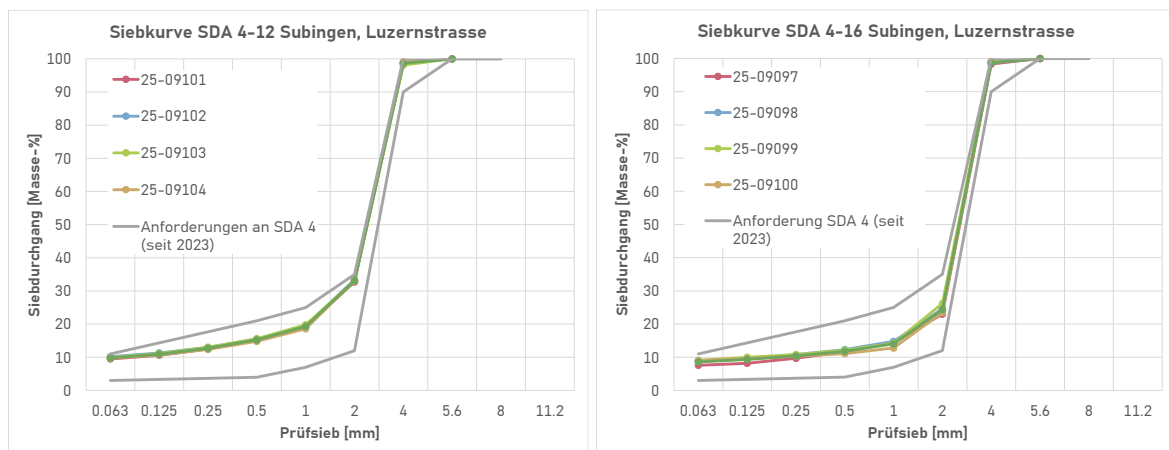


Abbildung 6: Siebkurven der Mischgutuntersuchungen für den SDA 4-12 (links) und den SDA 4-16 Belag (rechts)

Kommentar

- Wie in der Abbildung ersichtlich, werden die von der Norm VSS 40 436:2022 vorgegebenen Sieblinien bei beiden Belägen bei allen Korngrößen eingehalten. Pro Belag lagen vier Mischgutuntersuchungen vor: Generell zeigt sich, dass bei beiden Belägen zwischen den vier Mischgutuntersuchungen praktisch keine Unterschiede bestehen. Die Mischgutzusammensetzung der beiden Beläge ist somit sehr homogen.
- Beim Vergleich der beiden Beläge fällt auf, dass beim SDA 4-12 der Sandanteil (2 mm) mit durchschnittlich ca. 33% höher liegt als beim SDA 4-16 mit durchschnittlich ca. 24%. Der erhöhte Sandanteil führt dazu, dass der Akustik-Faktor¹ (2x Füller + Sand) für den SDA 4-12 höher ausfällt (52.7) als beim SDA 4-16 (41.5). Somit liegt der Akustik-Faktor des SDA 4-16 Belages im Bereich, welcher für ein zugängliches Porenkonstrukt empfohlen wird (Akustik-Faktor < 42). Im Gegensatz dazu liegt der Akustik-Faktor des SDA 4-12 Belages leicht über dem empfohlenen Bereich. Die neuesten Forschungsergebnisse zeigen, dass unter Berücksichtigung zusätzlicher Anforderungen ein Akustik-Faktor bis 47 möglich ist. Auch in diesem Fall würde der Akustik-Faktor den empfohlenen Maximalwert jedoch übersteigen.
- In Abbildung 7 auf der nächsten Seite wird der gemessene Hohlraumgehalt pro Mischgutuntersuchung des SDA 4-12 Belages (oben) und des SDA 4-16 Belages (unten) dargestellt. Der rote Bereich markiert den Anforderungsbereich. Hier unterscheiden sich die Anforderungen bezüglich des Belagstyps: Während für einen SDA 4-12 Belag der Anforderungsbereich für Einzelwerte an den Hohlraumgehalt 10–14 Vol.-% liegt, befindet sich dieser Bereich für einen SDA 4-16 Belag zwischen 14–18 Vol.-%.

¹ Schlatter, 2023, <https://www.bafu.admin.ch/dam/de/sd-web/BNKKL3MvzYwg/praezisierung-ausfuehrungsbestimmungen-akustik-sda-belaege-2022.pdf>

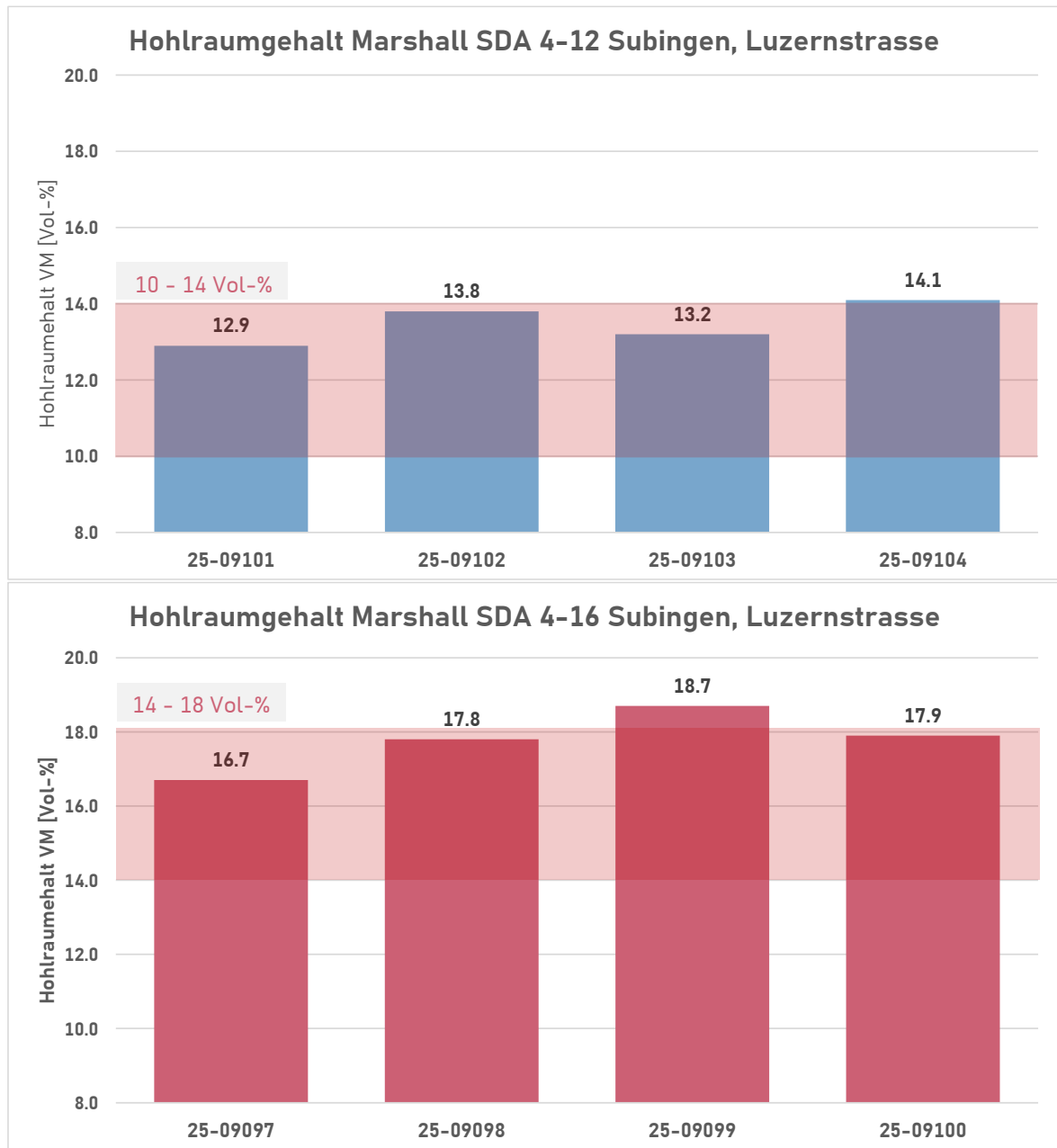


Abbildung 7: Hohlraumgehalt am Marshallprüfkörper der Mischgutuntersuchungen des SDA 4-12 (oben) und des SDA 4-16 (unten) Belags

Kommentar

- In Abbildung 7 wird ersichtlich, dass sich der Hohlraumgehalt für alle Mischgutuntersuchungen beider Beläge grösstenteils knapp in oder leicht über den jeweiligen Anforderungsbereichen befinden.

30. März 2026

4.2.2 Bohrkernuntersuchungen

Die folgenden Abbildungen zeigen die drei Parameter (Hohlraumgehalt, Verdichtungsgrad und Schichtdicke) der Bohrkernuntersuchung. Pro Belag wurden jeweils vier Bohrkern entnommen. Zusätzlich wurde der gemäss Norm VSS 40 430 zu erfüllende Anforderungsbereich (Minimum und Maximum) für Einzelwerte markiert.

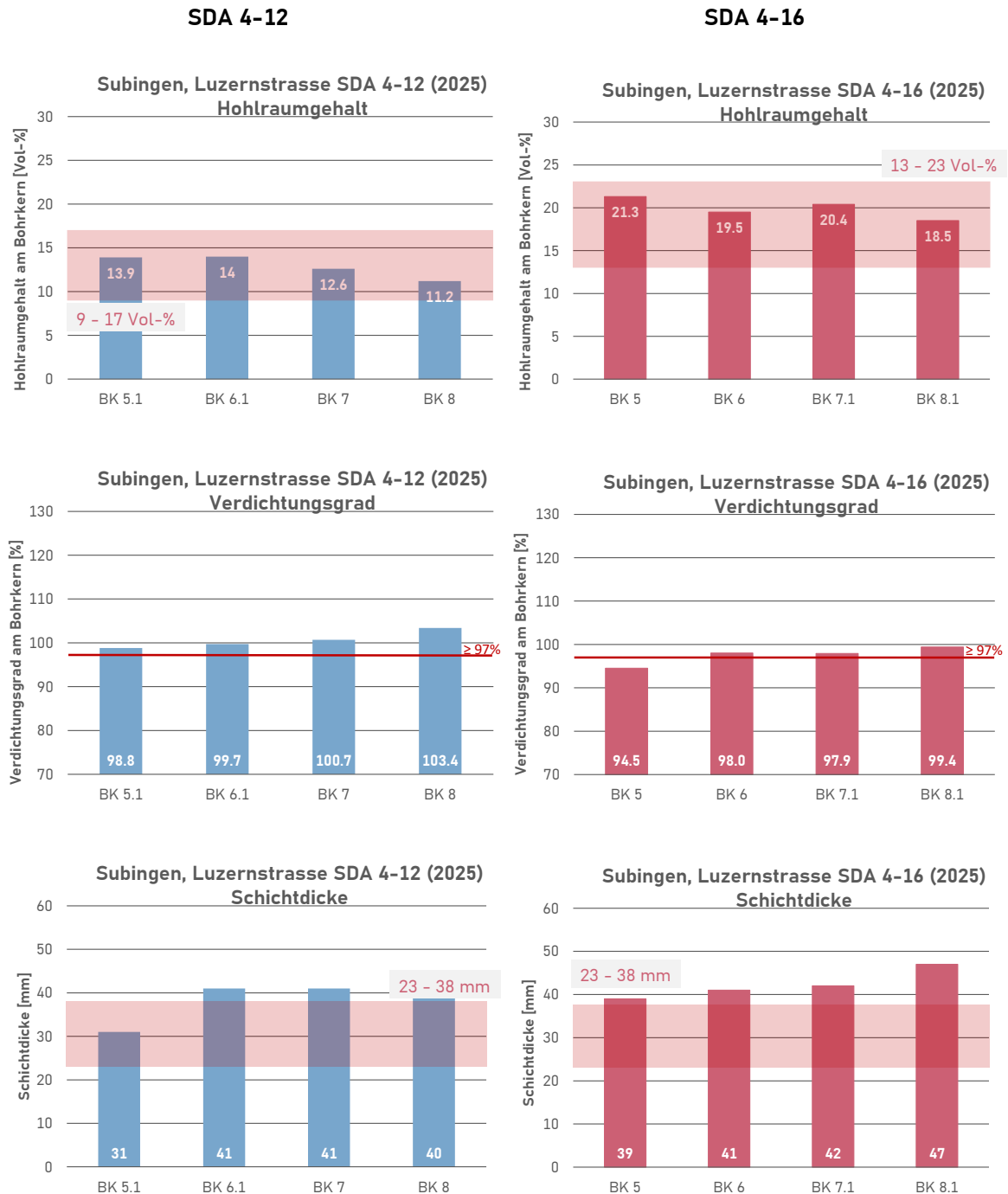


Abbildung 8: Resultate der Bohrkernuntersuchungen

Kommentare:

- **Hohlraumgehalt:** Für den SDA 4-12 Belag liegt der Hohlraumgehalt aller Bohrkern im Anforderungsbereich (9-17 Vol-%). Beim SDA 4-16 Belag liegen ebenfalls alle entnommenen Bohrkern im Anforderungsbereich (13-23 Vol-%).
- **Verdichtungsgrad:** Alle 4 Bohrkern des SDA 4-12 Belags erfüllen die Anforderung an den Verdichtungsgrad ($\geq 97\%$). BK8 weist mit 103.4% jedoch einen eher hohen Verdichtungsgrad auf. Beim SDA 4-16 wird die Anforderung an den Verdichtungsgrad bei 3 von 4 Bohrkernen erfüllt. Einzig der Bohrkern 5 erfüllt die Anforderung mit 94.5% nicht.
- **Schichtdicke:** Generell zeigt sich, dass die entnommenen Bohrkern Schichtdicken die leicht über dem Anforderungsbereich (23-38 mm) zu liegen kommen, aufweisen. Einzig bei BK 5.1 des SDA 4-12 Belags wird die Anforderung erfüllt.

30. März 2026

4.3 Ergebnisse der Wirkungsanalyse

Um die Eigenschaften der eingebauten Beläge besser zu verstehen, wurde auf den beiden SDA 4 Belägen in Subingen je eine Wirkungsanalyse durchgeführt. Mit den Wirkungsanalysen werden die oben dokumentierten CPX-Messungen durch weitere Messungen ergänzt, sodass die Wirkung der Beläge auf die Schallentstehungsmechanismen aus der Textur- und der Hohlraumstruktur besser verstanden werden können. Die dafür verwendeten Messverfahren sind im Anhang IV & V detailliert beschrieben. Im Anhang IX sind die Messgrößen praktisch auf einem Faktenblatt «Wirkungsanalyse» zusammengefasst.

4.3.1 Oberflächenbeschaffenheit

In der folgenden Tabelle 6 sind die Oberflächeneigenschaften der Testbeläge bezüglich Textur und Luftströmungswiderstand zusammengefasst. Zusätzlich zeigt Abbildung 9 diese Ergebnisse grafisch pro Parameter und Belag. Der graue Bereich markiert die Erfahrungswerte für einen SDA 4 Belag im Neuzustand.

Tabelle 6: Resultate der Messung und Erfahrungswerte Oberflächentextur und Luftströmungswiderstand

Belag	Einbaujahr	MPD [mm]	Amax [μm]	λ[Amax] [mm]	Gestaltfaktor g[%]	Luftströmungsw. R_s^* [Pa*s/m]
SDA 4-12	2025	0.56	133.8	5	80.7	15'174
SDA 4-16	2025	0.61	138.3	4	78.3	3'202
Erfahrungswerte SDA 4	Neuzustand	0.35-0.45	130-170	4-6.3	>85	< 15'000

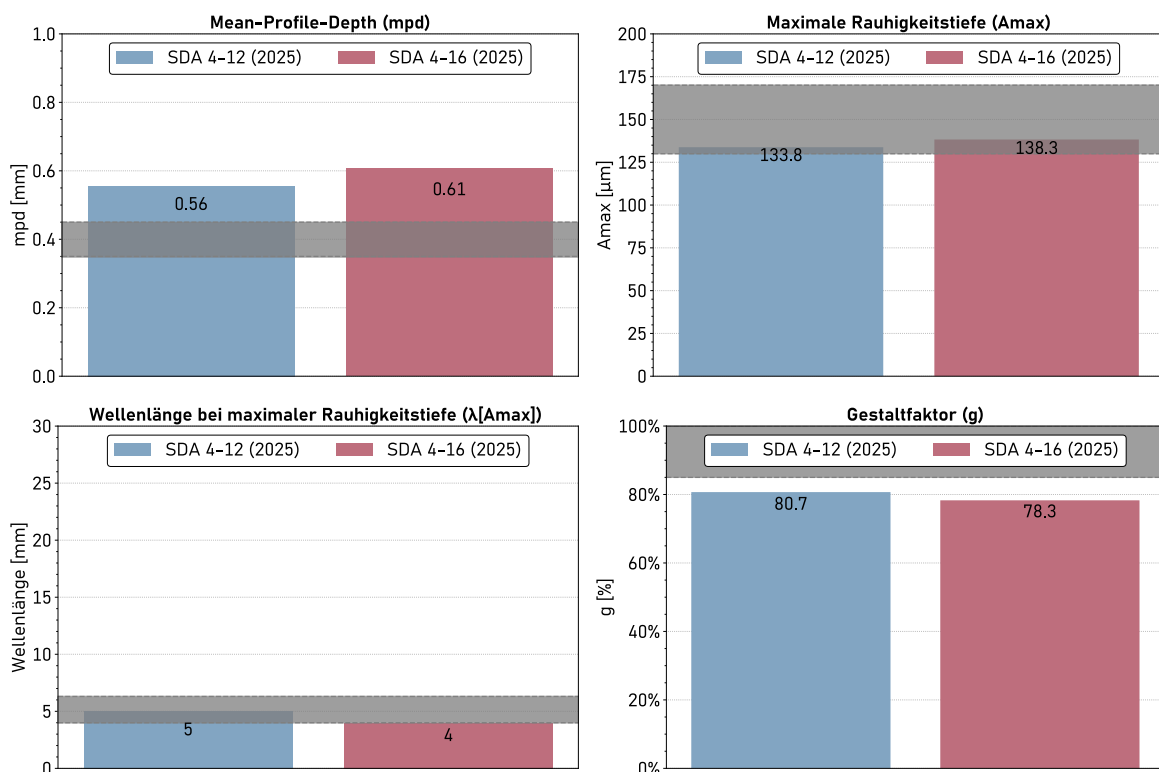


Abbildung 9: Grafische Darstellung der Resultate der Oberflächentextur (der graue Bereich markiert die Erfahrungswerte für SDA 4 Beläge im Neuzustand).

Kommentar Oberflächentextur:

- **Mittlere Profiltiefe (mean profile depth, mpd):** Die mittlere Profiltiefe ist ein Mass für die Feinheit der Oberfläche. Der Erfahrungswert für die mittlere Profiltiefe von SDA 4 Belägen im Neuzustand liegt zwischen 0.35 und 0.45 mm. In Tabelle 6 und Abbildung 9 wird ersichtlich, dass die mittlere Profiltiefe der beiden Beläge leicht über dem Erfahrungswert liegt.
- **Maximale Rauigkeitstiefe (Amax) und Wellenlänge bei maximaler Rauigkeitstiefe $\lambda(A_{max})$:** Die Ergebnisse der beiden Beläge für den Parameter $\lambda(A_{max})$ liegen innerhalb der Erfahrungswerte für SDA 4 Beläge. Die maximale Rauigkeitstiefe (Amax) liegt bei beiden Belägen ebenfalls im Erfahrungsbereich für neue SDA 4 Beläge.
- **Gestaltfaktor (g):** Hohe Gestaltfaktoren bei SDA 4 Belägen sind gewünscht, da sie eine akustisch günstige Oberfläche durch Täler charakterisieren. Dies führt zur Verminderung der Schwingungsanregung des Reifens sowie zu einer guten Entlüftung beim Abrollen des Reifens. Mit 80.7% (SDA 4-12) und 78.3% (SDA 4-16) liegen die Gestaltfaktoren nur leicht unter dem Erfahrungswert für SDA 4 Beläge im Neuzustand.

Kommentar Luftströmungswiderstand:

- Der spezifische Luftströmungswiderstand beschreibt, wie einfach die Luft aus der Kontaktzone Reifen-Fahrbahn entweichen oder hineingesogen werden kann. Je niedriger der Luftströmungswiderstand, desto einfacher kann dies geschehen, was gleichzeitig zu einer Abnahme des Luftströmungsschalls führt. Ein verbesserter Luftströmungswiderstand kann durch eine Optimierung der Oberflächentextur (mit einem gewissen Mass an Oberflächenrauheit) oder durch das Vorhandensein von untereinander verbundenen Hohlraumporen im Strassenbelag erreicht werden.
- Die Ergebnisse der Luftströmungswiderstandsmessung zeigen, dass die Werte für den SDA 4-12 Belag knapp über dem Erfahrungsbereich für SDA 4 Beläge liegen. Der SDA 4-16 weist hingegen einen deutlichen geringeren Wert auf als der SDA 4-12.

4.3.2 Schallentstehungsmechanismen

Die folgende Zusammenstellung (Abbildung 10) zeigt die modellierten Schallentstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch für beide Beläge. Folgende Beiträge der einzelnen Lärm-entstehungsarten wurden berechnet (siehe Farbcodierung für die anteilmässigen Beiträge der Lärm-entstehungsmechanismen zu den Schallpegeln). Im unteren Diagrammteil ist jeweils die lärmreduzierende Wirkung durch Schallabsorption dargestellt (weitere Beschreibungen zum Messverfahren in Anhang IV).

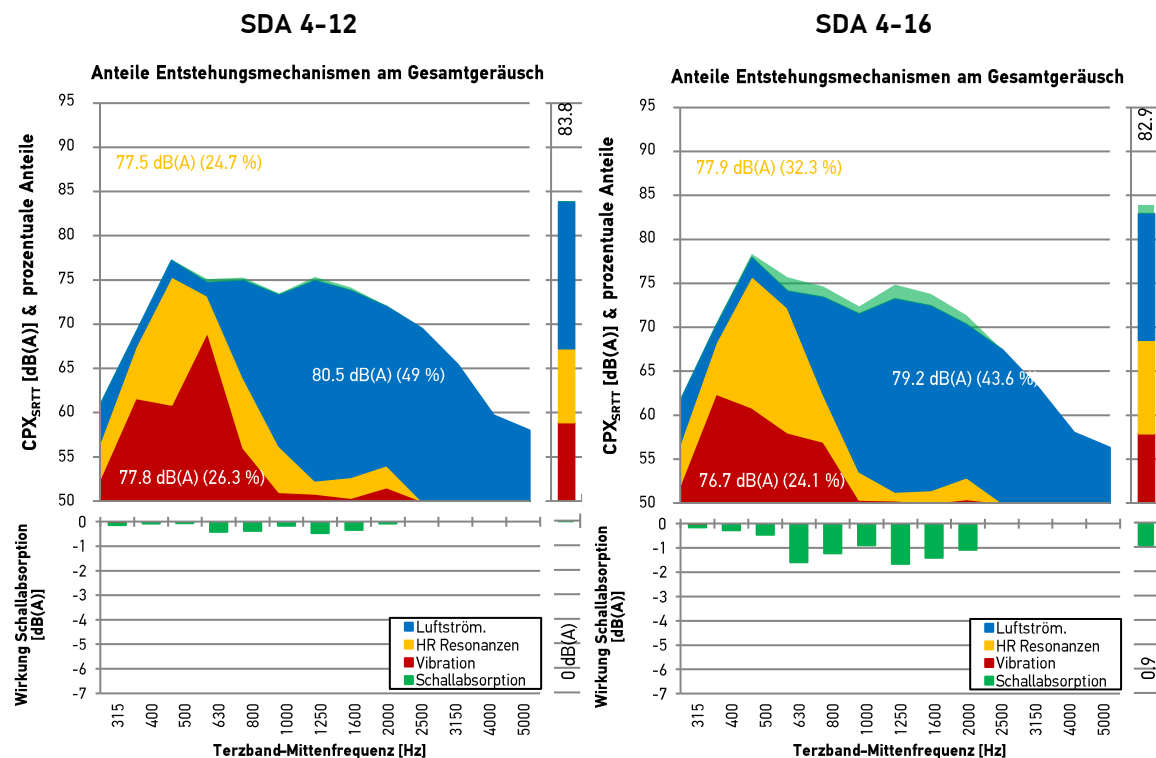


Abbildung 10: Vergleich der Schallentstehungsmechanismen der durchgeführten Wirkungsanalysen in Subingen zwischen SDA 4-12 (links) und SDA 4-16 (rechts)

Kommentare

- **Vibrationsschall:** Beim modellierten Vibrationsschall zeigen sich geringe Unterschiede zwischen den Belägen: Der absolute Vibrationsschall sowie dessen Anteil am Gesamtgeräusch ist beim SDA 4-12 leicht höher als beim SDA 4-16.
- **Luftströmungsschall:** Beim Luftströmungsschall zeigt sich der grösste Unterschied zwischen den Belägen: Der SDA 4-16 weist weniger Luftströmungsschall auf als der SDA 4-12.
- **Schallabsorption:** Die Schallabsorptionseigenschaften des SDA 4-16 Belages sind grösser als die vom SDA 4-12 Belag.

30. März 2026

4.4 Ergebnisse der Acoustic Void Content Analysis (AVCA)

Die Tabelle 7 fasst die mit dem AVCA erfassten Parameter zusammen.

Tabelle 7: Zusammenzug der AVCA-Resultate

Bezeichnung	Belag	Ø HR-gehalt [%]	Ø zug. HR-gehalt	Ø Verschm. grad [%]
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-12	15.8	15.2	-
Subingen, Luzernstrasse	SDA 4-16	21.2	21.0	-

Der totale und der zugängliche Hohlraumgehalt sind beim SDA 4-12 niedriger als beim SDA 4-16. Den Erwartungen entsprechend zeigen sich bei beiden Belägen noch keine Verschmutzung.

In den folgenden Abbildungen ist die AVCA-Analyse für die zwei Bohrkerns dargestellt. Die Grafiken zeigen von links nach rechts, das Original-Bild (eines Schnittes in der z-Richtung), in der Mitte die klassierten Bestandteile (Gestein, Poren, Schmutz und Mastix). Ganz rechts ist die 3D-Porenanalyse dargestellt als 2D-Verlauf über die Tiefe. Dabei kann aus der Grafik gut der Anteil an verbundenen Poren abgelesen werden (grüne Fläche). Grau signalisiert den Gesamthohlraumgehalt. Dieser beinhaltet die verbundenen und nicht verbundenen Poren, welche theoretisch im Bohrkern vorhanden sind. In blau sind die Poren ersichtlich, welche in sich geschlossen sind und keine Verbindung zur Strassenoberfläche finden. Schliesslich ist in braun der Verschmutzungsgrad des Bohrkerns angegeben (in diesem Fall keine Verschmutzung vorhanden). Dieser gibt einen Aufschluss wie viele Prozente der gesamten Poren mit Schmutz gefüllt sind.

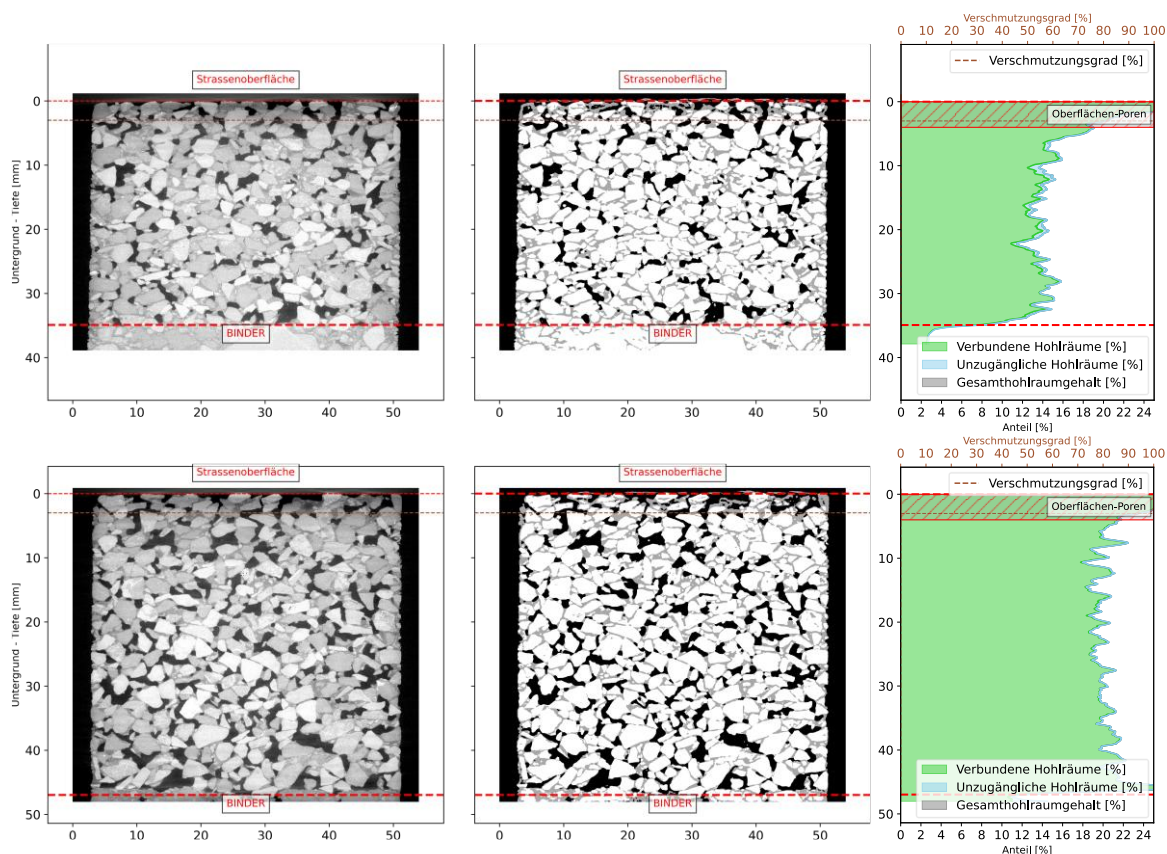


Abbildung 11: AVCA-Analyse für den SDA 4-12 (oben) und den SDA 4-16 (unten) Belag in Subingen

5. Schlussfolgerungen

Flächendeckende akustische Wirkung

Im Streckenmittel erreicht der **SDA 4-12 Belag** einen **akustischen Belagsgütwert** für Mischverkehr mit einem Schwerverkehrsanteil von 8% von **-7.7 dB(A)**. Somit ist die akustische Belagswirkung um **ca. 1.5 dB(A) besser** verglichen mit dem **schweizweiten Erfahrungswert** aller in der Schweiz durch die G+P AG gemessenen SDA 4 Beläge im Einbaujahr. Der akustische Belagsgütwert für den **SDA 4-16 Belag** beträgt **-9.0 dB(A)** für Mischverkehr mit einem Schwerverkehrsanteil von 8%. Verglichen mit dem schweizweiten Erfahrungsmittelwert aller durch die G+P AG gemessenen SDA 4 Beläge im Einbaujahr ist die akustische Belagswirkung des SDA 4-16 Belages **ca. 3 dB(A) besser**.

Mischgut- / Bohrkernuntersuchungen

Grundsätzlich zeigten die Mischgutuntersuchungen, dass die Normanforderungen der VSS 40 436 bei beiden Belägen erfüllt worden sind. Zudem zeigte sich bei der Mischgutanalyse, dass die Mischgutzusammensetzung bei beiden Belägen homogen ist. Auffällig war lediglich ein etwas hoher Sandanteil beim Mischgut des SDA 4-12. Die belagsspezifischen Anforderungen an den Hohlraumgehalt wurden bei beiden Belägen erfüllt. Insgesamt lieferten die verwendeten Mischgüter gute Voraussetzungen für den Belagseinbau und bieten damit eine solide Grundlage für den angestrebten Vergleich der beiden Belagstypen.

Die Bohrkernuntersuchungen stützen die Erkenntnisse aus den Mischgutuntersuchungen.

Hohlraumgehalt

Die belagsspezifischen Anforderungen an den Hohlraumgehalt wurden bei allen Bohrkernen erfüllt, was als sehr positiv für den Vergleich der beiden Belagstypen zu werten ist, da der angestrebte Hohlraumgehalt in Abhängigkeit der jeweiligen Rezeptur erreicht wurde.

Verdichtung

Beim SDA 4-12 zeigte sich bei einem Bohrkern (BK 8) eine etwas stärkere Verdichtung, die sich entsprechend in einem leicht tieferen Hohlraumgehalt widerspiegelt. Beim SDA 4-16 wurde hingegen der umgekehrte Fall beobachtet: Eine leichte Unterverdichtung führte bei einem Bohrkern (BK 5) zu einem etwas grösseren Hohlraumgehalt. Bei Unterverdichtung ist davon auszugehen, dass bereits nach kurzer Zeit Kornausbrüche auftreten können. Grundsätzlich ist zu empfehlen, dass Verdichtungsgrade von 100% anzustreben sind.

Schichtdicke

Die Schichtdicken beider Beläge liegen knapp im oder leicht über dem geforderten Bereich.

Wirkungsanalyse

Die im Rahmen der Wirkungsanalyse durchgeführten Messungen der Oberflächeneigenschaften zeigte, dass sich die Oberflächen der beiden Beläge nur gering unterscheiden. Es ergaben sich ähnliche Werte für die vier untersuchten Parameter.

Die durchgeführte SPERoN-Simulation zeigten schliesslich, dass der SDA 4-16 verglichen mit dem SDA 4-12 zu weniger Luftströmungsschall führt und zudem grössere schallabsorbierende Eigenschaften aufweist.

Acoustic Void Content Analysis (AVCA)

Die Ergebnisse der AVCA-Analyse zeigen, dass der SDA 4-16 einen grösseren Anteil an totalem und zugänglichem Hohlraum aufweist als der SDA 4-12 Belag. Die ausgewiesenen Hohlraumanteile befinden sich in einer ähnlichen Grössenordnung wie jene aus den Bohrkernuntersuchungen. Bei beiden Belägen konnte keine Verschmutzung festgestellt werden: Dies entspricht aufgrund der Tatsache, dass die analysierten Bohrkernkerne ungefähr 5 Monate nach Belagseinbau entnommen worden sind, den Erwartungen.

Zusammenfassende Erkenntnisse

Die im Jahr 2025 auf der Luzernstrasse in Subingen eingebauten SDA 4 Belägen mit unterschiedlichen Rezepturen weisen beide sehr gute akustische Belagswirkungen auf.

Die Mischgutuntersuchungen zeigten, dass es gelang die spezifischen Anforderungen der SDA 4-12 und der SDA 4-16 Rezeptur zu erfüllen. Schliesslich konnten auch beim Einbau der Beläge die spezifischen Eigenschaften der Rezepturen bewahrt werden, wie die Bohrkernuntersuchungen zeigten. Folglich bilden die beiden eingebauten Beläge eine gute Grundlage für das Projektziel – die akustische Wirksamkeit beider Rezepturen sowie deren Veränderung über die Zeit zu beobachten und zu vergleichen.

6. Kommentare zu den Messergebnissen

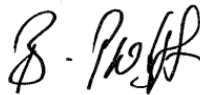
Bei neueingebauten Belägen muss beachtet werden, dass bei Messungen kurz nach Belags-
einbau generell mit einer geringfügigen Verfälschung der Messergebnisse zu rechnen ist, da
der Bitumenfilm unter Umständen ungenügend abgefahren wurde.

Es gilt weiterhin zu beachten, dass es sich bei dieser Studie um die akustische Beurteilung
eines Belags in neuem Zustand handelt. Es ist zu erwarten, dass sich die akustische Belagsgü-
te neu eingebauter Beläge mit zunehmendem Alter verschlechtert. Wie stark diese akustische
Belagsalterung ausfällt, müssen zukünftige Messungen zeigen.

Grolimund + Partner AG



Manuel Kunz



Björn Probst



Tina Saurer

Anhang

I Methoden

CPX-Messverfahren

Die von G+P AG eingesetzte CPX-Methode richtet sich nach SN EN ISO 11819-2:2021. Bei dieser Methode werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt.

CPX-Messsystem und Testreifen

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 SN EN ISO 11819-2:2021 festgelegten Kriterien betreffend Beeinflussung der Messergebnisse durch geräteeigene Schallreflexionen sowie durch interne und externe Schallgeräusche (siehe Testergebnisse in Anhang 3).

Die verwendeten Testreifensätze sind in Abbildung 12 (rechts) dargestellt und entsprechen der Empfehlung der SN EN ISO 11819-3:2021: Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (Testreifen P1 für Personenwagen/Cars) und Avon AV4 195-R14C (Testreifen H1 für Lastwagen/Trucks).



Abbildung 12: G+P Messsystem und CPX-Testreifen P1 (links) und H1 (rechts) gemäß SN EN ISO 11819-3:2021.

Eine schematische Übersicht über das G+P Messsystems ist in Abbildung 13 dargestellt.

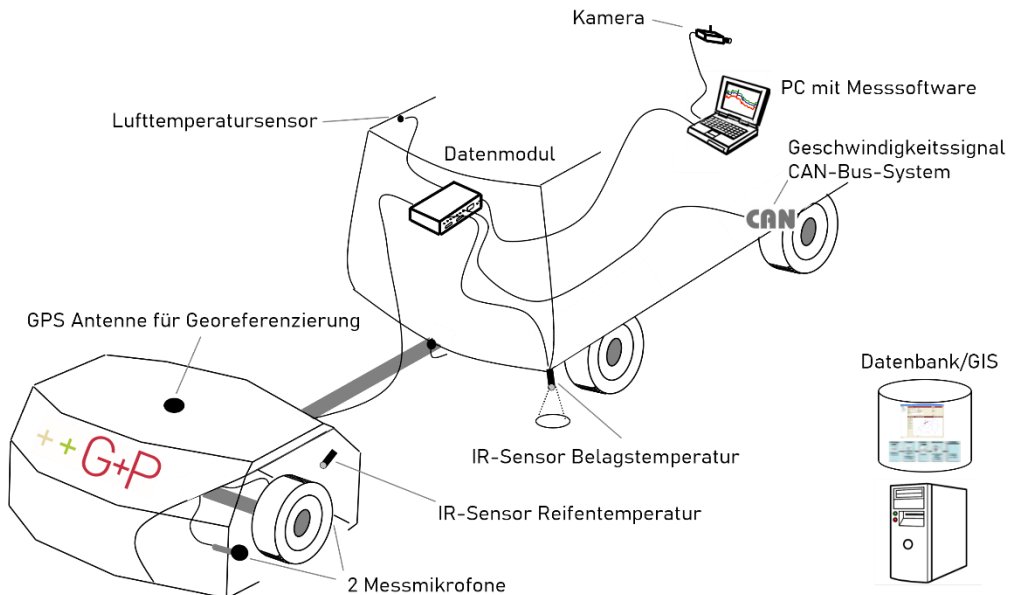


Abbildung 13: Schematische Übersicht des G+P Messsystems

Die Signale der 4 Messmikrofone (2 Messmikrofone je Seite), das Geschwindigkeitssignal aus dem CAN-Bus-System des Zugfahrzeuges, das GPS-Signal für die Georeferenzierung der Messdaten, sowie die Signale der Temperatursensoren werden im zentralen Datenmodul verarbeitet und von der Messsoftware aufgezeichnet. Die unmittelbare grafische Anzeige der Messsignale ermöglicht die ständige Überwachung des gesamten Messvorgangs während der Fahrt. Eine Kamera auf der Vorderseite des Fahrzeugs fotografiert zu Interpretations- und Kontrollzwecken fortlaufend die Strassenoberfläche. Alle Messdaten werden vom Datenmodul mit Ort/Zeit-Angaben versehen und zur Auswertung in einer eigens entwickelten Datenbank-applikation abgelegt.

Messmethode

Pro Reifen werden die A-bewerteten Schallpegel kontinuierlich auf der gesamten Messstrecke erfasst. Dabei werden die Mikrofonsignale mit einer Frequenz von 8 Hz aufgezeichnet und pro Messsegment (Länge 20 m) energetisch gemittelt. Die Messfahrt erfolgt bei möglichst konstanter Geschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h oder 80 km/h).

Datenauswertung und Datenkorrektur

Die Datenanalyse und -auswertung erfolgt nach den Vorgaben in der SN EN ISO 11819-2:2021, SN EN ISO 11819-3:2021 und ISO/TS 13471-1:2017 geschilderten Vorgehensweise. Die Messresultate werden entsprechend der Messgeschwindigkeit sowie bezüglich geräteeigener Schallreflexionen, der in-situ gemessenen Lufttemperatur auf 1.5 m Höhe über dem Boden und der spezifischen Reifenhärte korrigiert. Eine schematische Darstellung des Vorgehens bei der Datenauswertung und -korrektur ist in Abbildung 14 gezeigt.

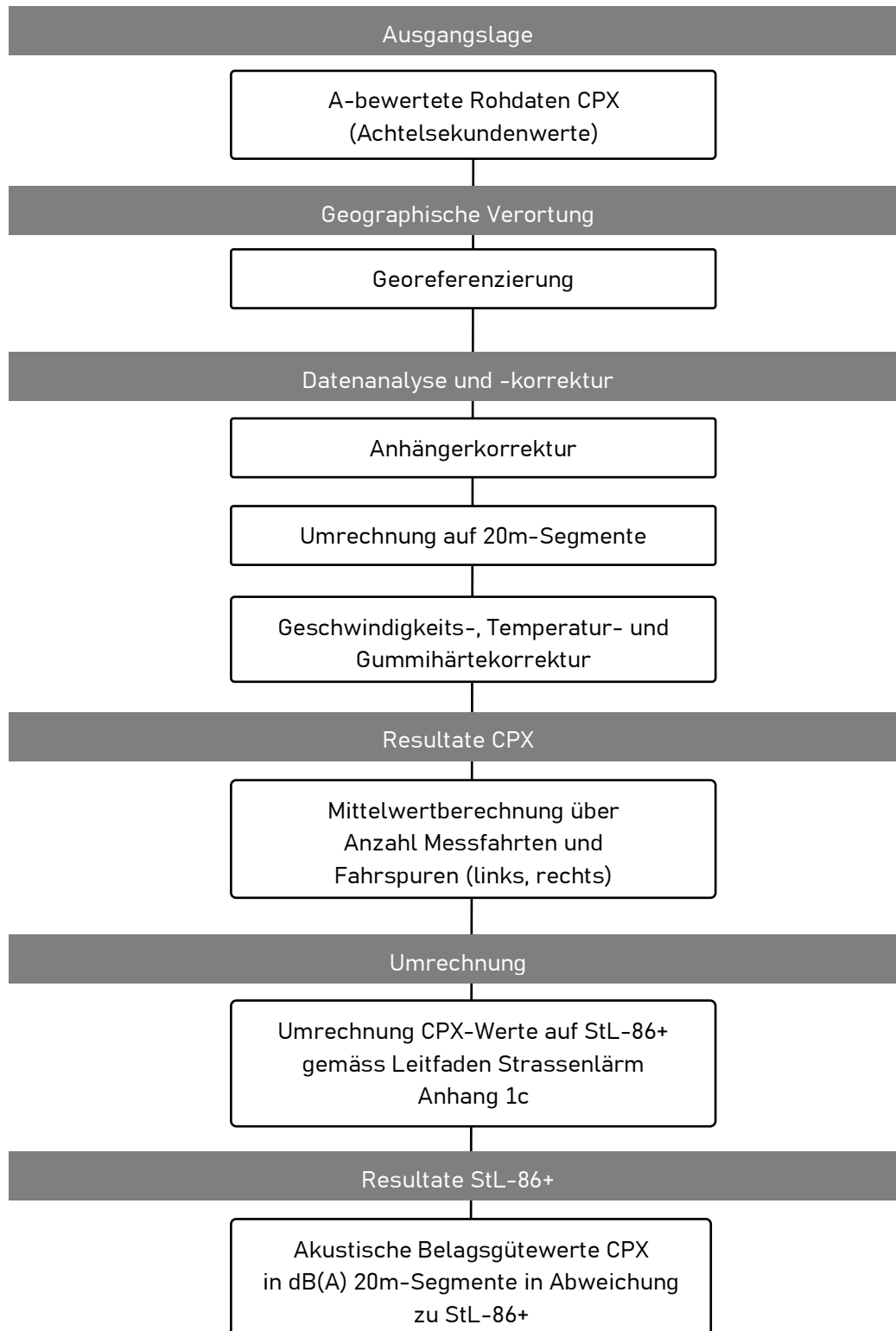


Abbildung 14: Schema zur Datenauswertung und -korrektur

30. März 2026

Als erster Schritt werden die spektralen CPX-Daten der Mikrofonpositionen m=1 und m=2 für die linke und die rechte Messkammer energetisch gemittelt:

$$L'_{CPX:t,w,r,i,f} = 10 \cdot \lg \left[0.5 \cdot (10^{0.1 \cdot L_{CPX:t,w,r,i,f,1}}) + 0.5 \cdot (10^{0.1 \cdot L_{CPX:t,w,r,i,f,2}}) \right] \text{ dB} \quad (1)$$

$L_{CPX:t,w,r,i,f}$	CPX-Indexwert pro Mikrofon
$L'_{CPX:t,w,r,i,f}$	CPX-Indexwert pro Messkammer
t	CPX-Testreifen (P1, H1)
w	Reifenspur (links, rechts)
r	Indexnummer der Messfahrt
i	Indexnummer des 20 m-Messsegments
f	Terzbandmittenfrequenz [Hz] (315 bis 5000 Hz)
m={1,2}	Mikrofonpositionen 1 und 2 in der jeweiligen Messkammer

Anschliessend erfolgt eine Korrektur bezüglich der geräteeigenen Schallreflexionen, der Geschwindigkeit, der Temperatur sowie der Reifengummi Härte:

$$L_{CPX:t,w,r,i,f,v_{ref}} = 10 \cdot \lg \left[\sum_{f=315}^{5000} 10^{0.1 \cdot (L'_{CPX:t,w,r,i,f} + C_{d,t,f})} \right] \text{ dB} - C_{v,t,v_{ref}} - C_{T,t} - C_{H_A,t} \quad (2)$$

$L_{CPX:t,w,r,i,v_{ref}}$	korrigierter CPX-Indexwert pro Messreifen
$L'_{CPX:t,w,r,i}$	unkorrigierter CPX-Indexwert pro Messreifen
$C_{d,t,f}$	terzbandbasierte Anhängerkorrektur [dB] pro Messreifen
$C_{v,t,v_{ref}}$	reifen- und referenzgeschwindigkeitsspezifische Geschwindigkeitskorrektur [dB]
$C_{T,t}$	reifenspezifische Temperaturkorrektur [dB]
$C_{H_A,t}$	reifenspezifische Gummihärtekorrektur [dB]
t	CPX-Testreifen (P1, H1)
w	Reifenspur (links, rechts)
r	Indexnummer der Messfahrt
i	Indexnummer des 20 m-Messsegments
f	Terzbandmittenfrequenz [Hz] (315 bis 5000 Hz)
v_{ref}	CPX Referenzgeschwindigkeit [km/h] (50 km/h, 80 km/h)

Anhängerkorrektur $C_{d,t,f}$

Die Anhängerkorrektur adressiert geräteeigene Schallreflexionen und wird terzbandspezifisch zum unkorrigierten CPX-Indexwert addiert (siehe Formel 2).

Geschwindigkeitskorrektur $C_{v,t,v_{ref}}$

Die Geschwindigkeitskorrektur gegenüber einer Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h auf Messstrecken im Innerortsbereich oder 80 km/h auf Messstrecken auf Nationalstrassen berechnet sich wie folgt:

$$C_{v,t,v_{ref}} = B \cdot \lg \left(\frac{v_{t,w,r,i}}{v_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

$C_{v,t,v_{ref}}$	reifen- und referenzgeschwindigkeitsspezifische Geschwindigkeitskorrektur [dB]
B	Geschwindigkeitskonstante
$v_{t,w,r,i}$	reifenspezifische Messgeschwindigkeit pro Reifenspur, Messfahrt und 20 m-Messsegment [km/h]
v_{ref}	CPX Referenzgeschwindigkeit [km/h] (50 km/h, 80 km/h)

30. März 2026

Temperaturkorrektur $C_{T,t}$

Die CPX-Indexwerte werden, entsprechend der Anforderungen des Projekts, mit einem der beiden folgenden Verfahren temperaturkorrigiert:

1. Norm, d.h. gemäss ISO/TS 13471-1:2017

$$C_{T,t} = \gamma_{p,t} \cdot (T_{Luft150} - T_{ref}) \quad (4)$$

$$\gamma_{p,t} = \gamma_{P1} = \gamma_{H1} = -\omega_p + \varphi_p \cdot v_{ref} \quad (5)$$

$C_{T,t}$	reifenspezifische Temperaturkorrektur [dB]
$\gamma_{p,t}$	Belagstyp- und reifenspezifischer Temperaturkorrekturfaktor [dB/°C]
$T_{Luft150}$	in-situ, auf 1.5 m Höhe über dem Boden aufgezeichnete Lufttemperatur [°C]
T_{ref}	Referenzlufttemperatur von 20°C
ω_p	Belagstypabhängige Konstante [dB/°C] $\omega_p = -0.14$ für dichte Asphaltbeläge (z.B. AC, SMA, MR) $\omega_p = -0.10$ für Betonbeläge
φ_p	$\omega_p = -0.08$ für poröse Asphaltbeläge (z.B. SDA, Nanosoft 4) Belagstypabhängiger Korrekturfaktor [dB/(°C · km/h)] $\varphi_p = 0.0006$ für dichte Asphaltbeläge (z.B. AC, SMA, MR) $\varphi_p = 0.0004$ für Betonbeläge $\varphi_p = 0.0004$ für poröse Asphaltbeläge (z.B. SDA 4, Nanosoft 4)
v_{ref}	CPX Referenzgeschwindigkeit [km/h] (50 km/h, 80 km/h)

2. Detailliert, d.h. gemäss Bühlmann und Ziegler (2011), "Temperature effects on tyre/road noise measurements", Proc. of InterNoise, Osaka.):

$$C_{T,t} = \gamma_{T,t,p,f} \cdot (T_{Luft150} - 20^\circ\text{C}) \quad (6)$$

$C_{T,t}$	reifenspezifische Temperaturkorrektur [dB]
$\gamma_{T,t,p,f}$	belags- und reifenabhängiger spektraler Korrekturfaktor [dB(A) / °C]
$T_{Luft150}$	in-situ aufgezeichnete Lufttemperatur auf 1.5 m Höhe [°C]

Die detaillierte Temperaturkorrektur kommt teilweise bei Belagsmonitorings mit erhöhten Anforderungen an die spektrale Korrektur der gemessenen Beläge zur Anwendung.

Gummihärtekorrektur $C_{H_A,t}$

Gummihärtekorrekturen werden in Abhängigkeit des Reifentyps wie folgt berechnet:

$$C_{H_A,t} = \beta_t \cdot (H_{A,t} - H_{A,ref}) \quad (7)$$

$C_{H_A,t}$	reifenspezifische Gummihärtekorrektur [dB]
β_t	reifenspezifischer Gummihärte-Korrekturfaktor, wobei $\beta_{P1} = 0.12$ [dB/Shore A] und $\beta_{H1} = 0.20$ [dB/Shore A]
$H_{A,t}$	reifenspezifische Gummihärte bei 20 °C [Shore A]
$H_{A,ref}$	reifenspezifische Gummihärte-Referenzwert [Shore A], wobei $H_{A,P1,ref} = H_{A,H1,ref} = 66$ Shore A

CPX Gesamtpegel

Für die Berechnung der CPX-Gesamtpegel werden korrigierten CPX-Rollgeräuschpegel über die Reifenspuren, die Messfahrten sowie die 20m-Segmente arithmetisch gemittelt.

$$L_{CPX:t,v_{ref}} = \frac{1}{n_w} \sum_{w=1}^{n_w} \left[\frac{1}{n_r} \sum_{r=1}^{n_r} \left(\frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^{n_i} L_{CPX:t,w,r,i,v_{ref}} \right) \right] \quad (8)$$

Umrechnung auf StL-86+ bei 50 km/h

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 StL-86+. Dazu wurden die CPX-Indexwerte an 67 Standorten mit SPB Messungen (Statistical Pass-By-Vorbeifahrtmessungen) korreliert. Die zur Korrelation verwendeten SPB-Messungen wurden gemäss dem Technischen Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen (ASTRA/BAFU, 2006, Dokument UV-0637, Anhang 1c) durchgeführt.

Die Genauigkeit dieser Umrechnungsmodelle wurde anhand von Korrelations- und Regressionsanalysen überprüft. Die Bestimmtheitsmasse (R^2) für die verwendeten Umrechnungsmodelle betragen 94% für $L_{CPX:P}$ und SPB N1 (Vorbeifahrtmessungen von Personenwagen und leichten Fahrzeugen) und 64% für $L_{CPX:H}$ und SPB N2 (Vorbeifahrtmessungen von Lastwagen und schweren Fahrzeugen).

Für das Umrechnungsmodell $L_{CPX:P}$ - SPB N1 liegt das 95% Vertrauensintervall zwischen ± 0.2 bis ± 0.8 dB(A). Für das Umrechnungsmodell $L_{CPX:H}$ - SPB N2 bewegt sich das 95% Vertrauensintervall zwischen ± 0.3 bis ± 1.4 dB(A).

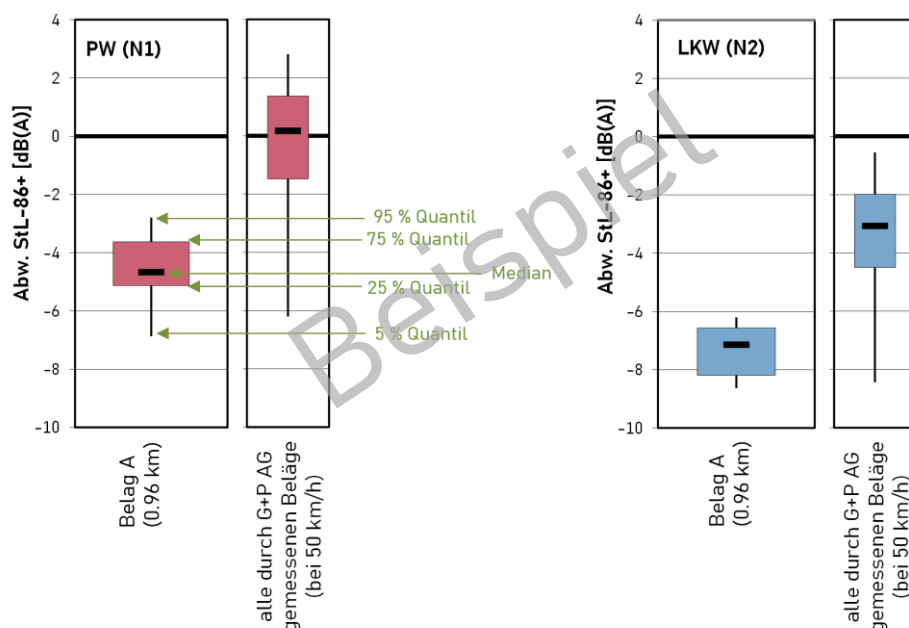
II Erläuterungen zu den Darstellungen und Tabellen

Belagsgütwerte in Abweichung zum Modell StL-86+

Die akustischen Belagsgütwerte werden für jeden Belagsabschnitt als arithmetischer Mittelwert aus allen Messsegmenten beider Fahrbahnrichtungen berechnet und anschliessend auf eine Dezimalstelle gerundet. Je nach Homogenität der richtungsgetrennten Fahrbahnen eines Belagsabschnitts kann es dabei zu rechnerischen Abweichungen zwischen dem arithmetischen Mittelwert aller Messsegmente und dem Mittel aus den richtungsgetrennten Fahrbahnmittelwerten (siehe Anhang 5 Messprotokolle) kommen.

Boxplots (Statistische Auswertung der Belagsgütwerte)

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der CPX-Belagsgütwerte sind jeweils in Boxplots dargestellt. In den Boxplots sind der Median und die 25%- und 75%-Quantile (Box) sowie das 5%-Quantil und das 95%-Quantil (Whiskers) pro Fahrzeugkategorie. Als Vergleich dient die Verteilung aller bisher durch G+P gemessenen Beläge im Innerortsbereich, welche auf einer Gesamtmessstrecke von ca. 23400 km beruht (jeweils auf der rechten Seite dargestellt).

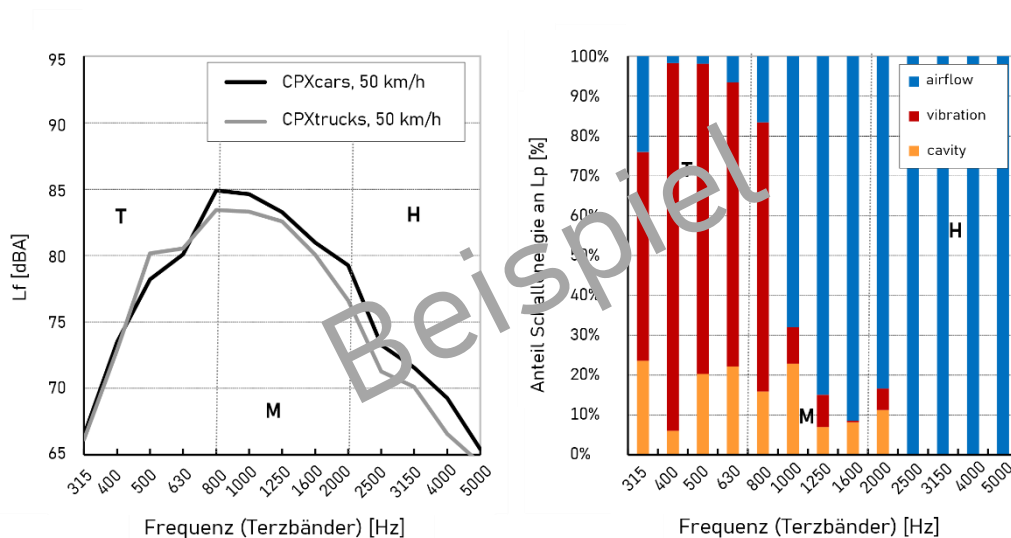


Lesebeispiel:

- Beim Belag A sind für die Fahrzeugkategorie PW 95% aller Messsegmente leiser als -5.5 dB(A) in Abweichung zum Referenzmodell StL-86+.
- Für PW sind 75% aller Messsegmente leiser als -6.6 dB(A) in Abweichung zum Referenzmodell StL-86+.
- Der Median der Messsegmente liegt für die Fahrzeugkategorie PW bei -7.3 dB(A) in Abweichung zum Referenzmodell StL-86+.

Frequenzanalyse

Die Interpretation der Spektralanalyse ist am Beispiel eines SMA 11 Belages erläutert.



Das Spektrum der Reifen-Fahrbahngeräusche lässt sich in drei Hauptfrequenzbereiche einteilen:

- **Tief (T):** Im tieffrequenten Bereich sind bei der Schallentstehung vor allem vibrationsbezogene Entstehungsmechanismen dominant. Die Beiträge von Hohlraumresonanzen (cavity) und Luftströmungsgeräuschen spielen eher eine untergeordnete Rolle.
- **Mittel (M):** Im mittleren Frequenzbereich findet der Übergang von Vibrationsschall zu Luftströmungsschall statt. Gleichzeitig ist ein signifikanter Beitrag durch Hohlraumresonanzen zu verzeichnen.
- **Hoch (H):** Der hochfrequente Bereich wird vor allem durch Luftströmungsgeräusche geprägt. In der neuesten Forschung geht man jedoch davon aus, dass vibrationsbezogene Schallentstehung in diesem Frequenzbereich zwar wesentlich geringer, jedoch nicht ganz vernachlässigbar ist.

30. März 2026

III Angaben zu den Messungen und Messgeräten

SN EN ISO 11819-2:2021

(Close Proximity - Messung)

Messjahr 2025

Allgemeine Angaben

Auswertungen durch Grolimund + Partner AG
Waldeggstrasse 42a
3097 Liebefeld-Bern
Tel +41 31 356 20 00
Fax +41 31 356 20 01

Auswerttool CPX DB, G+P AG

Messequipe
Messtage



Messgeräte & Messsystem

Anhängertyp	M+P Anhänger XL9CPX750, zweirädrig				
Insertion loss	Bericht M+P.GUNDP.08.01.1, 24. Juni 2008				
Kalibrierung Anhänger	G+P, 12.02.2025				
PAK Mobil	PAK Mobil Mk. II	Reifen	Typ:	P1	Uniroyal Tigerpaw SRTT
				H1	Avon AV4
Mikrofone	MTG MK250B Nr. 7843 MTG MK250B Nr. 7847 MTG MK250B Nr. 7844 MTG MK250B Nr. 7845		Produktions- datum:	P1	4420 H1 0414
			Inbetriebnahme:		Februar 2025
Reservemikrofone	MTG MK250B Nr. 7846 MTG MK250B Nr. 9878	IR-Sensoren			Raytek MID10LT Raytek MID10LTCB3
Vorverstärker	MTG MV210 Nr. 1384 MTG MV210 Nr. 1385 MTG MV210 Nr. 1386 MTG MV210 Nr. 1389	Temperatur- logger			EasyLog 40KH Nr. 00201184 EasyLog 40KH Nr. 00205934
		Kamera			Logitech QuickCam Pro 9000
Kalibrator	B&K 4231 Nr. 2637555				

Kalibrierungsbericht Anhänger

Zusammenfassung ■ Der Test für den Einfluss geräteeigener Schallreflexionen gegenüber der Messung im freien Feld erfolgte mittels der Enclosure Fitting Methode. Der Test wurde am 12. Februar 2025 durchgeführt.

SRTT

Frequenz [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Einfluss Linke Kammer	-0.8	-0.6	-1.8	1.1	0.1	0.7	-0.3	0.0	1.5	0.0	0.1	1.3
Einfluss Rechte Kammer	-0.6	-0.9	-1.6	0.9	0.3	1.1	0.1	0.0	2.2	0.0	0.1	1.6

Avon AV4

Frequenz [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Einfluss Linke Kammer	0.7	-1.5	-1.3	0.8	0.8	0.5	-0.1	0.4	0.4	1.6	0.2	1.0
Einfluss Rechte Kammer	0.6	-1.5	-1.2	0.5	0.9	0.0	0.1	0.7	1.0	0.7	0.5	1.2

■ Die Tests für den Einfluss messsystemeigener Störgeräusche sowie für die Empfindlichkeit gegenüber Störgeräuschen des übrigen Strassenverkehrs ergaben, dass der G+P CPX-Anhänger bei Messgeschwindigkeiten von 50, 80 und 110 km/h in dichtem Verkehr verwendet werden kann. Bei Messungen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h können die Messresultate jedoch durch laute Vorbeifahrten von LKW's mit Tempo 80 km/h beeinflusst werden. Die gemessenen Pegel sind entsprechend zu überprüfen.

■ Die detaillierten Ergebnisse des Insertion Loss Tests sind im Bericht M+P.GUNDP.08.01.1 vom 24. Juni 2008 beschrieben.

Grolimund + Partner AG


Erik Bühlmann


Manuel Kunz

IV Schallabsorptionsmessungen

Die Schallabsorptionseigenschaften eines Strassenbelages sind stark frequenzspezifisch und abhängig von dessen Schichtdicke, der Porosität, der Porenform, deren Verbindungsgrad untereinander und dem spezifischen Strömungswiderstand. Die Schallabsorptionseigenschaften eines Strassenbelages können einen grossen Einfluss auf das Ausmass des Horneffekts und auf die Schallausbreitung haben. Deren messtechnische Bestimmung ist bei der näheren Analyse der akustischen Wirksamkeit von semidichten und porösen Belägen von grosser Wichtigkeit.



Die Messung der Schallabsorptionseigenschaften erfolgt mit dem PU-Verfahren in-situ. Bei diesem Messverfahren wird ein Schallsignal auf die Testfläche ausgesendet. Neben dem Schalldruck wird zusätzlich die Schallschnelle aufgezeichnet. Daraus wird die Impulsantwort des abgestrahlten Signals und dessen Reflexion berechnet und daraus der Schallabsorptionsgrad der Testfläche bestimmt. Im Vergleich zur Bestimmung des Absorptionsgrades mit der Impedanzrohrmethode kann mit dem PU-Verfahren der Schallabsorptionsgrad für einen breiteren Bereich des Lärmspektrums bestimmt werden. Ausserdem ist es möglich, verhältnismässig geringe Schallabsorptionseigenschaften in-situ mit hoher Genauigkeit zu bestimmen.

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.

30. März 2026

V Messverfahren Oberflächeneigenschaften

A) Oberflächentexturmessungen mit Photogrammetrie-Scanner

Mit Hilfe von 3D-Texturmessungen können die visuellen Eigenschaften von Strassenbelägen, welche für die Lärmentstehung relevant sind, gemessen und beurteilt werden. G+P führt seit 2022 solche 3D-Texturmessungen mit einem eigenen Photogrammetrie-Scanner durch.

Mit 3D-Texturmessungen können verschiedene Texturparameter der Oberflächen von Strassenbelägen erhoben werden, wie z. B. die mittlere Profiltiefe, der Gestalt-Faktor oder die Textur-Wellenlänge. Die Auflösung ist mit über 3.5 Millionen Punkte pro Messung sehr hoch (ca. 100 Punkte pro mm³). Da die Oberfläche dreidimensional erfasst wird, lassen sich zusätzliche Auswertungen wie zum Beispiel das Zählen von Kornausbrüchen und Kornspitzen durchführen. Die Resultate der 3D-Texturmessungen geben Auskunft über die Beschaffenheit der Oberflächentextur und liefern beispielsweise in Kombination mit CPX-Messungen wertvolle Informationen über den akustischen und mechanischen Zustand und Veränderungen von lärmarmen Strassenbelägen.

Es wurden folgende Kennwerte abgeleitet:

Kennwert	Beschreibung	Richtwert
MPD (Mean Profile Depth)	Der MPD ist der Abstand zwischen der höchsten Profilschulter und dem Mittelwert der Profil-Kurve innerhalb einer Messlänge von 100 mm (gemäss ISO 13473-1).	keine
Spektralanalyse	Gemäss EN ISO 13473-4 wird das Oberflächenprofil mathematisch mittels einer Fourier-Transformation in Sinusschwingungen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Amplituden zerlegt. In einem Histogramm wird die Rautiefe in Abhängigkeit der Wellenlänge dargestellt.	keine
max. Rautiefe $A_{\max}$	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.	$12,5 \geq \lambda (A_{\max}) \geq 4,0$

$A_{\max}$, $\lambda (A_{\max})$ 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). Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Richtwerte für lärmarme Beläge mit homogener Textur, sie stellen aber kein allgemeingültiges Bewertungskriterium für diese Beläge dar.

B) Luftströmungswiderstandsmessungen mit Lufttopf

Durch eine Luftströmungswiderstandsmessung auf der Belags-
oberfläche kann erfasst werden, wie „einfach“ die Luft beim Kon-
takt Reifen-Fahrbahn aus der Kontaktzone entweichen kann, was
wiederum Aufschluss über die Schallentstehung in der Kontakt-
zone Reifen-Fahrbahn gibt. Dazu wird mit einem Kompressor
über einen Luftkanal im „Lufttopf“ ein gleichmässiger Luftstrom
erzeugt, der in einem zweiten Luftkanal wieder gemessen wird.
Gemessen wird der Überdruck in der Kammer in Abhängigkeit
des geregelten Durchflusses der eintretenden Luft. Beide Mess-
grössen stehen theoretisch in einer linearen Abhängigkeit, wobei
die Steigung von der Geschwindigkeit, bei der die Luft durch den Belag entweichen kann, ab-
hängt. Dies ergibt das Mass für die Luft, die in der Kontaktzone Gummi-Strassenbelag ent-
weicht.



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 Prüfklä-
che). 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.

VI Analysen Belagsakustik

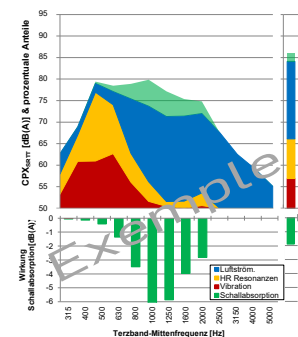
A) Reifen-Fahrbahn-Interaktionsmodell SPERoN

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 Lärmmentstehungsmechanismen sowie Schallabsorption zu interpretieren. SPERoN modelliert aufgrund von Oberflächentextur-, Luftströmungswiderstands- und Schallabsorptionsmessungen die Lärmpegel für die einzelnen Lärmmentstehungsmechanismen 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.

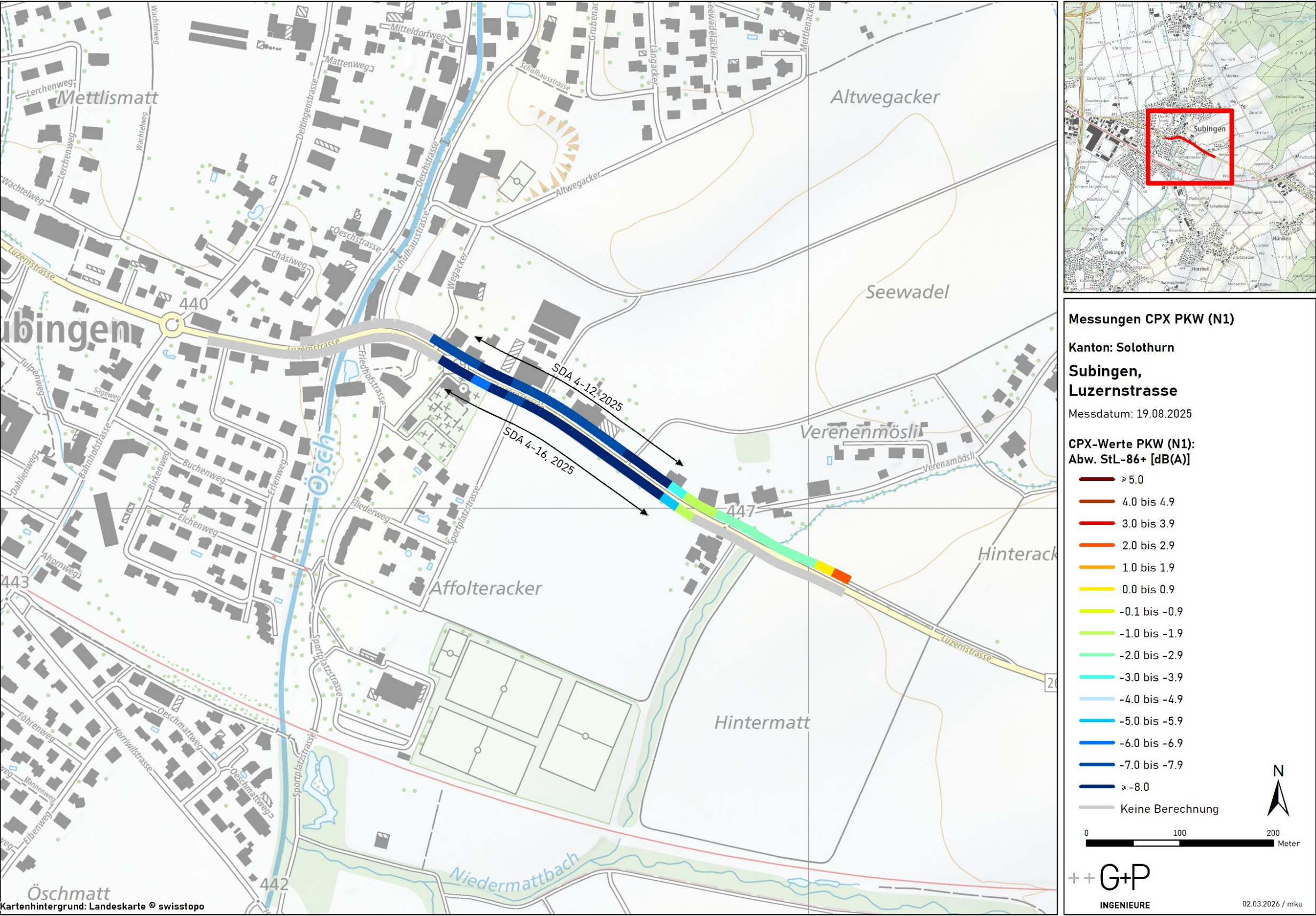
Die Berechnungen wurden für einen Reifen Michelin Energy 195/65 R15 (ein Reifen mit minimiertem Rollwiderstand) und für eine Geschwindigkeit von 50 km/h sowie für eine Last pro Reifen von 425 kg durchgeführt.

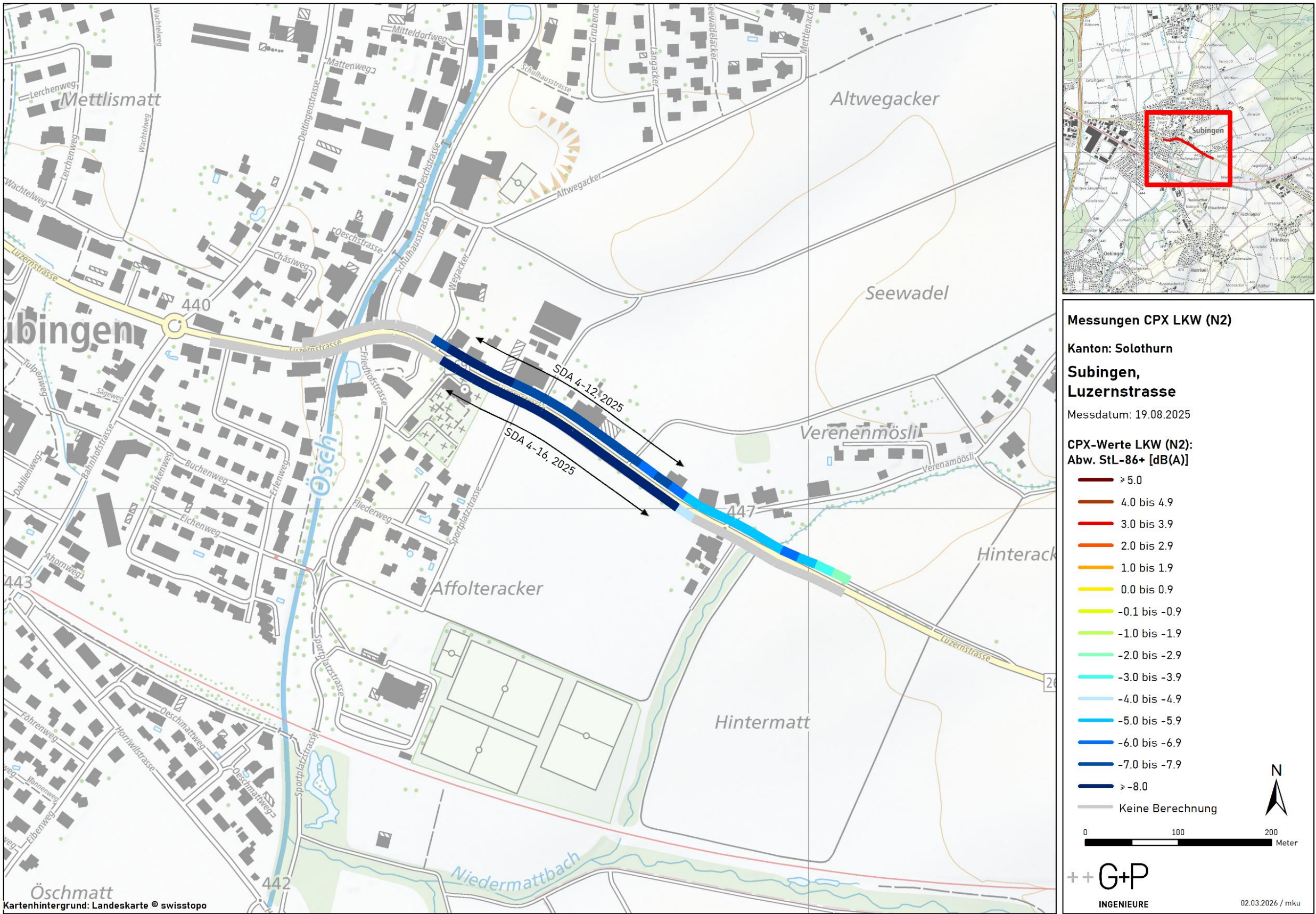
B) Akustische Wirkungsanalysen

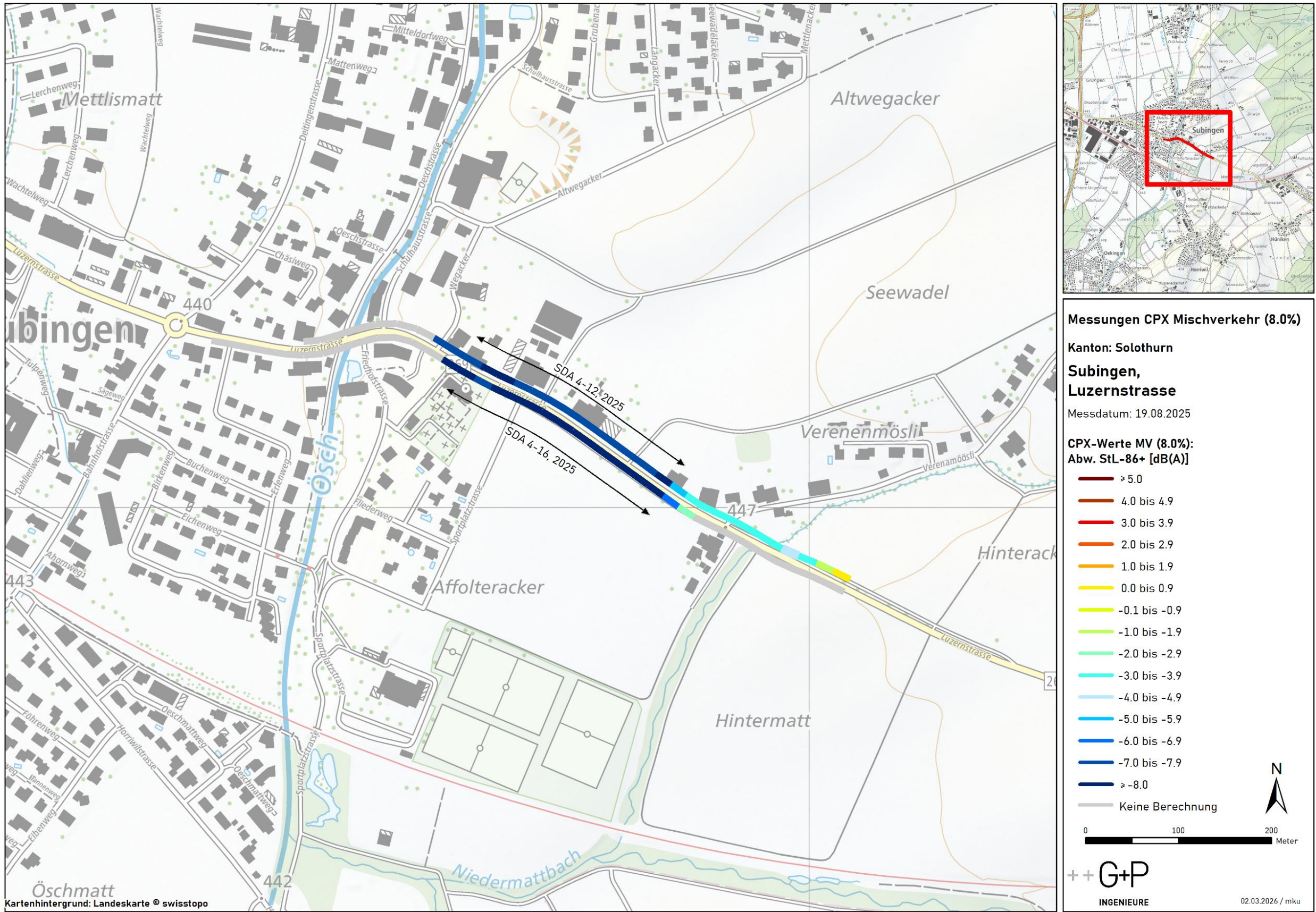
Für die Interpretation der gemessenen Rollgeräuschspektren CPX bezüglich Lärmmentstehung und Wirkung Schallabsorption, wurden diese mit den durch SPERoN modellierten lärmmentstehungsmechanismus-spezifischen Geräuschanteilen gewichtet (nach Bühlmann und Ziegler 2012). Auf diese Weise können Aussagen über 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 werden beigezogen, um Unterschiede der akustischen Wirkung zwischen einzelnen Belägen zu erklären. Ebenfalls ermöglichen diese, Ursachen für die akustische Veränderung der Beläge über Zeit zu finden



VII Übersichtskarten Messungen CPX







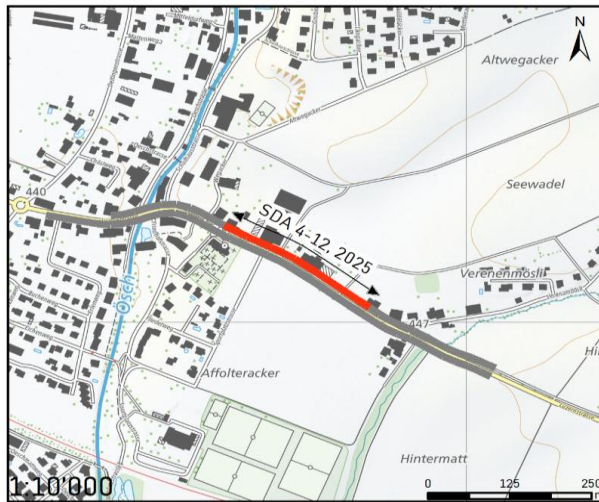
30. März 2026

VIII Messprotokolle CPX

Subingen, Luzernstrasse: SDA 4-12 (2025)

Faktenblatt akustische Belagsgüte
Neuzustand

Standortdetails

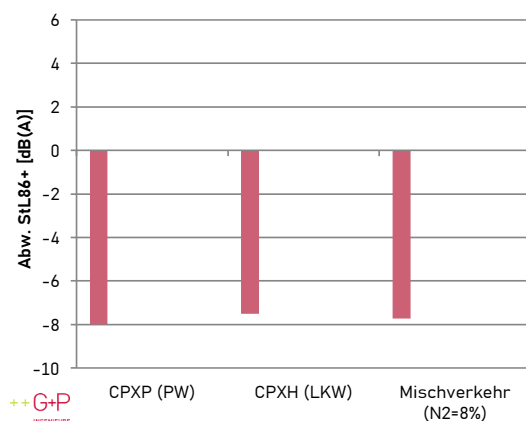


Ort	Kanton: Gemeinde:	Solothurn Subingen
Messstrecke	Streckenlänge: Strassenbez. Koordinaten: x y	760 [m] Einspurig Start Ende Y 613379 [CH1903] X 227186 [CH1903]
Belag	Typ: Einbaujahr: Abschnittslänge: HR am Bohrkern:	SDA 4-12 2025 280 [m] k.A. [%]
Projekt-Nr.:	Auftraggeber: Ing. Büro: Projekt-Nr.: Zielsetzung: Verantwortlich:	Kt SO G+P AG, BE A6839 Monitoring T. Saurer

Messung

Messart		CPX		Geschwindigkeits-		Referenzgeschwindigkeit:		50 [km/h]		
Messequipe		dfl, fs		korrektur		Geschwindigkeitskonstante:		B = 30		
Messzeit	Datum:	19.08.2025		Indexwerte	P1	Reifen PW:	CPXP = L _{CPX; P1}			
	Zeitraum:	07:00 - 09:00			H1	Reifen LKW:	CPXH = L _{CPX; H1}			
Temperatur	Luft 1.5m:	16.6	[°C]	Reifen	Type:	P1	Uniroyal Tigerpaw SRTT			
	Belag:	21.2	[°C]			H1	Avon AV4			
	Reifen:	23.7	[°C]			P1	4420			
	Korrektur-	P1	-0.110		[dB(A)/°C]	Produktions-	H1	0414		
	faktor	H1	-0.110		[dB(A)/°C]	Inbetriebnahme:	Februar 2025			
						Reifenhärte	P1	links	69.7 [ShoreA]	
Korrekturverfahren		Norm*			(04.09.2025):		rechts	69.7 [ShoreA]		
Bemerkung	* SN EN ISO 11819-2:2021					H1	links	71.0 [ShoreA]		
							rechts	71.0 [ShoreA]		
					Umrechnungsmodell		Korrelation basiert auf 67 CPX-SPB-			
				CPX zu StL86+		Wertepaaren (Erstelldatum: 09.2011)				

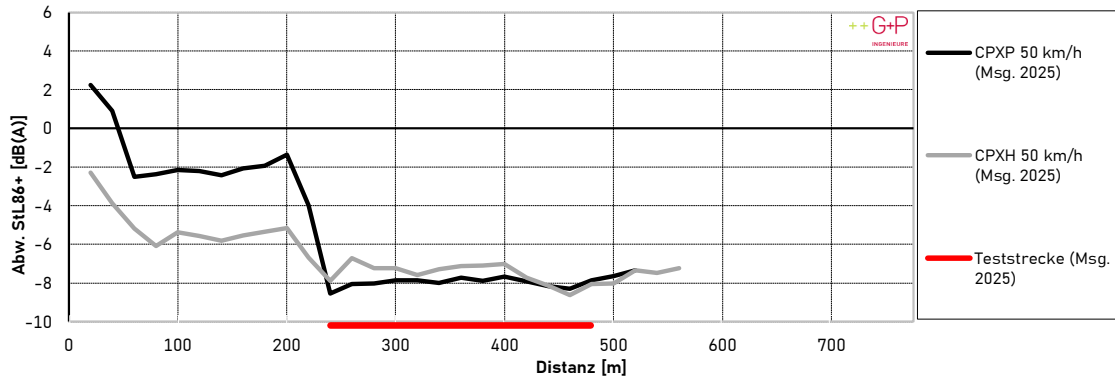
Akustische Belagsgüte im Zeitverlauf



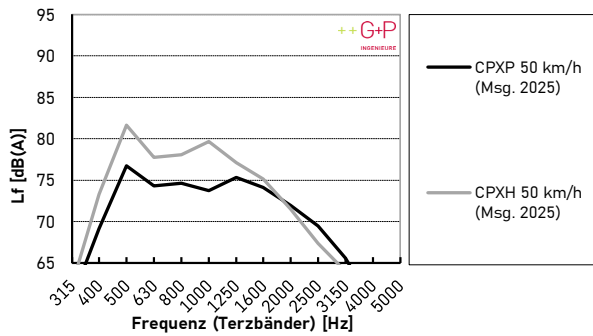
Messjahr	Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2025)		
		L _{CPX}	Abw. StL86+
■ 2025	CPXP (PW)	83.7	-8.0
	Standardabw.	0.2	-
■	CPXH (LKW)	87.1	-7.5
	Standardabw.	0.4	-
■	Mischverkehr (N2=8%)	-	-7.7
*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente beider Fahrtrichtungen			

30. März 2026

Resultate StL86+ Fahrtrichtung West (Radspur)



Frequenzanalyse



Messfahrten	P1	H1	
Anzahl	3	3	
Messgeschw.	50.4	50.4	[km/h]
Standardabw.	0.4	0.4	[km/h]

Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2025)

	L _{CPX}	Abw. StL86+	
CPXP (PW)	83.7	-8.0	[dB(A)]
Standardabw.	0.2	-	[dB(A)]
CPXH (LKW)	87.1	-7.5	[dB(A)]
Standardabw.	0.4	-	[dB(A)]

*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente der Fahrbahn

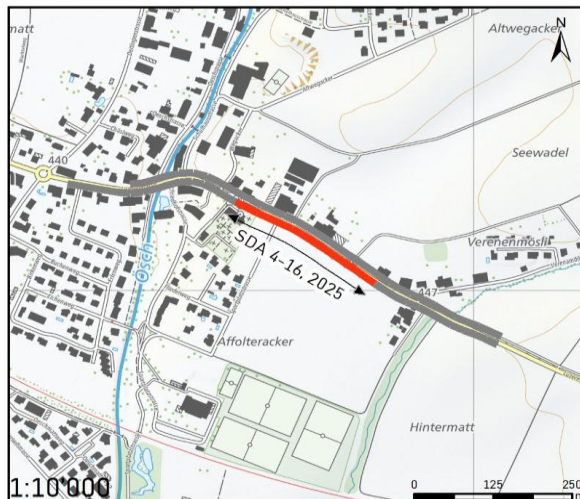
30. März 2026

Subingen, Luzernstrasse: SDA 4-16 (2025)

Faktenblatt akustische Belagsgüte

Neuzustand

Standortdetails

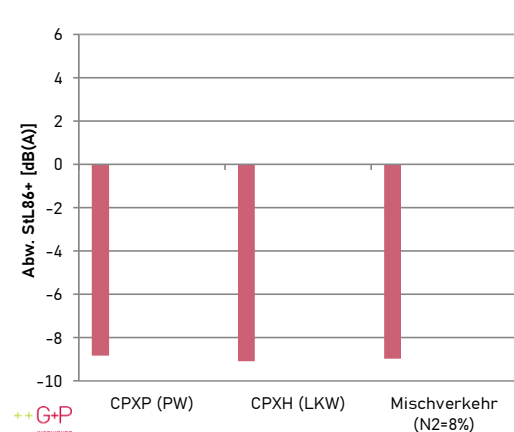


Ort	Kanton:	Solothurn
	Gemeinde:	Subingen
Messstrecke	Streckenlänge:	760 [m]
	Strassenbez.	Einspurig
	Koordinaten:	Start Ende
	x	Y 614022 [CH1903]
	y	X 226923 [CH1903]
Belag	Typ:	SDA 4-16
	Einbaujahr:	2025
	Abschnittslänge:	240 [m]
	HR am Bohrkern:	k.A. [%]
Projekt-Nr.:	Auftraggeber:	Kt SO
	Ing. Bür:	G+P AG, BE
	Projekt-Nr.:	A6839
	Zielsetzung:	Monitoring
	Verantwortlich:	T. Saurer

Messung

Messart	CPX	Geschwindigkeits-	Referenzgeschwindigkeit:	50 [km/h]
Messequipe	dfi, fs	korrektur	Geschwindigkeitskonstante:	B = 30
Messzeit	Datum:	19.08.2025	Indexwerte	P1 Reifen PW: CPXP = L_{CPX} ; P1
	Zeitraum:	07:00 - 09:00		H1 Reifen LKW: CPXH = L_{CPX} ; H1
Temperatur	Luft 1.5m:	16.8 [°C]	Reifen	Typ:
	Belag:	21.4 [°C]		P1 Uniroyal Tigerpaw SRTT
	Reifen:	23.3 [°C]		H1 Avon AV4
	Korrektur-	P1 -0.110 [dB(A)/°C]	Produktions-	P1 4420
	faktor	H1 -0.110 [dB(A)/°C]	datum:	H1 0414
			Inbetriebnahme:	Februar 2025
Korrekturverfahren	Norm*		Reifenhärte	P1 links 69.7 [ShoreA]
Bemerkung	* SN EN ISO 11819-2:2021		(04.09.2025):	rechts 69.7 [ShoreA]
				H1 links 71.0 [ShoreA]
				rechts 71.0 [ShoreA]
		Umrechnungsmodell	Korrelation basiert auf 67 CPX-SPB-	
		CPX zu StL86+	Wertepaaren (Erstelldatum: 09.2011)	

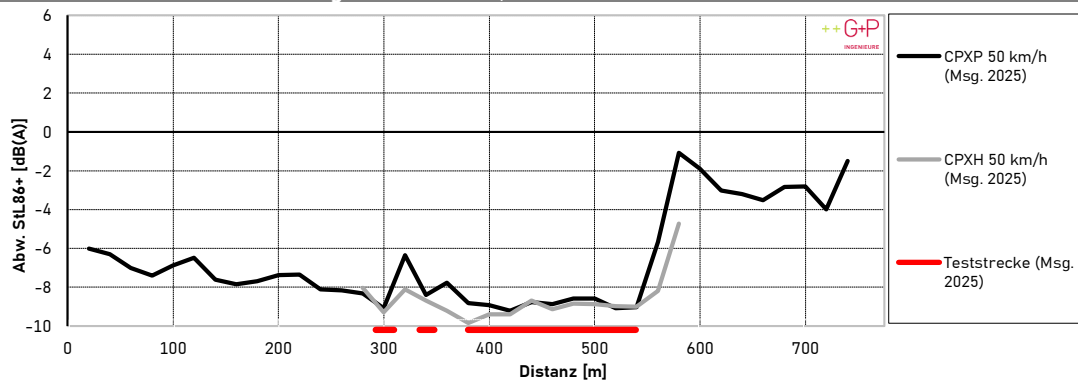
Akustische Belagsgüte im Zeitverlauf



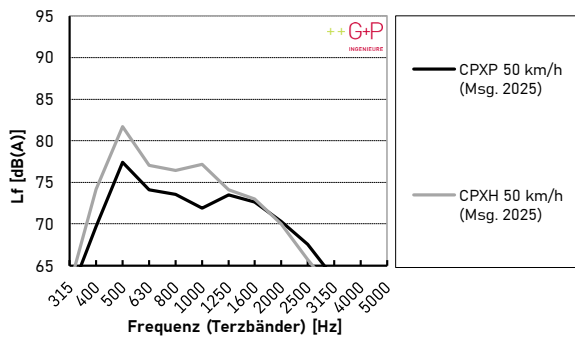
Messjahr	Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2025)	
	L_{CPX}	Abw. StL86+
■ 2025	CPXP (PW)	83.0 -8.9
	Standardabw.	0.2 -
■	CPXH (LKW)	86.0 -9.1
	Standardabw.	0.2 -
■	Mischverkehr (N2=8%)	- -9.0
■	*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente beider Fahrtrichtungen	

30. März 2026

Resultate StL86+ Fahrtrichtung Ost (Radspur)



Frequenzanalyse



Messfahrten	P1	H1
Anzahl	3	3
Messgeschw.	50.3	50.3
Standardabw.	0.5	0.4

Mittelwerte* der aktuellsten Messung (2025)

	L _{CPX}	Abw. StL86+
CPXP (PW)	83.0	-8.9
Standardabw.	0.2	-
CPXH (LKW)	86.0	-9.1
Standardabw.	0.2	-

*arithmetischer MW über alle gültigen Messsegmente der Fahrbahn

30. März 2026

IX Faktenblatt Wirkungsanalyse Subingen, Luzernstrasse: SDA 4-12 (Radspur)



Belagsakustische Wirkungsanalysen Neuzustand

Teststrecke

Einbaudatum:	12.06.2025
Länge:	260 m
Steigung:	n.a.
Durchschn. tägl. Verkehr	
DTV SN 640 005a:	n.a.
Anteil LKW (tags):	n.a.
Geschwindigkeit:	50

Analysequerschnitt

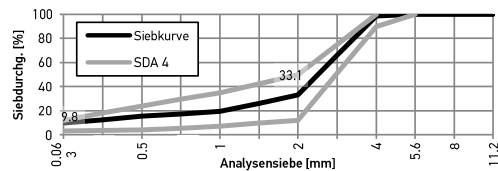
Koordinaten:	X = 227073 Y = 613776
Messdatum:	2025
Beschreibung Lage:	

Informationen zum Belag

Belagstyp	SDA 4-12
-----------	----------

Mischgutuntersuchung

Hohlraum (Marshal) MW:	13.5 % (Vol)
löslicher Bindemittelanteil:	6.1 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke

Analysequerschnitt

n.a.

Teststrecke

MW: 38.3 mm
min: 31 mm
max: 41 mm
MW: 12.9 % (Vol)
min: 11.2 % (Vol)
max: 14 % (Vol)
MW: 100.7 %
min: 98.8 %
max: 103.4 %

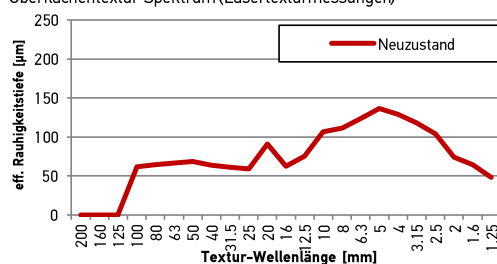
Hohlraumgehalt

n.a.

Verdichtungsgrad

n.a.

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



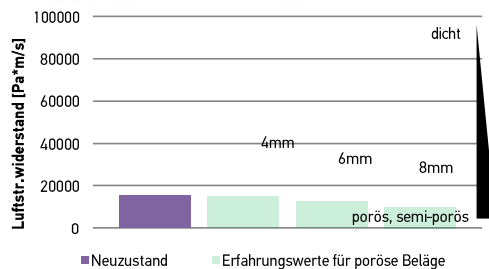
Oberflächentextur

MPD	0.53 mm
Rautiefe (ETD)	0.63 mm
Gestaltfaktor (g)	0.8 %
A _{max} :	136.8 µm
λ (A _{max}):	5 mm

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst: 15174 Pa*s/m

max. Durchfluss: n.a.

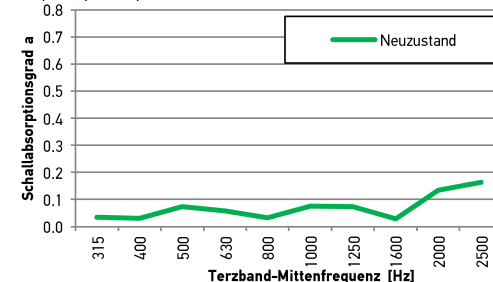


Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)

α max: 0.16

Frequenz (α max): 2500 Hz



30. März 2026

Subingen, Luzernstrasse: SDA 4-12 (Radspur)

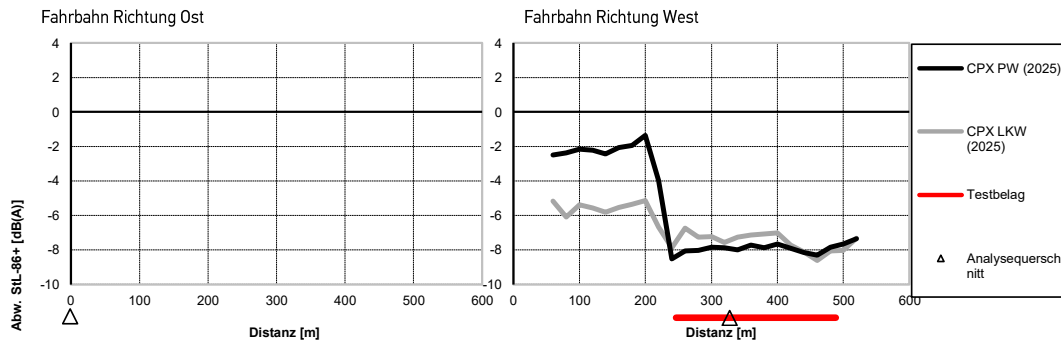
Belagsakustische Wirkungsanalysen
Neuzustand

Testbelag

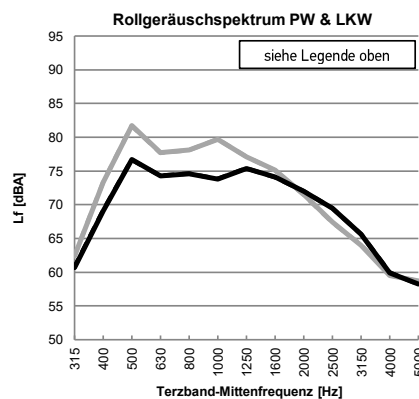
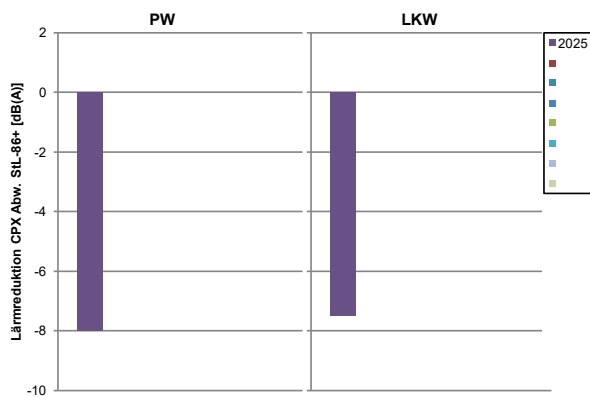
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -8 dB(A)
MW (CPXP): 83.7 dB(A)
Std.Abw.: 0.2 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -7.5 dB(A)
MW (CPXH): 87.1 dB(A)
Std.Abw.: 0.4 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysesequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessung (SPB)

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

Rollgeräuschmessungen CPX

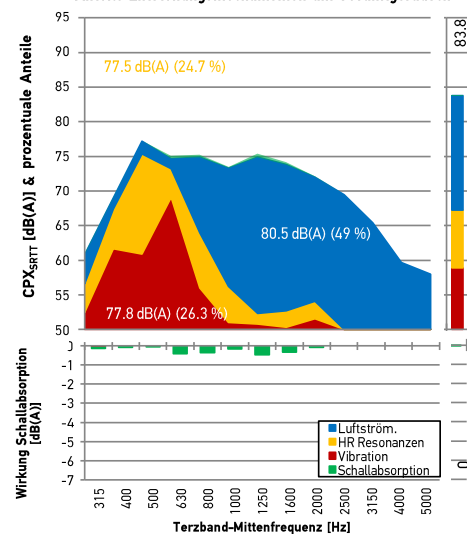
PW: -7.9 dB(A) Abw. StL86+
83.8 dB(A) CPXP
LKW: -7.6 dB(A) Abw. StL86+
87.1 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

Anteile Lärmstehungsarten am Gesamtgeräusch
- Luftströmungsschall: 80.5 dB(A) (49 %)
- Vibrationsschall: 77.8 dB(A) (26.3 %)
- Hohlraumresonanzen: 77.5 dB(A) (24.7 %)

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)
- max.: 0.5 dB(A)
- Frequenz: 1250 Hz
- Wirkung Total: 0 dB(A)

Anteile Entstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



30. März 2026

Subingen, Luzernstrasse: SDA 4-16 (Radspur)

Belagsakustische Wirkungsanalysen Neuzustand



Teststrecke

Einbaudatum:	11.06.2025
Länge:	260 m
Steigung:	n.a.
Durchschn. tägl. Verkehr	
DTV SN 640 005a:	n.a.
Anteil LKW (tags):	n.a.
Geschwindigkeit:	50

Analysequerschnitt

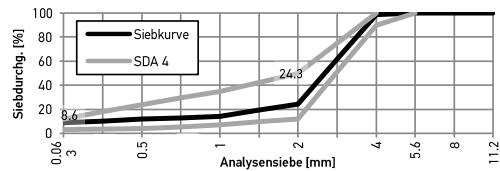
Koordinaten:	X = 227069 Y = 613773
Messdatum:	2025
Beschreibung Lage:	

Informationen zum Belag

Belagstyp	SDA 4-16
-----------	----------

Mischgutuntersuchung

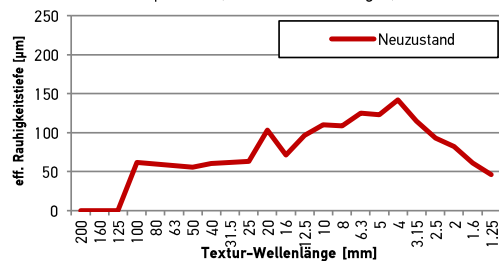
Hohlraum (Marshal) MW:	17.8 % (Vol)
löslicher Bindemittelanteil:	5.9 % (Mass)



Bohrkernuntersuchung

Schichtdicke	n.a.	Teststrecke	MW: 42.3 mm min: 39 mm max: 47 mm
Hohlraumgehalt	n.a.		MW: 19.9 % (Vol) min: 18.5 % (Vol) max: 21.3 % (Vol)
Verdichtungsgrad	n.a.		MW: 97.5 % min: 94.5 % max: 99.4 %

Oberflächentextur-Spektrum (Lasertexturmessungen)



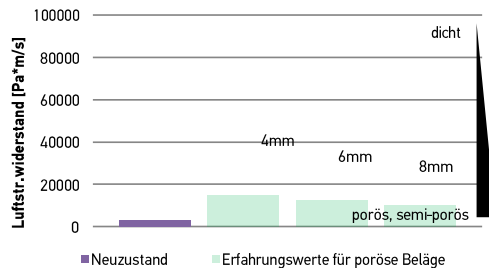
Oberflächentextur

MPD	0.62 mm
Rautiefe (ETD)	0.7 mm
Gestaltfaktor (g)	0.8 %
A _{max} :	142 µm
λ (A _{max}):	4 mm

Luftströmungswiderstand

Luftströmungswiderst:	3202 Pa*s/m
-----------------------	-------------

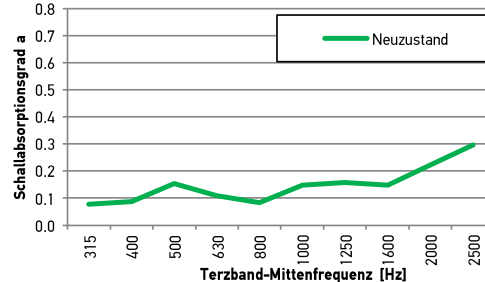
max. Durchfluss	n.a.
-----------------	------



Schallabsorptionsmessungen

Schallabsorptionsgrad α (PU-Verfahren)	
--	--

α max:	0.3
Frequenz (α max.):	2500 Hz



30. März 2026

Subingen, Luzernstrasse: SDA 4-16 (Radspur)

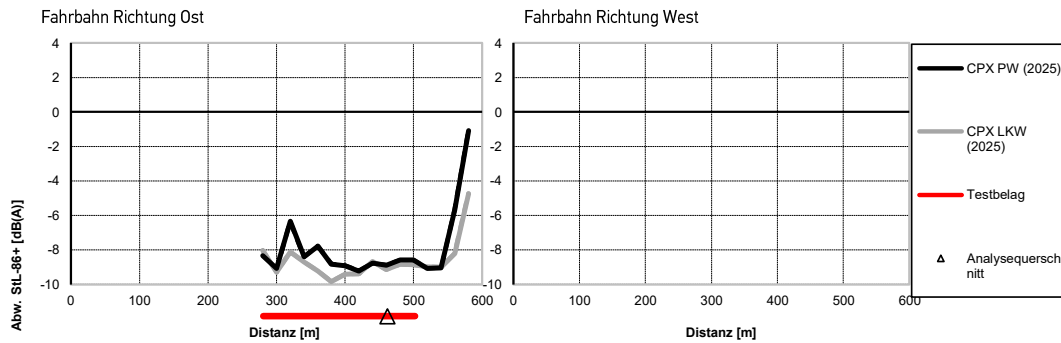
Belagsakustische Wirkungsanalysen
Neuzustand

Testbelag

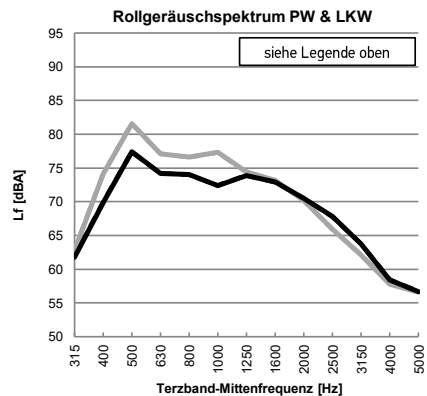
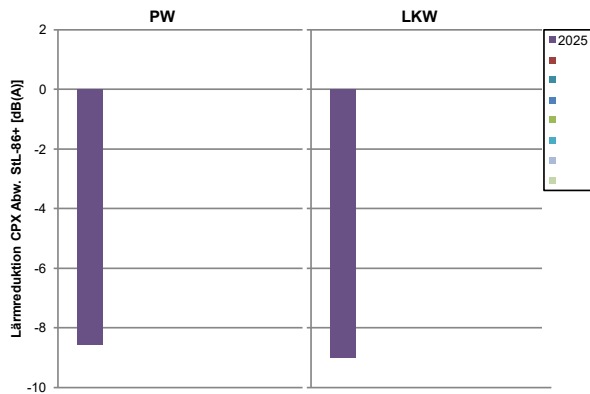
Rollgeräuschmessungen CPX

Personenwagen PW: MW (Abw. StL86+): -8.6 dB(A)
MW (CPXP): 83.2 dB(A)
Std.Abw.: 0.6 dB(A)

Schwere Fz. LKW: MW (Abw. StL86+): -9 dB(A)
MW (CPXH): 86 dB(A)
Std.Abw.: 0.3 dB(A)



Rollgeräusch CPX im Zeitverlauf & Rollgeräuschspektrum



Analysequerschnitt

Statistische Vorbeifahrtmessung (SPB)

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

Rollgeräuschmessungen CPX

PW: -8.9 dB(A) Abw. StL86+
82.9 dB(A) CPXP
LKW: -9.1 dB(A) Abw. StL86+
85.9 dB(A) CPXH

Detailanalyse & Modellierung (SPERoN)

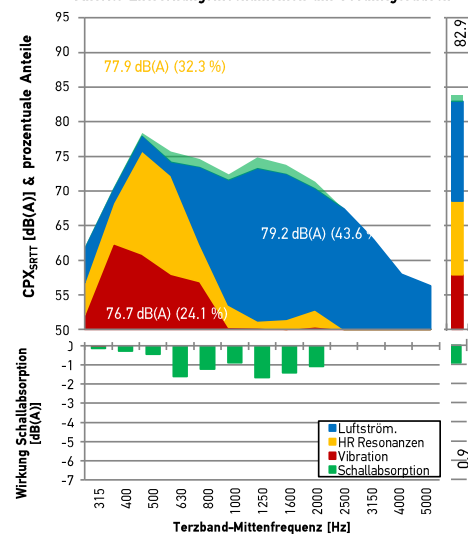
Anteile Lärmstehungsarten am Gesamtgeräusch

- Luftströmungsschall: 79.2 dB(A) (43.6 %)
- Vibrationsschall: 76.7 dB(A) (24.1 %)
- Hohlraumresonanzen: 77.9 dB(A) (32.3 %)

Wirkung Schallabsorption (CPX, PW)

- max.: 1.7 dB(A)
- Frequenz: 1250 Hz
- Wirkung Total: 0.9 dB(A)

Anteile Entstehungsmechanismen am Gesamtgeräusch



30. März 2026

X Faktenblätter 3D-Textur

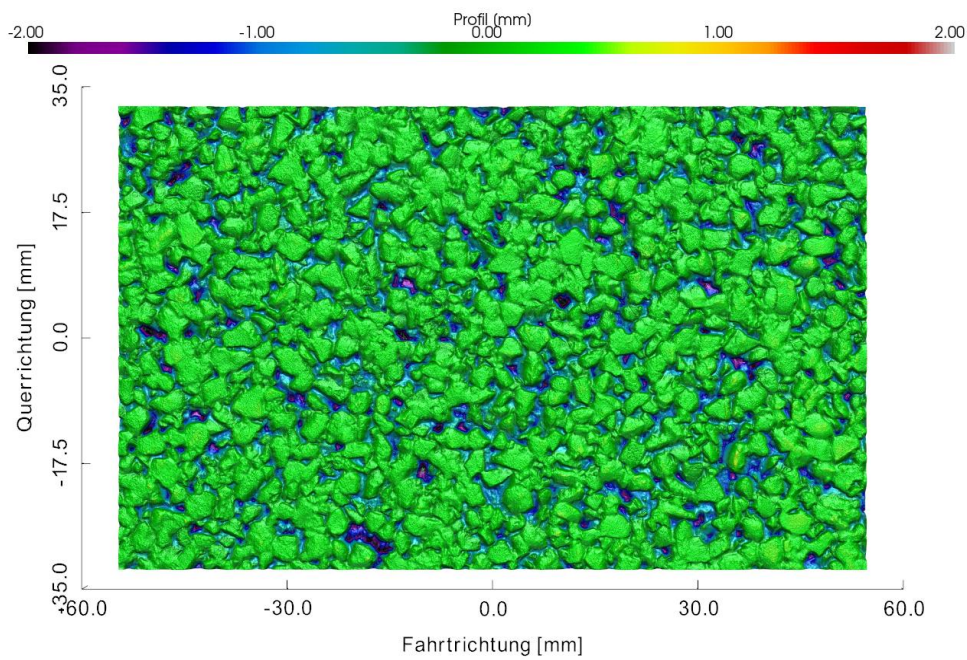
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:04
Ort	Luzernstrasse

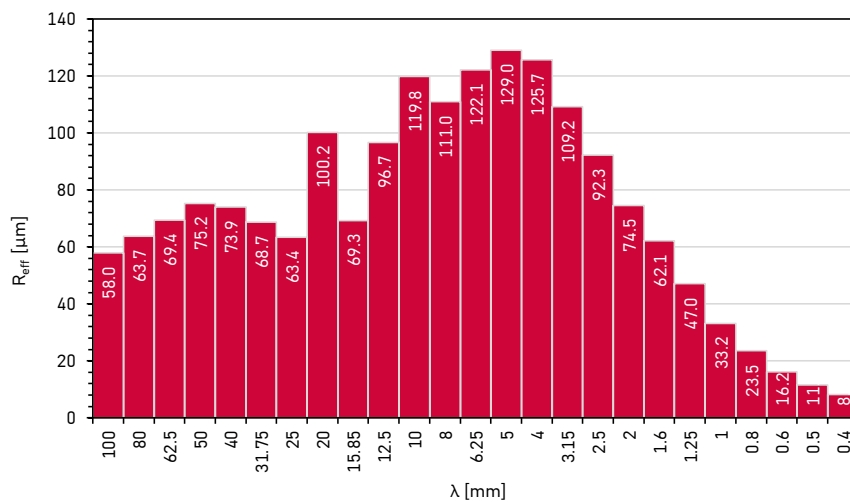
Belagstyp	SDA 4-12
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R _{eff} [µm]
100	58.0
80	63.7
62.5	69.4
50	75.2
40	73.9
31.75	68.7
25	63.4
20	100.2
15.85	69.3
12.5	96.7
10	119.8
8	111.0
6.25	122.1
5	129.0
4	125.7
3.15	109.2
2.5	92.3
2	74.5
1.6	62.1
1.25	47.0
1	33.2
0.8	23.5
0.6	16.2
0.5	11.5
0.4	8.1

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.55
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.64
Gestaltfaktor g	%	79.3%

30. März 2026

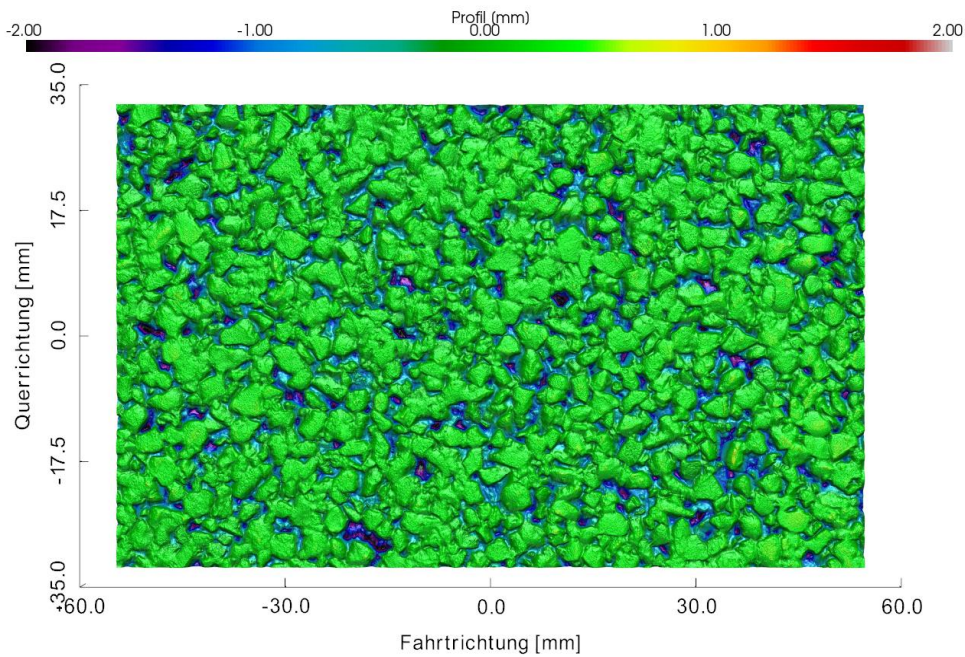
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:05
Ort	Luzernstrasse

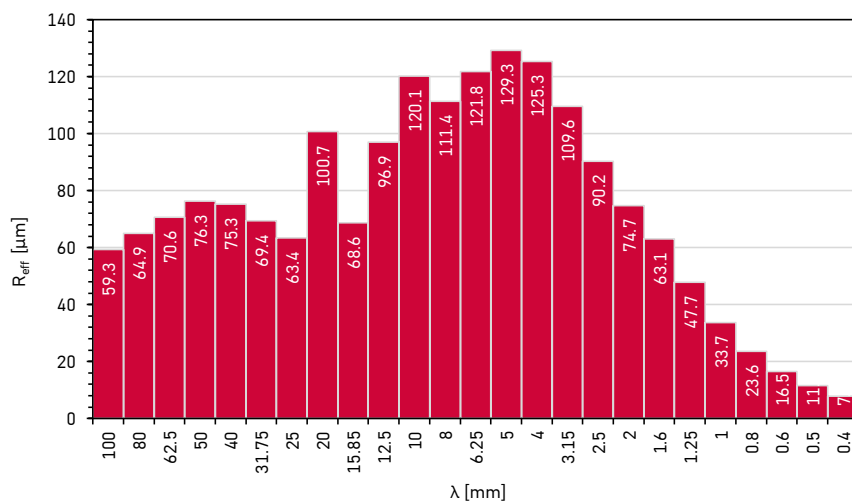
Belagstyp	SDA 4-12
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R _{eff} [µm]
100	59.3
80	64.9
62.5	70.6
50	76.3
40	75.3
31.75	69.4
25	63.4
20	100.7
15.85	68.6
12.5	96.9
10	120.1
8	111.4
6.25	121.8
5	129.3
4	125.3
3.15	109.6
2.5	90.2
2	74.7
1.6	63.1
1.25	47.7
1	33.7
0.8	23.6
0.6	16.5
0.5	11.5
0.4	7.8

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.55
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.64
Gestaltfaktor q	%	79.7%

30. März 2026

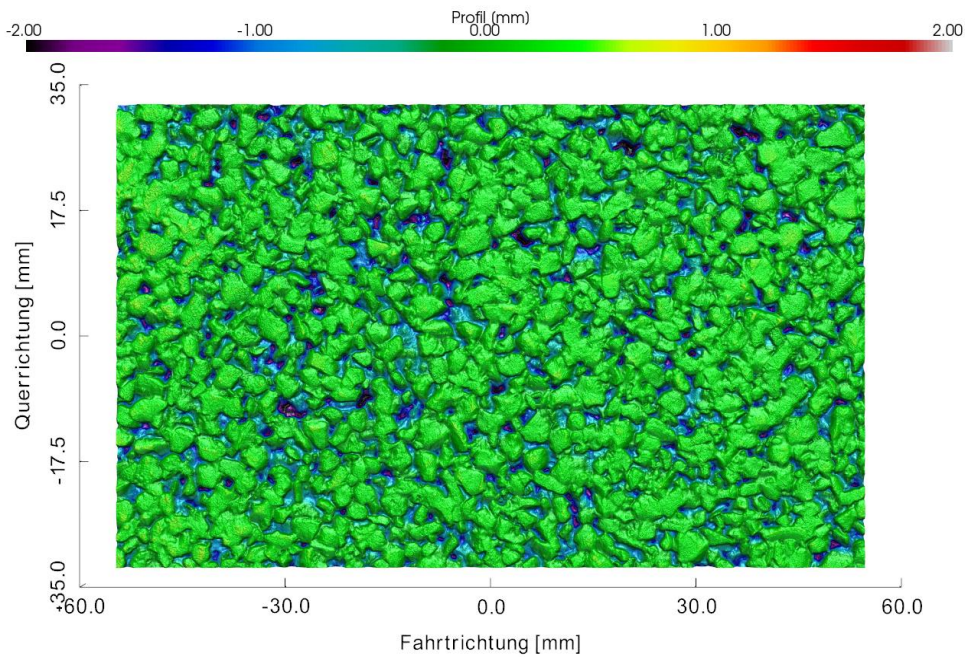
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:05
Ort	Luzernstrasse

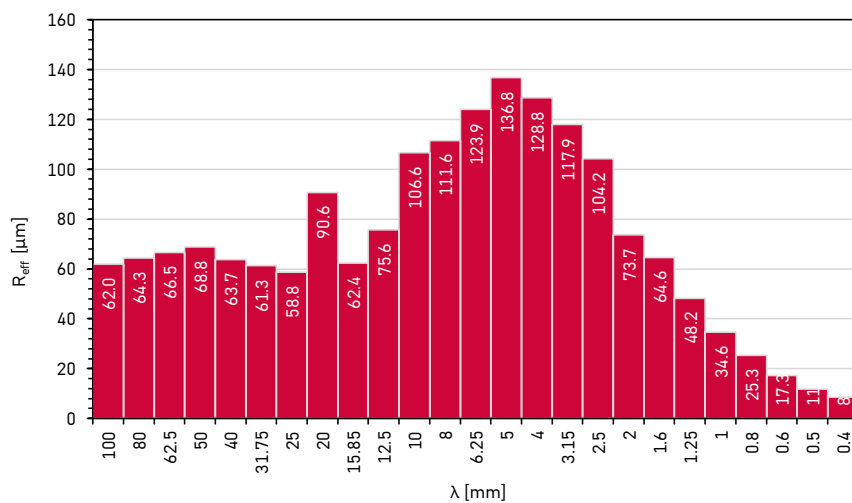
Belagstyp	SDA 4-12
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [μm]
100	62.0
80	64.3
62.5	66.5
50	68.8
40	63.7
31.75	61.3
25	58.8
20	90.6
15.85	62.4
12.5	75.6
10	106.6
8	111.6
6.25	123.9
5	136.8
4	128.8
3.15	117.9
2.5	104.2
2	73.7
1.6	64.6
1.25	48.2
1	34.6
0.8	25.3
0.6	17.3
0.5	11.8
0.4	8.6

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.53
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.63
Gestaltfaktor q	%	80.9%

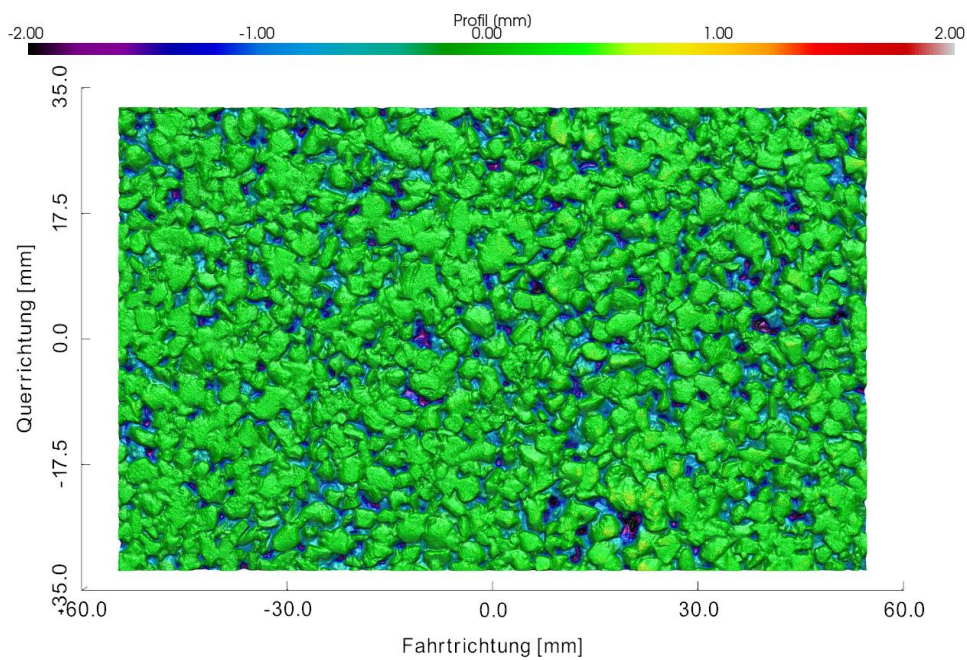
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:06
Ort	Luzernstrasse

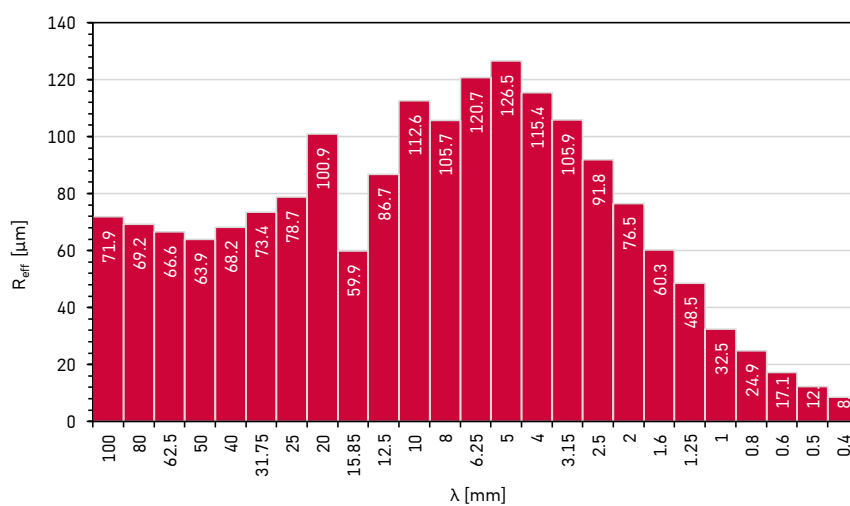
Belagstyp	SDA 4-12
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [μm]
100	71.9
80	69.2
62.5	66.6
50	63.9
40	68.2
31.75	73.4
25	78.7
20	100.9
15.85	59.9
12.5	86.7
10	112.6
8	105.7
6.25	120.7
5	126.5
4	115.4
3.15	105.9
2.5	91.8
2	76.5
1.6	60.3
1.25	48.5
1	32.5
0.8	24.9
0.6	17.1
0.5	12.2
0.4	8.5

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.55
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.64
Gestaltfaktor q	%	80.5%

30. März 2026

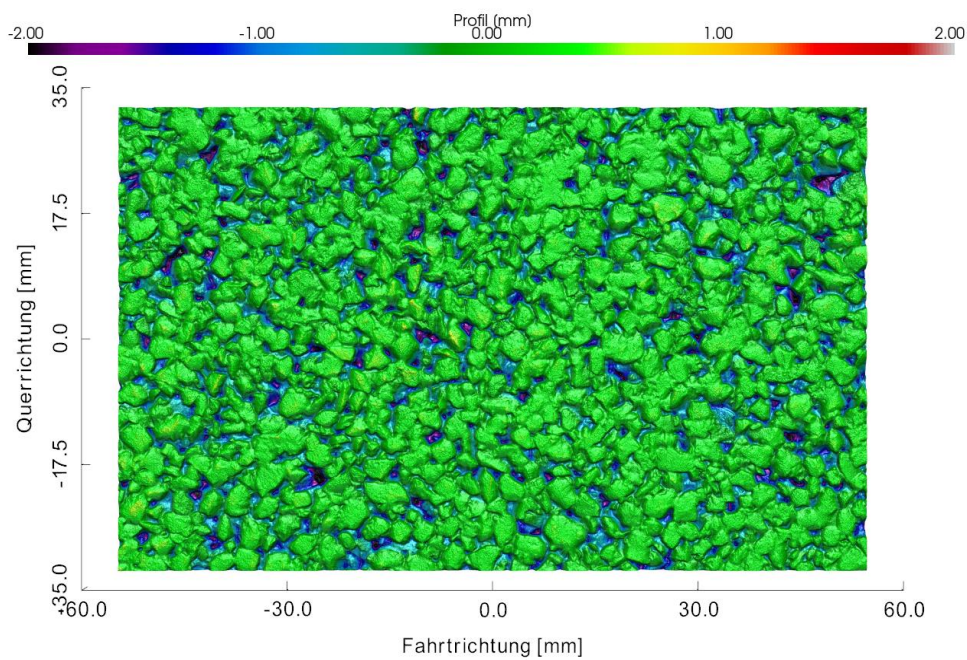
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:06
Ort	Luzernstrasse

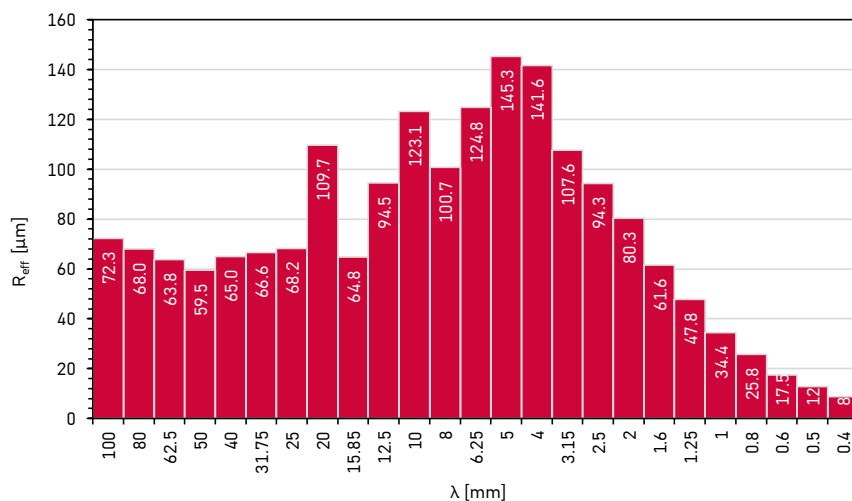
Belagstyp	SDA 4-12
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R _{eff} [µm]
100	72.3
80	68.0
62.5	63.8
50	59.5
40	65.0
31.75	66.6
25	68.2
20	109.7
15.85	64.8
12.5	94.5
10	123.1
8	100.7
6.25	124.8
5	145.3
4	141.6
3.15	107.6
2.5	94.3
2	80.3
1.6	61.6
1.25	47.8
1	34.4
0.8	25.8
0.6	17.5
0.5	12.7
0.4	8.8

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.58
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.67
Gestaltfaktor q	%	81.8%

30. März 2026

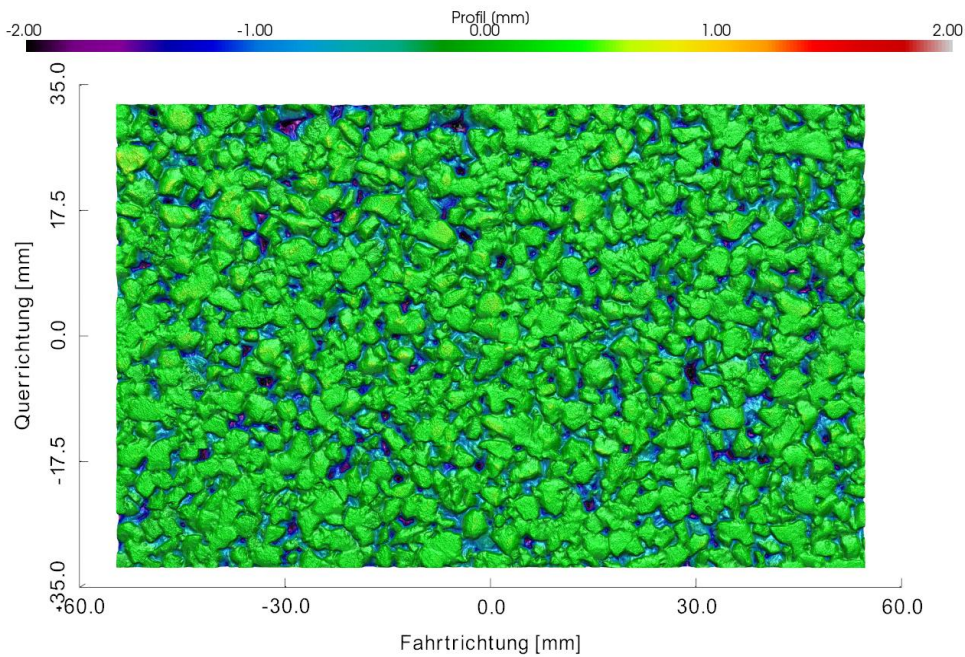
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:07
Ort	Luzernstrasse

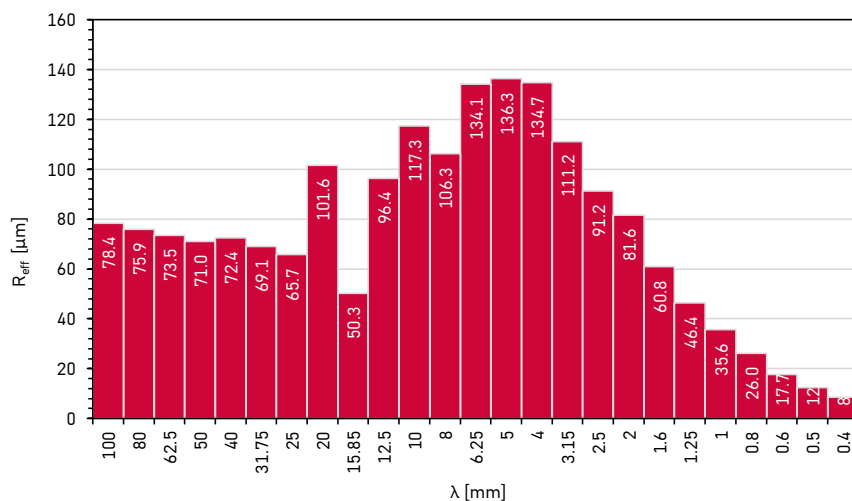
Belagstyp	SDA 4-12
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [μ m]
100	78.4
80	75.9
62.5	73.5
50	71.0
40	72.4
31.75	69.1
25	65.7
20	101.6
15.85	50.3
12.5	96.4
10	117.3
8	106.3
6.25	134.1
5	136.3
4	134.7
3.15	111.2
2.5	91.2
2	81.6
1.6	60.8
1.25	46.4
1	35.6
0.8	26.0
0.6	17.7
0.5	12.4
0.4	8.6

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.57
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.65
Gestaltfaktor q	%	82.1%

30. März 2026

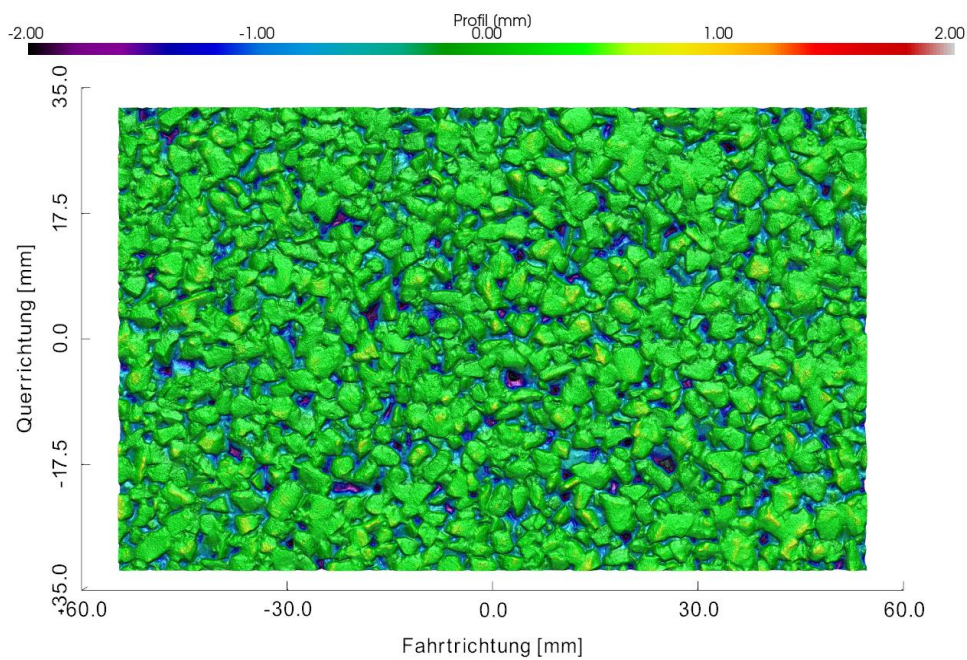
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:10
Ort	Luzernstrasse

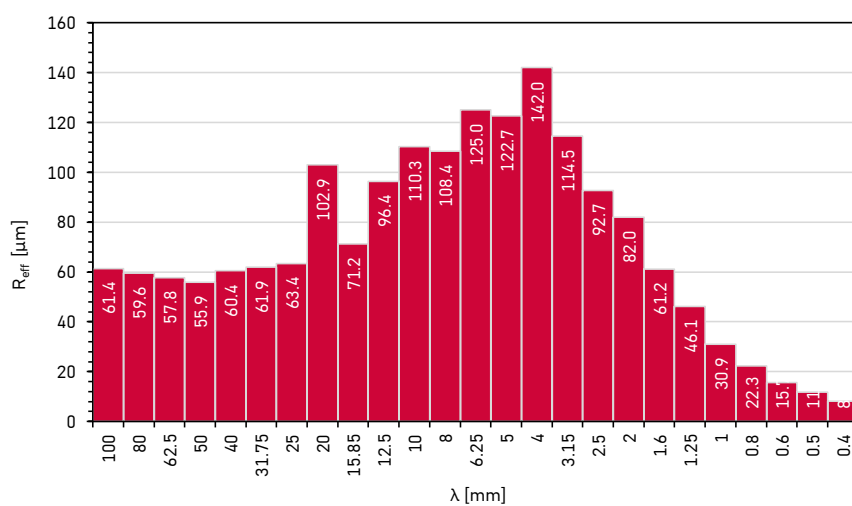
Belagstyp	SDA 4-16
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [μ m]
100	61.4
80	59.6
62.5	57.8
50	55.9
40	60.4
31.75	61.9
25	63.4
20	102.9
15.85	71.2
12.5	96.4
10	110.3
8	108.4
6.25	125.0
5	122.7
4	142.0
3.15	114.5
2.5	92.7
2	82.0
1.6	61.2
1.25	46.1
1	30.9
0.8	22.3
0.6	15.7
0.5	11.7
0.4	8.2

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.62
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.70
Gestaltfaktor q	%	78.1%

30. März 2026

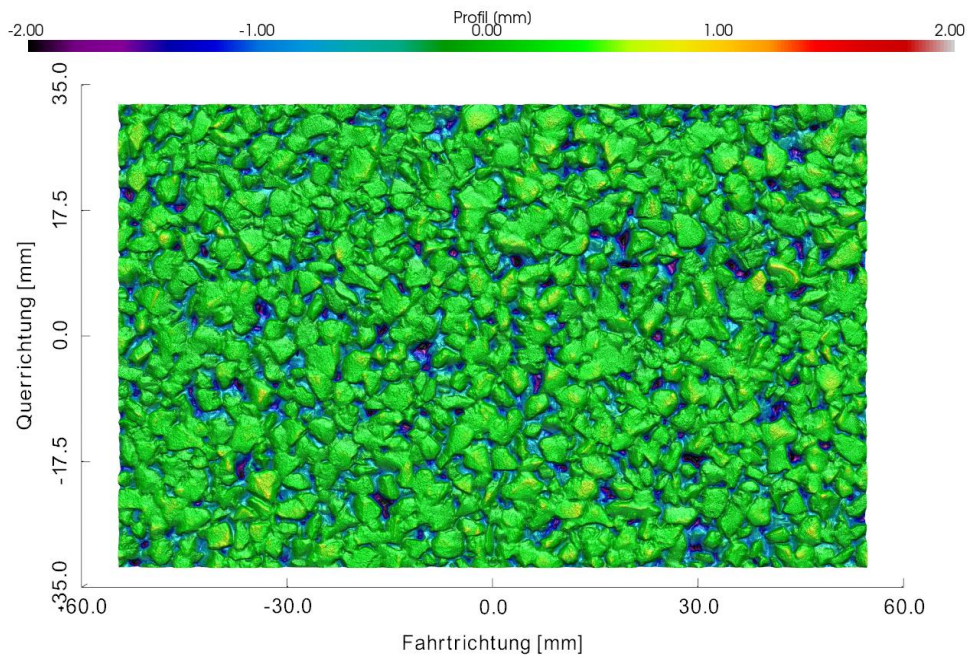
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:11
Ort	Luzernstrasse

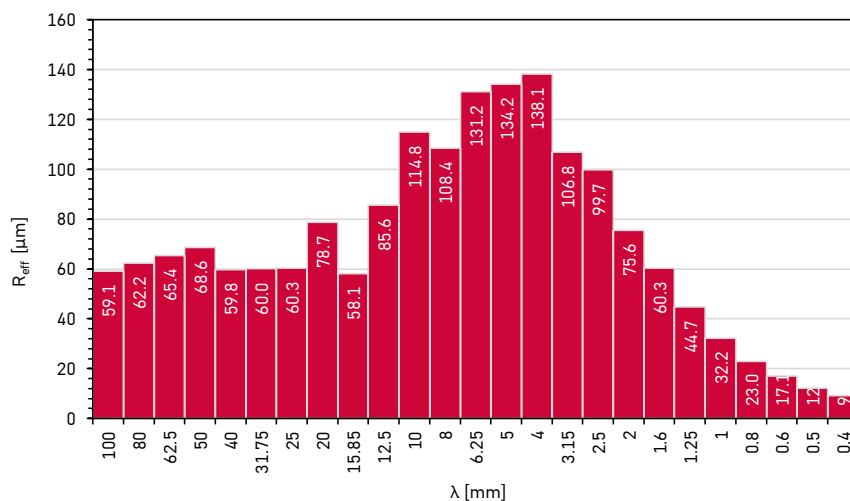
Belagstyp	SDA 4-16
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [µm]
100	59.1
80	62.2
62.5	65.4
50	68.6
40	59.8
31.75	60.0
25	60.3
20	78.7
15.85	58.1
12.5	85.6
10	114.8
8	108.4
6.25	131.2
5	134.2
4	138.1
3.15	106.8
2.5	99.7
2	75.6
1.6	60.3
1.25	44.7
1	32.2
0.8	23.0
0.6	17.1
0.5	12.1
0.4	9.1

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.61
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.69
Gestaltfaktor q	%	74.9%

30. März 2026

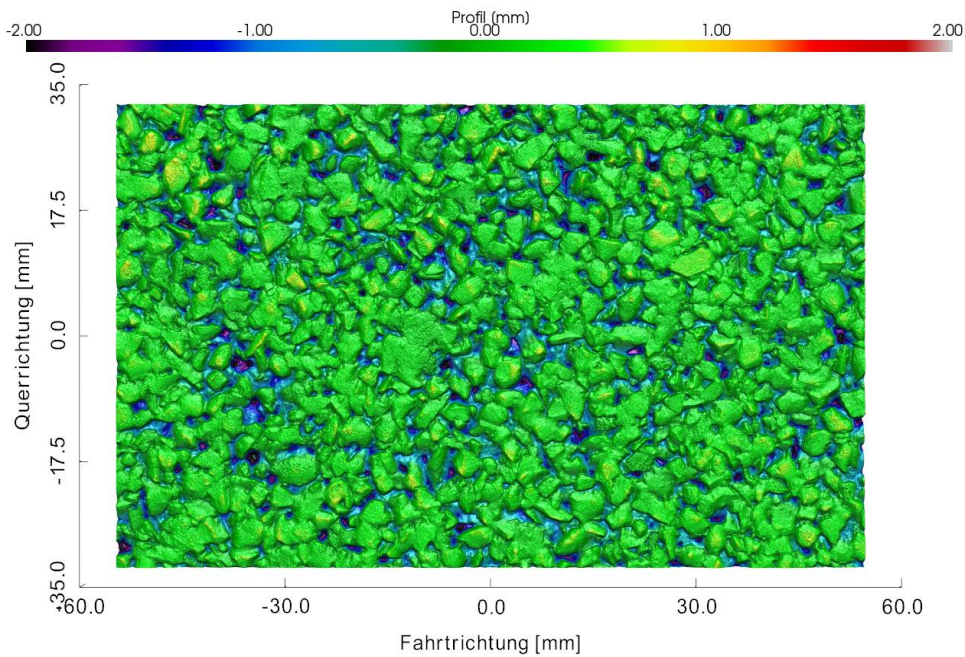
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:11
Ort	Luzernstrasse

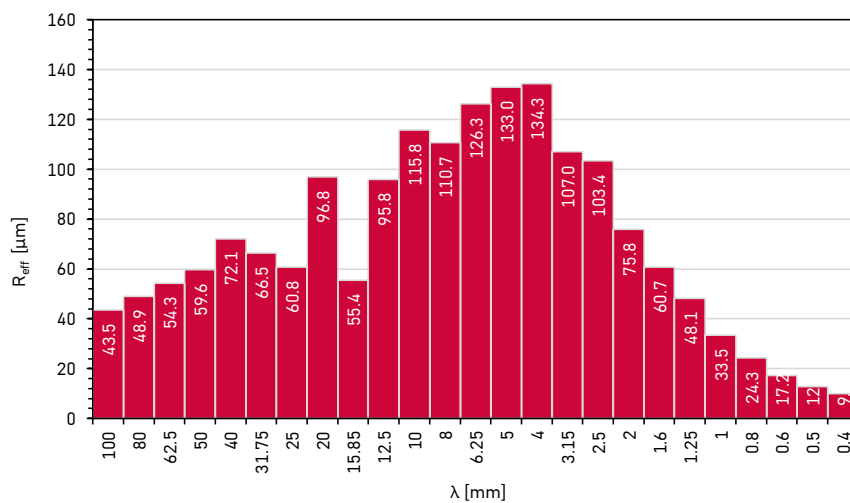
Belagstyp	SDA 4-16
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [µm]
100	43.5
80	48.9
62.5	54.3
50	59.6
40	72.1
31.75	66.5
25	60.8
20	96.8
15.85	55.4
12.5	95.8
10	115.8
8	110.7
6.25	126.3
5	133.0
4	134.3
3.15	107.0
2.5	103.4
2	75.8
1.6	60.7
1.25	48.1
1	33.5
0.8	24.3
0.6	17.2
0.5	12.7
0.4	9.9

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.64
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.71
Gestaltfaktor q	%	77.2%

30. März 2026

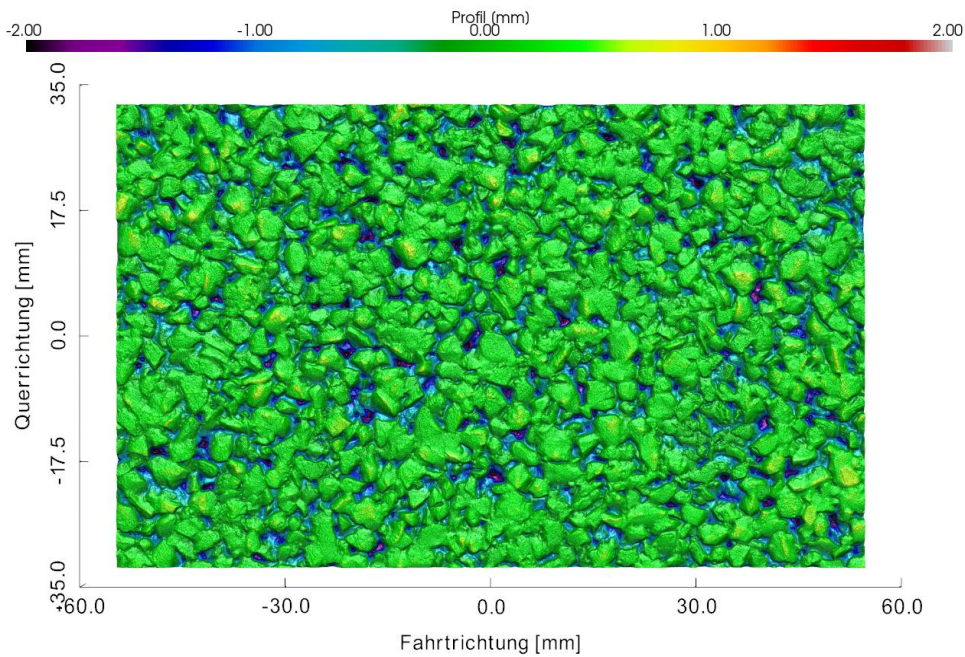
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:12
Ort	Luzernstrasse

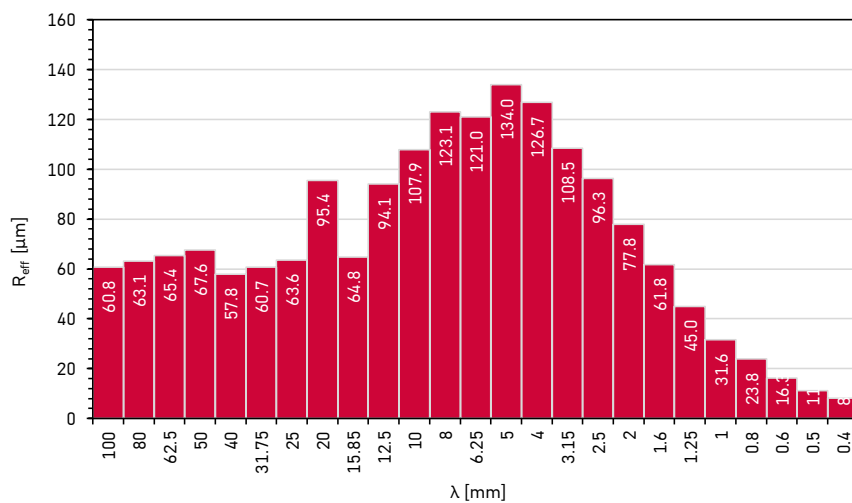
Belagstyp	SDA 4-16
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [μ m]
100	60.8
80	63.1
62.5	65.4
50	67.6
40	57.8
31.75	60.7
25	63.6
20	95.4
15.85	64.8
12.5	94.1
10	107.9
8	123.1
6.25	121.0
5	134.0
4	126.7
3.15	108.5
2.5	96.3
2	77.8
1.6	61.8
1.25	45.0
1	31.6
0.8	23.8
0.6	16.3
0.5	11.2
0.4	8.2

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.57
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.66
Gestaltfaktor q	%	78.1%

30. März 2026

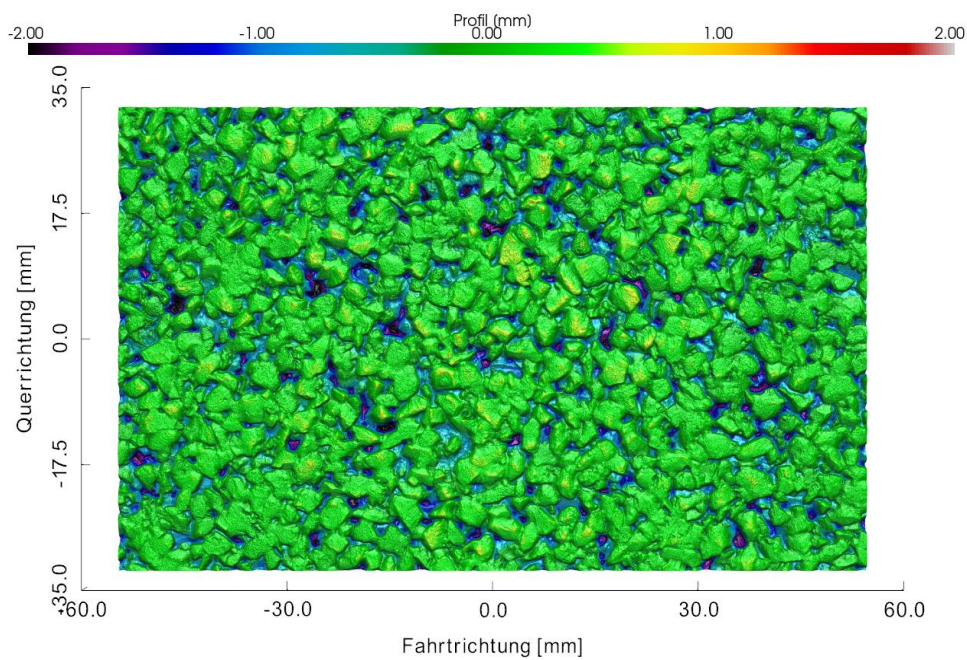
Faktenblatt 3D-Textur

Patch-Info

Name	Subingen
Aufnahmezeit	29.09.2025 14:12
Ort	Luzernstrasse

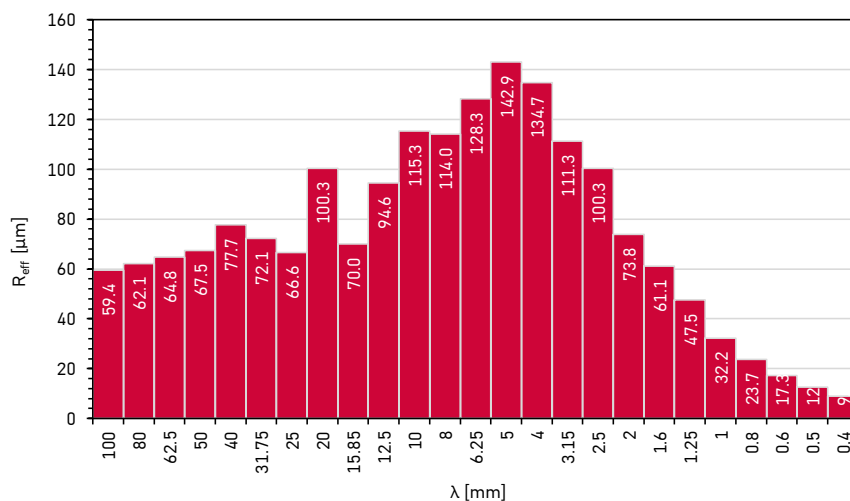
Belagstyp	SDA 4-16
Belagsjahr	2025
Scan-Auflösung	0.050 mm

3D-Modell



Texturparameter

Terzbandanalyse



λ [mm]	R_{eff} [μm]
100	59.4
80	62.1
62.5	64.8
50	67.5
40	77.7
31.75	72.1
25	66.6
20	100.3
15.85	70.0
12.5	94.6
10	115.3
8	114.0
6.25	128.3
5	142.9
4	134.7
3.15	111.3
2.5	100.3
2	73.8
1.6	61.1
1.25	47.5
1	32.2
0.8	23.7
0.6	17.3
0.5	12.6
0.4	9.0

Texturparameter	Einheit	Wert
Mittlere Profiltiefe MPD	mm	0.59
Estimated Profile Depth ETD	mm	0.67
Gestaltfaktor q	%	83.3%

30. März 2026

XI Faktenblätter AVCA

Akustische Hohlraumanalyse (AVCA)
Subingen, Luzernstrasse



Strasse

Luzernstrasse

Belagstyp

SDA 4-12

Entnahmepunkt

X = 2'613'773

Y = 1'227'071

Datum: Jul 05

CT- Scan Analyse

Schichtdicke: 35 mm

Ø Hohlraumgehalt: 15.8%

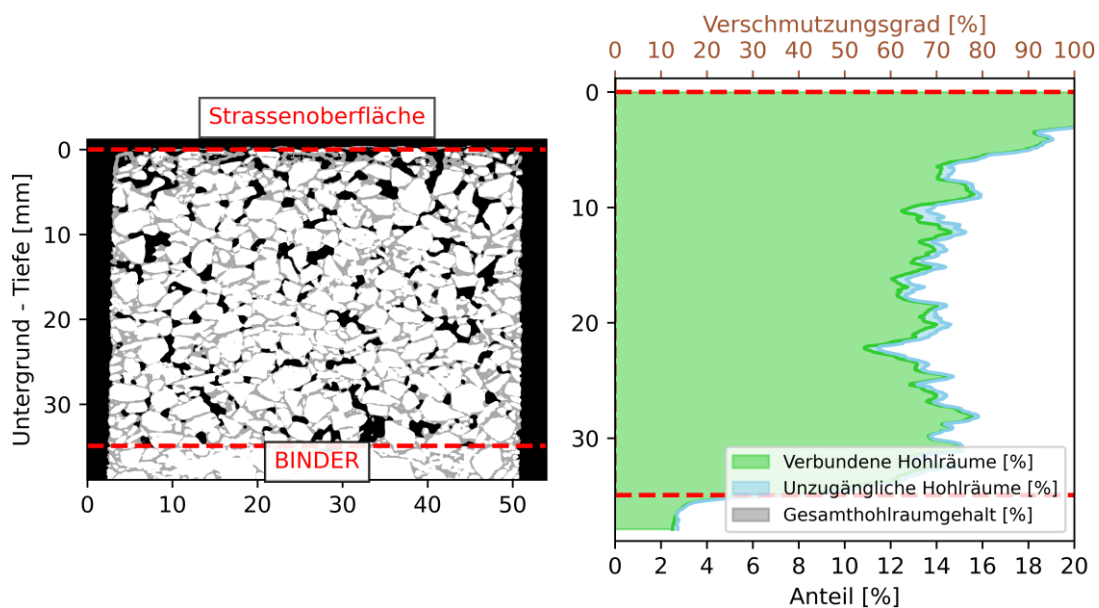
Ø zug. Hohlraumgehalt: 15.2%

Ø Verschmutzungsgrad 0.0%

Voxel-Grösse -

Analyse zugänglicher Hohlräume

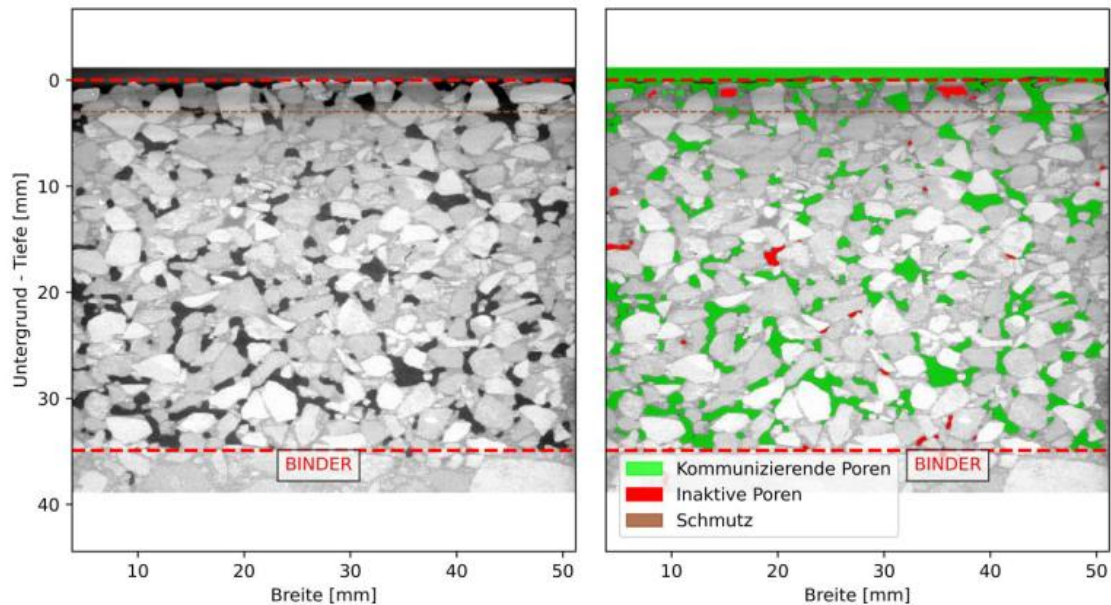
	# zugänglicher Poren	zugänglicher HR-Gehalt [%]	Verschmutzungsgrad [%]	Gesamthohlraumgehalt [%]
Unterhalb Oberflächenporen (4mm)	174	18.8%	0%	19%
10 mm unter Fahrbahn	143	13.0%	0%	14%
20 mm unter Fahrbahn	184	13.6%	0%	14%
30 mm unter Fahrbahn	191	13.7%	0%	14%



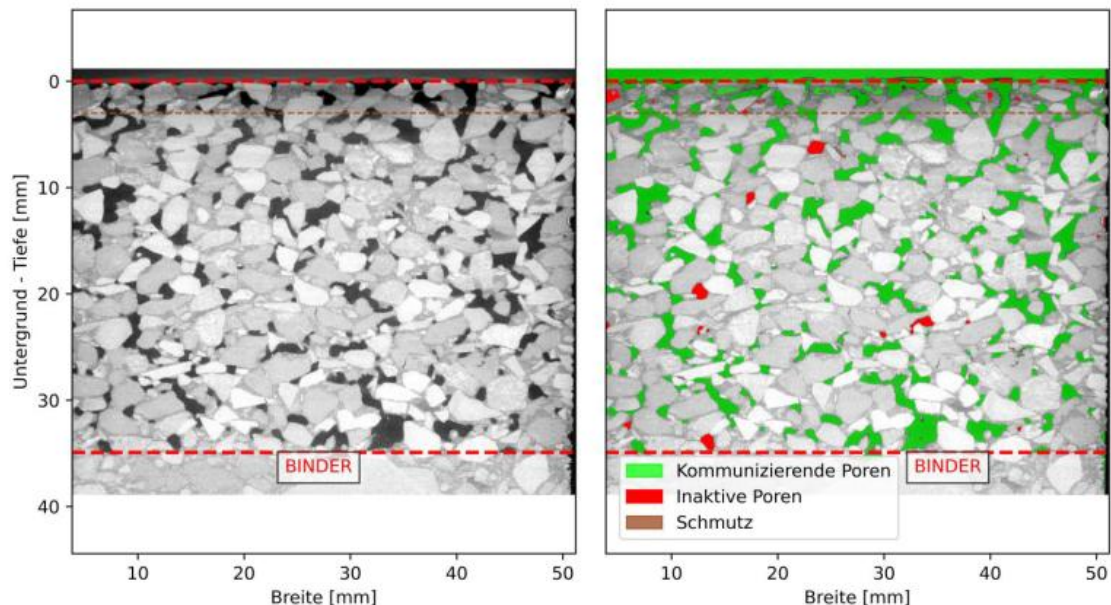
30. März 2026

Querschnittsbilder:

Schnitt-Nr: 800 (24 mm)



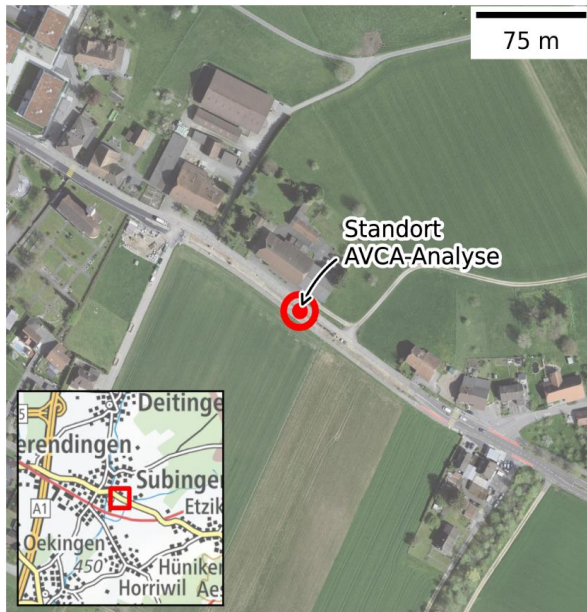
Schnitt-Nr: 1000 (30 mm)



Kommentare:

- Gesamthohlraumgehalt am Bohrkern beträgt 15.8%
- Es sind über den gesamten Bohrkern kommunizierende Poren vorhanden
- 1 cm unterhalb der Fahrbahn sind mit 13 % zugänglicher Poren eine gut verbundene Schicht mit der Oberfläche vorhanden; Der Luftaustausch mit den tieferen Schichten kann stattfinden

Akustische Hohlraumanalyse (AVCA)
Subingen, Luzernstrasse



Strasse
Luzernstrasse

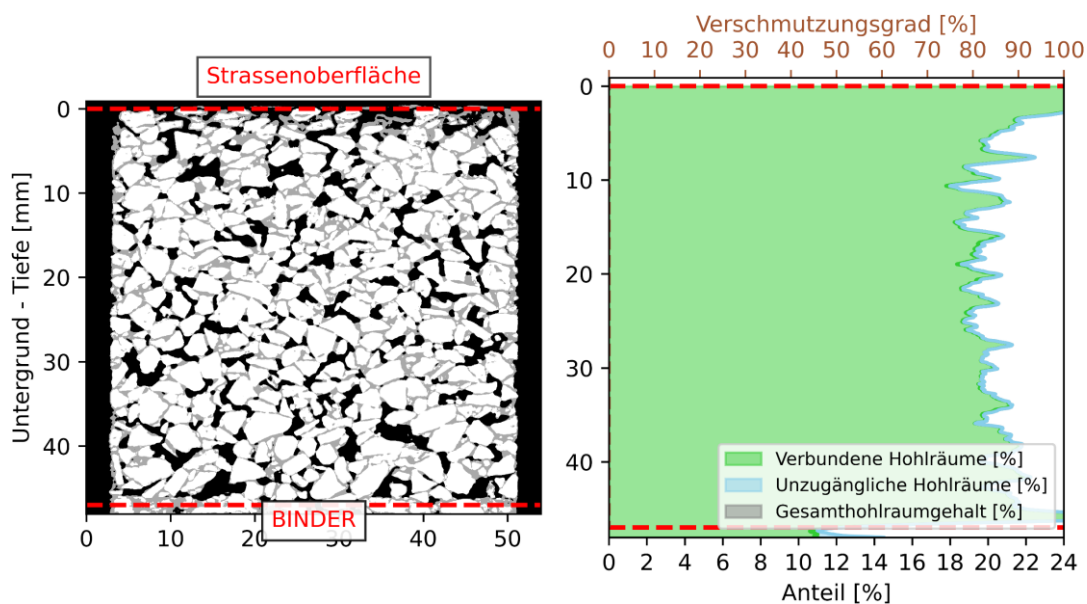
Belagstyp
SDA 4-16

Entnahmepunkt
X = 2'613'774
Y = 1'227'065
Datum: Sep 25

CT- Scan Analyse
Schichtdicke: 35 mm
Ø Hohlraumgehalt: 21.2%
Ø zug. Hohlraumgehalt: 21.0%
Ø Verschmutzungsgrad 0.0%
Voxel-Grösse -

Analyse zugänglicher Hohlräume

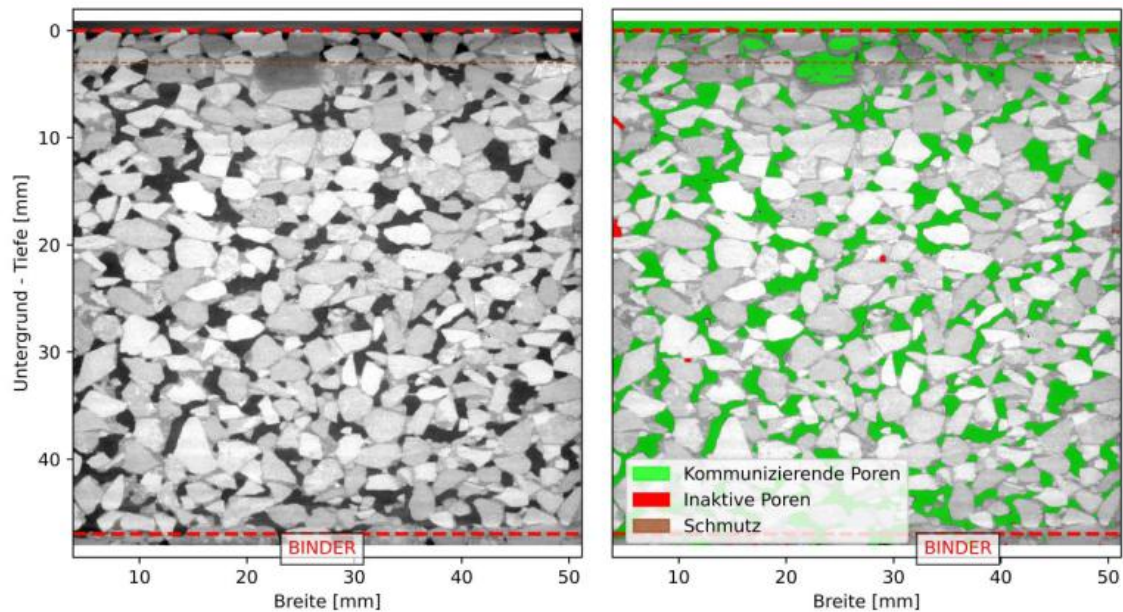
	# zugänglicher Poren	zugänglicher HR-Gehalt [%]	Verschmutzungsgrad [%]	Gesamthohlraumgehalt [%]
Unterhalb Oberflächenporen (4mm)	216	21.8%	0%	22%
10 mm unter Fahrbahn	160	20.3%	0%	21%
20 mm unter Fahrbahn	174	20.3%	0%	20%
30 mm unter Fahrbahn	205	20.2%	0%	20%



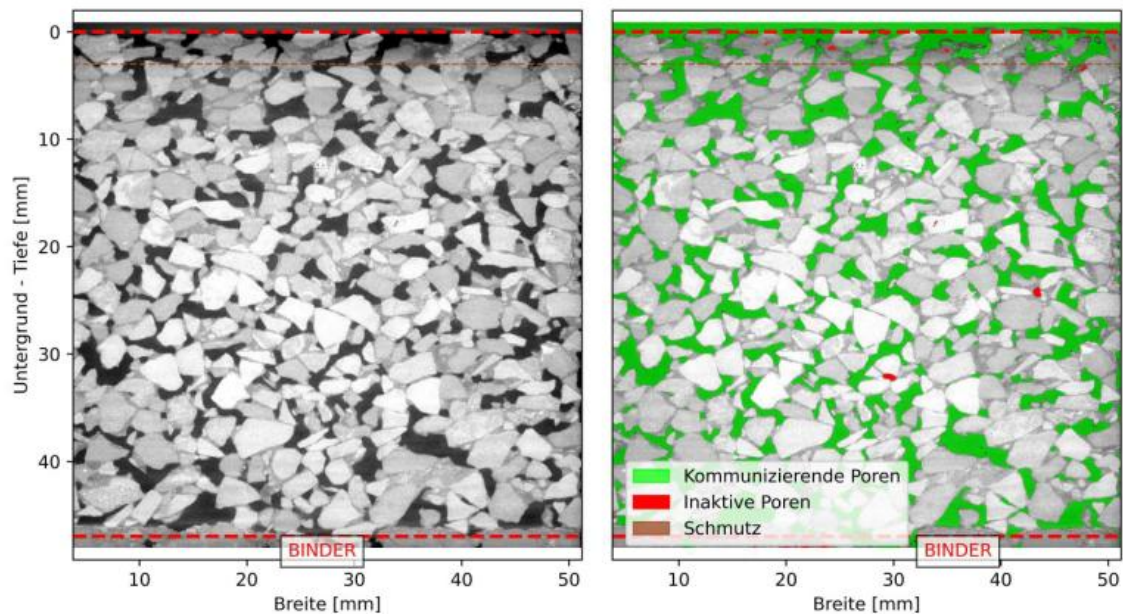
30. März 2026

Querschnittsbilder:

Schnitt-Nr: 800 (24 mm)



Schnitt-Nr: 1000 (30 mm)



Kommentare:

- Gesamthohlraumgehalt am Bohrkern beträgt 21.2%
- Es sind über den gesamten Bohrkern kommunizierende Poren vorhanden
- 1 cm unterhalb der Fahrbahn sind mit 20.3 % zugänglicher Poren eine gut verbundene Schicht mit der Oberfläche vorhanden; Der Luftaustausch mit den tieferen Schichten kann stattfinden