

Widerstandsfähigkeit von semi-dichten Asphalten bei erhöhter Beanspruchung durch schwere Fahrzeuge

Felix Schlatter¹, Hanspeter Gloor³, Dejan Milo³, Erik Bühlmann¹,

¹ Grolimund + Partner AG, Forschung und Entwicklung

³ Departement Bau Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau

Einleitung

Die lärmreduzierenden Eigenschaften von semi-dichten Asphalten (SDA), die bevorzugte Bauweise von leisen Strassenbelägen in der Schweiz, werden oftmals durch kleinere Korngrößen erzielt. Die kleinen Korngrößen können aber zu einer geringeren Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen führen. Ziel dieser Studie ist es, zu ermitteln inwiefern erhöhte Beanspruchungen negative Auswirkungen auf SDA haben und ob allenfalls auf spezifischen Abschnitten mit höheren mechanischen Belastungen auf andere Bauweisen zurückgegriffen werden muss. Hierzu werden auf einer repräsentativen Strecke in Dintikon, Kt. Aargau, Schweiz, drei Abschnitte mit unterschiedlichen mechanischen Belastungen durch schwere Fahrzeuge (Abbiegen, Beschleunigen, konstante Fahrweise) mit einem Referenzabschnitt verglichen. Der SDA4-12 Belag in Dintikon wurde im Jahr 2014 auf einer Länge von 280 m eingebaut und liegt an einer Ausfahrt eines Logistikzentrums und ist somit täglich einer hohen Belastung durch Schwerverkehr ausgesetzt. Täglich verkehren auf diesem Streckenabschnitt ca. 150 LKW's. Um die Eigenschaften des Belags zu erfassen werden die Veränderungen der Oberflächentextur (LCMS-Laser), die Porenzugänglichkeit (Luftströmungswiderstand) und die Lärminderung mit dem Close Proximity Verfahren (CPX) erhoben und verglichen. In der vorliegenden Studie soll gezeigt werden, inwiefern sich die erhöhten mechanischen Beanspruchungen durch schwere Fahrzeuge auf die Oberflächenbeschaffenheit und die lärmindernde Wirkung des semi-dichten Asphalts auswirken.

Methoden

Der SDA4-12 Belag mit Baujahr 2014 in Dintikon zeigte im Streckenverlauf sehr unterschiedliche Zustände. Die unterschiedlichen Belagszustände werden mit einem am Strassenbelag ansässigen Logistikbetrieb und dessen Schwerverkehrsaufkommen in Verbindung gebracht. Denn der Belag wird täglich von ca. 150 LKW's vom Logistikbetrieb befahren. Diese biegen von der Ausfahrt des Firmengeländes mit langsamer Geschwindigkeit auf den Belag ein und beschleunigen nachfolgend (vgl. Abbildung 1).

Die Schwerverkehrsbelastung unterscheidet sich je daher nach Lage zum Logistikzentrum und kann durch folgende Zustände beschrieben werden:

1. drehende Räder der LKWs (direkt bei Ausfahrt)
2. Geradestellung der Räder der LKWs (ca. 20 m nach Ausfahrt)

3. Beschleunigungsfahrt (ca. 100 m nördlich der Ausfahrt)

Damit die Auswirkung der verschiedenen mechanischen Belastungen miteinander verglichen werden können, wurde zu den drei obengenannten Prozessen ein, durch die Ausfahrt unbeeinflusster, Referenzabschnitt definiert, sodass 4 Analysequerschnitte (AQS) gemäss Abbildung 1 resultierten.

Bild kann vorübergehend nicht angezeigt werden (Feb. 2022)

Abbildung 1: Lage der Analysequerschnitte. 1.) Ausfahrt Logistikzentrum, 2.) Geradestellung der Räder, 3.) Beschleunigungsfahrt, 4.) Referenzabschnitt; Pfeile in orange geben die Route der LKW's wieder

Für die Fragestellung zu beantworten, wie sich lärmarme SDA-Beläge unter grosser Schwerverkehrsbelastung verhalten, wurden nachfolgende Analysen durchgeführt.

Akustische Belagsgütemessungen (CPX)

Mit dem CPX-Verfahren (Close-Proximity Measurement) wird der akustische Zustand eines Belages kontinuierlich erfasst. Dazu wird die abgestrahlte Schallenergie zwischen Teststreifensatz (PKW und LKW) und dem Strassenbelag von je zwei Mikrofonen in zwei schallgedämmten Kammern aufgezeichnet.



Abbildung 2: Zugfahrzeug mit Messanhänger CPX

LCMS-Laser

Mittels LCMS-Verfahrens (Laser Crack Measurement System) kann von der Strassenoberfläche flächendeckend eine 3D-Oberfläche aufgenommen werden. Die Messdaten werden in folgendem Bericht als Mean Profile Depth (MPD) und Air Void Content (AVC) angegeben. Dabei stellt der AVC die Differenz zwischen einer glatten 3D-Fläche und der Strassenoberfläche dar.

Luftströmungswiderstand (Porenzugänglichkeit)

Der Luftströmungswiderstand wurde anhand ISO 9053 bestimmt und beschreibt bei SDA-Belägen die Zugänglichkeit des Porenraumes. Je tiefer der Luftströmungswiderstand ausfällt, desto einfacher kann die Luft aus der Kontaktzone zwischen Reifen und Fahrbahn entweichen und in den Belag vordringen, was zu einer Abnahme des Luftströmungsschalls führt.

Ergebnisse

Akustische Belagsgüteuntersuchungen (Vgl. Abbildung 3) zeigten, dass der Belag gerade im Bereich der Ausfahrt des Logistikzentrums um ca. 1.5 – 2 dB schlechtere akustische Eigenschaften aufweist.

Bild kann vorübergehend nicht angezeigt werden (Feb. 2022)

Abbildung 3: Akustische Belagsgütemessungen auf lärmarmem Belag vor Logistikzentrum.

Abbildung 4 zeigt links den Verlauf der akustischen Belagsgüte für PKW und LKW Reifen am Referenzabschnitt (AQS 4) und der rechte Teil der Abbildung den Verlauf bei der Ausfahrt des Logistikzentrums (AQS 1). Im Vergleich zum Referenzabschnitt nimmt die akustische Belagsgüte bei der Ausfahrt deutlich stärker ab.

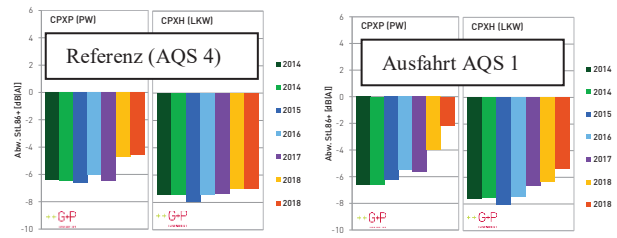


Abbildung 4: Zeitreihen der Belagsgütemessungen an der Referenz (AQS 4) und an der Ausfahrt des Logistikzentrums (AQS 1)

Texturveränderungen

Die Abbildung 5 zeigt die Belagsfotos auf der Spur Richtung Norden kurz vor der Einfahrt der LKW's (Oben) und unmittelbar bei der Abzweigung (Unten). Die Belagsfotos zeigen deutlich, dass der Belag unter den hohen Scherkräften der abbiegenden LKW's stark leidet. Sichtbar sind Kornausbrüche sowie verschlossene Hohlräume.



Abbildung 5: Belagsfotos, Oben: Direkt vor Abzweigung Analysequerschnitt 1, Unten: Bei der Abzweigung Analysequerschnitt 1 (Abbiegen der LKW's)

Mittels Lasertexturanalysen konnte der gesamte Streckenverlauf untersucht werden. Abbildung 6 zeigt dabei die Veränderungen des Air Void Content (AVC) und die mittlere Profiltiefe (MPD) über den Streckenverlauf. Dabei stellt der Air Void Content den Hohlraumgehalt zwischen der glatten 3D-Fläche und der 3D-Texturoberfläche des Belags dar. Beide Parameter wurden über den gesamten Strassenquerschnitt ausgewertet, sodass eine Aussage über den Zustand in der lateralen Richtung getroffen werden kann. Dabei wurde die mittlere Profiltiefe in fünf Linien, und der AVC über 14 Linien pro Fahrtrichtung bestimmt. In der Abbildung 6 wird jeweils die Abweichung zur Referenz farblich dargestellt. Dabei werden höhere AVC/MPD-Werte rot, und tiefere Werte grün eingefärbt.

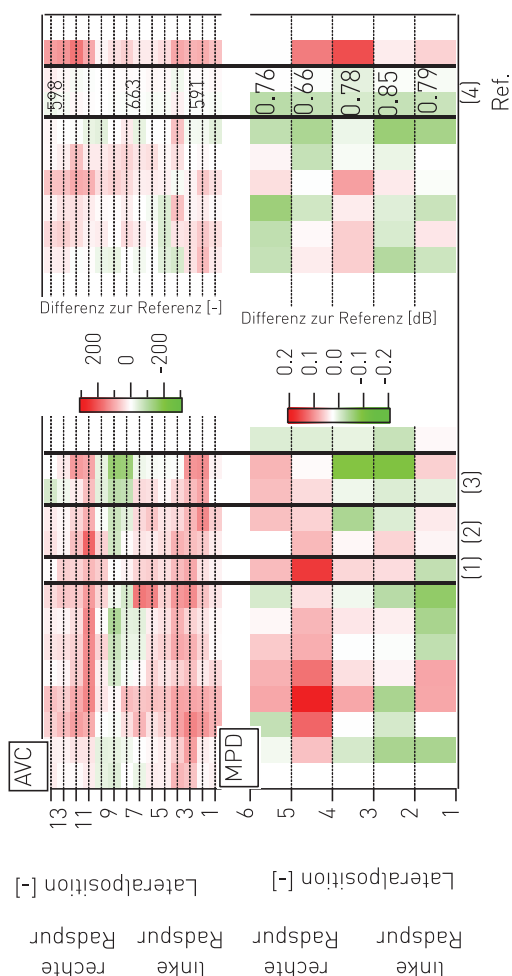


Abbildung 6: Texturveränderungen im Streckenverlauf.

Der Einfluss der Radspurlage zeigt sich deutlich in den Werten des AVC. Im Vergleich zur Referenz sind im Bereich der Radspur deutlich höhere AVC- und MPD Werte zu beobachten. Dabei gilt herauszustreichen, dass die Werte der rechten Radspur tendenziell höher ausfallen, als jene der linken Radspur. Dies ist ebenfalls deutlich zu beobachten bei den mittleren Profiltiefen MPD. Ein Grund für diese Ursache könnte sein, dass es sich bei der untersuchten Strasse um eine Kernfahrbahn ohne Mittellinie handelt. Daher ist anzunehmen, dass sich die Fahrspuren gegen die Fahrbahnmittellinie (linke Radspur) zu eher überschneiden und somit weniger konzentrierte mechanische Beanspruchungen zu erwarten sind.

Zwischen den Radspuren ergeben sich im Allgemeinen bei den AVC tiefere Werte, was aufgrund der tieferen mechanischen Belastung zu erklären ist.

Im Streckenverlauf ist die deutliche Erhöhung der AVC und MPD-Werte im Bereich des AQS 1 augenfällig. Durch das Abbiegen der LKW's gibt es in diesem Bereich keine klar definierte Spurlage mehr, sondern es ergeben sich durchgehend hohe Werte der Belagsindikatoren. Die hohen Werte des AVC's und der MPD's deuten auf die angesprochenen Kornausbrüche hin.

Akustische Veränderungen im Streckenverlauf

Abbildung 7 illustriert die spektralen, sowie gesamten Veränderungen der akustischen Belagsgüte bezogen auf die Analysequerschnitte.

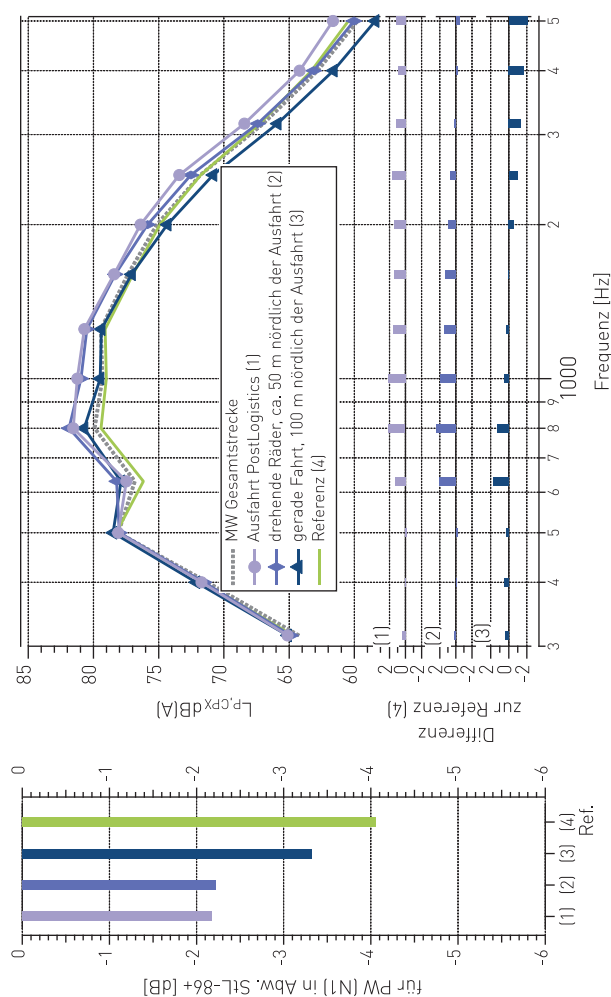


Abbildung 7: Akustische Veränderungen bezogen auf $L_{CPX,P}$ an den Analysequerschnitten.

Der Belag am AQS 1 im Bereich der Ausfahrt weist im Vergleich zur Referenzsituation um 2 dB schlechtere akustische Eigenschaften auf. 50 m nach dem Einbiegen der Lastwagen beim AQS 2 resultiert ebenfalls eine deutliche Verschlechterung der akustischen Wirkung im Vergleich zur Referenzsituation. Das heißt, dass die Veränderungen zwischen dem AQS 1 und 2 sehr gering sind, was im linken Teil der Abbildung 7 verdeutlicht wird.

Spektral zeigt sich ebenfalls, dass die Reifen-Fahrbahngeräusche vor allem ab einem Frequenzbereich von ca. 500 Hz beim AQS 1 und AQS 1 am stärksten zunehmen.

Porenzugänglichkeit (Luftströmungsmessungen)

Mittels Lufttopfmessungen wurde die Porenzugänglichkeit an den vier Analysequerschnitten gemessen. Abbildung 8 zeigt die Luftströmungswiderstandsmessungen an den verschiedenen Analysequerschnitten. Dabei zeigt sich, dass beim AQS 1 der höchste Luftströmungswiderstand resultiert. Dies deutet auf einen sehr hohen Anteil an verschlossenen Poren hin. Die AQS 2 und 3 weisen im Vergleich zur Referenzsituation immer noch hohe Luftströmungswiderstände auf. Mit zunehmendem Abstand zur Einfahrt (1 < 2 < 3) kann eine deutliche Abnahme des Luftströmungswiderstands verzeichnet werden. Je weniger mechanische Beanspruchung desto besser die Porenzugänglichkeit.

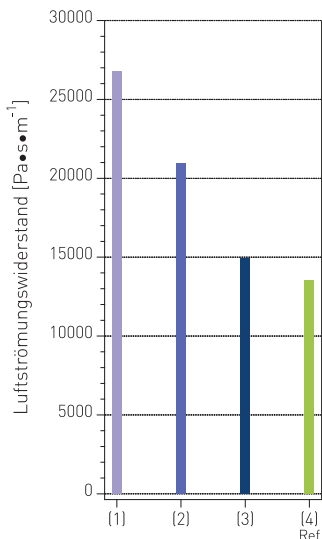


Abbildung 8: Luftströmungswiderstandsmessungen an den vier Analysesequerschnitten

Schlussfolgerungen

Mithilfe von 3D-Lasertexturanalysen, Lufttopf- und CPX-Belagsgütemessungen konnte der Einfluss von Schwerverkehrslasten auf einen SDA4-12 Belag untersucht werden.

In der folgenden Tabelle werden die Erkenntnisse zu den Texturanalysen und den Akustikmessungen zusammengefasst. Dabei wird für jede Fahrtrichtung und jeden Analysesequerschnitt eine qualitative Beurteilung von verschiedenen Einflussgrössen abgegeben.

		Fahrtrichtung: Norden			
Kornverlust	gering	mässig	stark	mässig	
Verlust Negativtextur	gering	mässig	stark	gering	
HR-Zugänglichkeit			gering	mass. gut	
Lu-strö.Geräusche	-0.5 dB	+0.5 dB	+1.5 dB	-0.5 dB	
Vibrationsgeräusche	-0.5 dB	±0 dB	+1.5 dB	+1 dB	
Gesamtwirkung Lp	-0.5 dB	+0.5 dB	+2 dB	+1 dB	
			1.)	2.)	3.)

		Fahrtrichtung: Süden		
Kornverlust	gering			
Verlust Negativtextur	gering			
HR-Zugänglichkeit			s. gut	
Lu-strö.Geräusche	-0.5 dB	±0 dB	±0 dB	±0 dB
Vibrationsgeräusche	+0.5 dB	±0 dB	±0 dB	±0 dB
Gesamtwirkung Lp	±0 dB	-0.5 dB	±0 dB	±0 dB
			4.)	

Der Einfluss von Schwerverkehr auf SDA Beläge wirkt sich je nach durchgeführtem Manöver somit unterschiedlich aus.

Im Bereich von abbiegenden LKW's (Analysenquerschnitt 1) sind aufgrund drehender Räder bei tiefen Fahrtgeschwindigkeiten sehr hohe Scherkräfte zu erwarten. Diese hohen Scherkräfte führen zu maximalen Belastungen auf der Belagsseite. Durch die drehenden Räder der LKW verschieben sich die Körner und schliessen somit die

Hohlräume. Somit sind starke Alterungserscheinungen beim Belag, wie Kornausbrüche und eine starke verminderte Porenzugänglichkeit zu erwarten.

Durch die erhöhten Scherkräfte bei beschleunigenden LKW's beim AQS 2/3 wurden beim Belag mässige Kornverluste festgestellt. Im Vergleich zu AQS1 zeigt sich aber aufgrund weniger drehender Räder eine verbesserte Porenzugänglichkeit. Gegenüber der Referenz führt dies insgesamt zu einer Verminderung der lärmindernden Eigenschaften von ca. 1 dB.

Unter frei fliessendem Verkehr, was der Referenzsituation (AQS 4) entspricht, konnten kaum Veränderungen der Oberflächentextur und Porenzugänglichkeit festgestellt werden. An dieser Stelle konnte der Belag auch seine akustische Wirkung aufrechterhalten.

Empfehlung

Die Untersuchung in Dintikon zeigte, dass ein lärmärmer SDA4-12 Belag bei hohen Scherkräften, wie sie bei manövrierenden oder abbiegenden LKW's vorkommen, schnell Schaden in Form von Kornausbrüchen und Porenverschliessung nehmen kann. Dem gegenüber steht, dass die Referenzsituation, ohne erhöhte Scherkraftbelastung durch beschleunigende oder abbiegende LKW's einen intakten Belag aufweist. Entsprechend können feinkörnige semi-dichte Asphalte, wie SDA 4, nach bisherigen Erkenntnissen auch auf Strecken mit vielen LKWs eingesetzt werden (sofern diese mehrheitlich geradeaus fahren). An Stellen mit viel abbiegenden LKWs sollten wenn möglich auf widerstandsfähigere Beläge gesetzt werden. Allerdings gilt es zu beachten, dass der SDA 4 im sehr stark beanspruchten Bereich der Ausfahrt des Logistikzentrums immer noch bessere Eigenschaften aufweist als der grobkörnigere SDA 8 oder herkömmliche Strassenbeläge.

Literatur

- [1] BAFU, „Lärmbelastung durch Strassenverkehr in der Schweiz, zweite nationale Lärmberechnung, Stand 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1406: 32 S.,“ 2014.
- [2] „Bundesgesetz über den Umweltschutz, USG,“ 1983. [Online]. Available: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19830267/index.html>.
- [3] U. Sandberg und J. Ejsmont, Tire/Road Noise Reference Book, 2002.
- [4] E. Bühlmann, „Leise Strassenbeläge als effektive Lärmschutzmassnahme,“ *DIKE, Strassenverkehr / Circulation routière*, pp. 77-83, 03 2018.
- [5] E. Bühlmann, M. Dias und S. Steiner, „Influence of environment- and traffic-related factors on acoustic ageing of low-noise road surfaces in Switzerland,“ in *Euronoise*, Maastricht, 2015.