

Akustische Alterung lärmarmen Beläge durch Verschmutzung – Grundlegende Mechanismen

Altération acoustique d'enrobés phono-absorbants par colmatage – Mécanismes fondamentaux

Lärmarme Beläge finden in der Schweiz immer mehr Verbreitung. Deren Zukunft hängt aber massgebend von der erreichbaren, akustischen Dauerhaftigkeit ab. Die Rolle der Verschmutzung wird dabei oft unterschätzt. Zwar ist klar, dass durch Verstopfung der offenen Poren die akustische Leistung massgeblich reduziert wird, durch welchen Prozess genau es aber mit der Zeit dazu kommt, blieb bisher weitgehend unerklärt. Anhand von Praxisbeispielen und fundierter Analyse aus Bohrkernen werden in diesem Beitrag nun grundlegende Mechanismen dazu erläutert. Damit soll die Grundlage geschaffen werden, um zukünftig einer akustischen Alterung durch Verschmutzung gezielt entgegenzuwirken.

Neben einer Temporeduktion ist der Einbau einer lärmarmen Deckschicht (Phono-Belag) meist die effektivste Massnahme, um innerorts den Strassenlärm direkt an der Quelle zu reduzieren. Die Bedeutung und Verbreitung dieser Beläge ist daher in der Schweiz zunehmend. Mit Ablauf der Frist per Ende März 2018 zur Durchführung der Lärmsanierungen gemäss Lärmschutz-Verordnung^[1] könnte der Druck seitens der Strassenbesitzer in den nächsten Jahren zudem weiter steigen.

Im grösseren Stil werden seit ca. 2011 Phono-Strecken eingebaut und mit den ins Alter kommenden Belägen nimmt auch die Langzeiterfahrung zu^[2]. Die Bilanz ist grundsätzlich positiv und das Potenzial dieser Beläge wird nach wie vor als hoch



VON DR.
TOBIAS BALMER
Dipl. Ing. Werkstoffe ETHZ,
Weibel AG, Forschung &
Entwicklung



VON
FRÉDÉRIC STEINER
MSc Civil Engineering ETHZ,
Weibel AG, Leitender
Geschäftsführer

Les revêtements phono-absorbants se répandent de plus en plus en Suisse. L'augmentation de la durée de vie permettra de pérenniser leur avenir. Le rôle du colmatage est souvent sous-estimé. Il est pourtant clair que lorsque les pores s'encrassent, les performances acoustiques sont fortement réduites. Les étapes entraînant ce colmatage au cours du temps sont encore méconnues. Au moyen d'exemples pratiques et d'analyses de carottes, les mécanismes fondamentaux sont maintenant expliqués dans cette publication. Ainsi, les fondements formulés permettront d'appréhender et de contrer à l'avenir cette altération acoustique par colmatage.

Au-delà de réduire la vitesse de circulation, la pose d'un revêtement phono-absorbant est la mesure la plus efficace pour réduire, directement à la source, le bruit routier. Ces revêtements occupent ainsi une place de plus en plus importante en suisse. À l'expiration de l'échéance à la fin de mars 2018 pour la mise en œuvre des mesures de protection contre le bruit selon l'ordonnance fédérale^[1], accentue l'implication des maîtres d'ouvrage en la matière pour les prochaines années. La mise en œuvre d'enrobés phono-absorbants depuis 2011, permet aujourd'hui d'avoir un recul conséquent^[2]. Les retours d'expérience sont globalement positifs, avec un potentiel très important pour réduire le bruit^[3,4], mais néanmoins terni par une durée de vie phonique restreinte. Cela montre

erachtet^{3,4}. Überschattet wird dieses Potenzial allerdings von der limitierten akustischen Lebensdauer. Dabei zeichnet sich ab, dass neben Rezeptur und Oberflächentextur der Verschmutzung eine bedeutende Rolle zukommt⁵. Bekannt ist, dass die offenen Poren, die relevant sind für die schallabsorbierende Wirkung, im Laufe der Zeit verstopfen können. Der Mechanismus und die dominierenden Faktoren dazu sind allerdings noch weitgehend unbekannt. Ein grundlegendes Verständnis darüber ist essenziell, um bessere Verfahren zum Unterhalt und optimierte Belagsrezepturen entwickeln zu können. Die Weibel AG hat darum zusammen mit der Fachhochschule Yverdon ein KTI-Forschungsprojekt⁶ zu diesem Thema in die Wege geleitet. In diesem Artikel können nun die ersten Erkenntnisse aus dem Projekt zum Mechanismus der Verschmutzung lärmärmer Beläge aufgezeigt werden.

Ein Fallbeispiel aus der Praxis

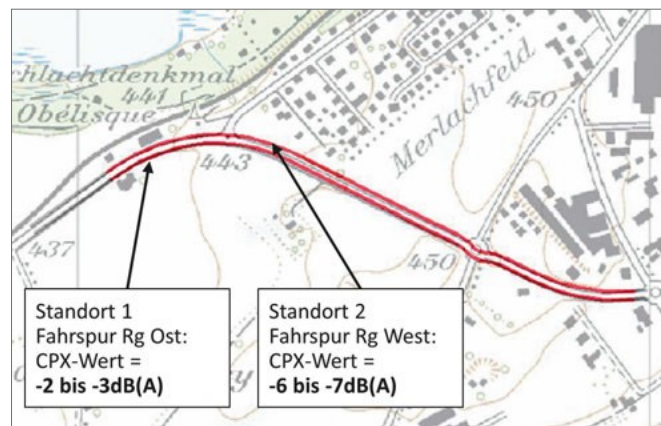
Das CPX-Verfahren (Close-Proximity Schallpegelmessung) gilt als Standard für die akustische Belagsgütemessung⁷. Diverse Strecken, die 2012 durch Weibel AG eingebaut wurden, sind so im letzten Jahr vermessen und fünf Jahre nach Einbau bewertet worden. Dabei ist aufgefallen, dass die Lärmwerte im gleichen Streckenabschnitt sehr stark variieren können. Ein Beispiel mit einem Unterschied im CPX-Wert von bis zu 4dB(A) innerhalb einer Distanz von 200 m ist in Abb. 1 gegeben. Bemerkenswert dabei ist, dass an beiden Stellen die Oberflächentextur in gutem, vergleichbarem Zustand ist und Faktoren wie Einbau, Tempobereich und das Verkehrsaufkommen als identisch betrachtet werden können. Es existieren offenbar Faktoren mit lokaler Wirkung, die entscheidend zur akustischen Alterung beitra-

qu'en plus de la recette utilisée et de la macro-texture de l'enrobé, le colmatage des pores joue un rôle déterminant⁵. En effet, la structure des vides au sein de la couche phono-absorbante, permettant l'absorption des ondes sonores, peuvent se boucher au fil du temps. Les mécanismes et les facteurs majeurs ne sont que peu connus à ce jour. Une compréhension totale de ce phénomène est essentielle pour définir de meilleures procédures d'entretien mais également de nouveaux enrobés adaptés à ces contraintes. Dans ce but, l'entreprise Weibel SA a débuté un projet de recherche CTI⁶ en collaboration avec la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion à Yverdon pour élucider cette thématique. Dans cet article seront présentées les premières constatations sur l'encrassement des enrobés phono-absorbants observées dans le cadre de ce projet.

Etude de cas

Pour évaluer les performances acoustiques d'un enrobé, la méthode CPX (Close-Proximity) est actuellement la mesure standard⁷. Différentes routes, posés en 2012 par Weibel SA, ont fait l'objet d'un suivi détaillé. L'évaluation cinq ans après la mise en œuvre, a permis de remarquer que les valeurs de

bruit sur un même tronçon peuvent varier très fortement. Des différences dans la valeur CPX allant jusqu'à 4dB (A) sur une distance de 200 m ont été constatées (voir ill. 1). Sur place, aux deux endroits «extrêmes», la texture de surface est en bon état, tout à fait comparable, et les conditions d'utilisation (vitesse de circulation et volume du trafic) sont identiques. Des facteurs, contribuant de façon locale au vieillissement acoustique, existent donc manifestement. Dans la suite sera



1 | Phono-Strecke in Murten (FR) mit Einbaujahr 2012 und einer Gesamtlänge von 1200 m (rot eingezeichnet). Nach 5 Jahren sind lokale Unterschiede der CPX-Lärmwerte von bis zu 4dB(A) feststellbar.

1 | Enrobé phono-absorbant à Morat (FR), datant de 2012, avec une longueur totale de 1200 m (représenté en rouge). Après 5 années, des différences locales importantes de valeurs CPX, allant jusqu'à 4 dB, sont à constater.

Anzeige



Morf AG
Aspstrasse 6
8154 Oberglatt
www.morf-ag.ch
info@morf-ag.ch

Sicherheit
auf der
ganzen Linie!



Filialen

- Emmenbrücke 
- Merzlingen 
- Illnau 
- Cham 
- Mimis 
- Oberentfelden A 
- Oberglatt 

Markierungen + Signalisationen

- Stadt- und Gemeindestrassen
- Kantonsstrassen
- Autobahnen

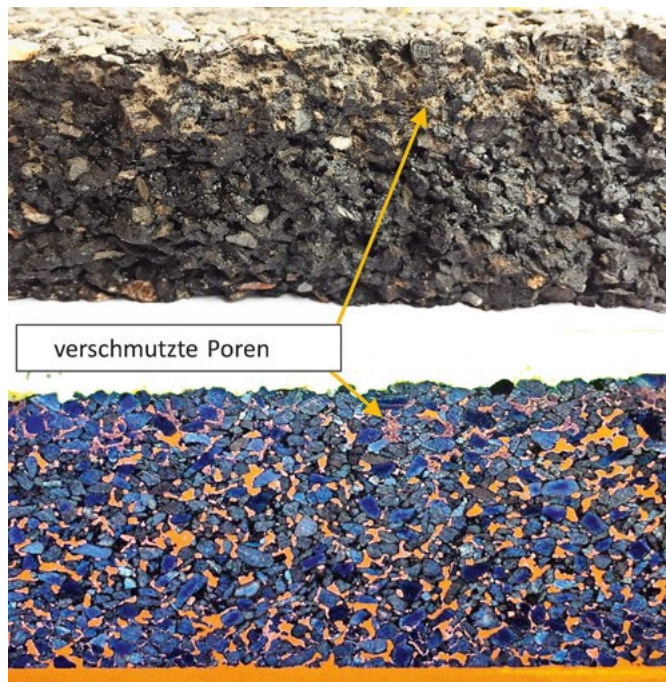
Tel. 0848 22 33 66 / Fax 0848 22 33 77

gen. Im Folgenden wird nun aufgezeigt, wie dieses Phänomen durch Verschmutzen der Poren erklärbar ist.

Analyse von Bohrkernen und Messung der Luftdurchlässigkeit

Es wurden auf diversen Strassen unterschiedlichen Alters Bohrkernproben entnommen. Zur Analyse der Verschmutzung wurde die Deckschicht entweder gebrochen oder mit Epoxid-Harz imprägniert und im Querschnitt zersägt (Abb. 2). Beim Brechen folgt der Bruch mehrheitlich den Poren entlang. Dies lässt eine schnelle, qualitative Aussage zum Grad der Verschmutzung zu. Beim Zersägen ist die Probenaufbereitung aufwendiger, dafür sind quantitative Aussagen möglich. Bei Letzterem handelt es sich um eine vom CCDR Yverdon entwickelte Methode^[8], die nun im Rahmen des KTI-Projekts weiter optimiert wird. Die Resultate in diesem Bericht basieren auf 12 unterschiedlichen Strassen im Alter von 1 bis 6 Jahren und total 74 daraus entnommenen Bohrkernen. Die Untersuchung beschränkt sich auf Mischgut der Korngrösse 4 mit einem Hohlraumgehalt von 13 bis 19%

Zusätzlich wurden Messungen der Luftdurchlässigkeit vorgenommen. Die eigens durch Weibel AG entwickelte Apparatur lässt schnelle in-situ-Messungen direkt an Stelle der Bohrkernentnahme zu (Abb. 3). Dabei wird unabhängig von der Oberflächentextur die Permeabilität der Deckschicht (analog Luftströmungswiderstand) erfasst, die im direkten Zusammenhang mit der Durchlässigkeit der kommunizierenden Poren steht und somit ein wichtiges Mass für die schallabsorbierende Eigenschaft darstellt.



2 | Zwei Methoden zur Analyse der Verschmutzung in der Deckschicht aus Bohrkernproben. Oben wurde die Schicht gebrochen, unten nach der Einbettung mit Epoxid-Harz im Querschnitt zersägt. In beiden Fällen ist die Verschmutzung der Poren im oberen Bereich der Schicht eindeutig erkennbar.

2 | Deux méthodes d'analyse du colmatage dans les couches de roulement prélevées sous forme de carottes. En haut, la couche a été cassée, en bas, celle-ci a été imprégnée avec de la résine époxy et sciée transversalement. Dans les deux cas, on distingue un encrassement visible dans la partie supérieure de la couche.

montré que ce phénomène est explicable par l'encrassement des pores.

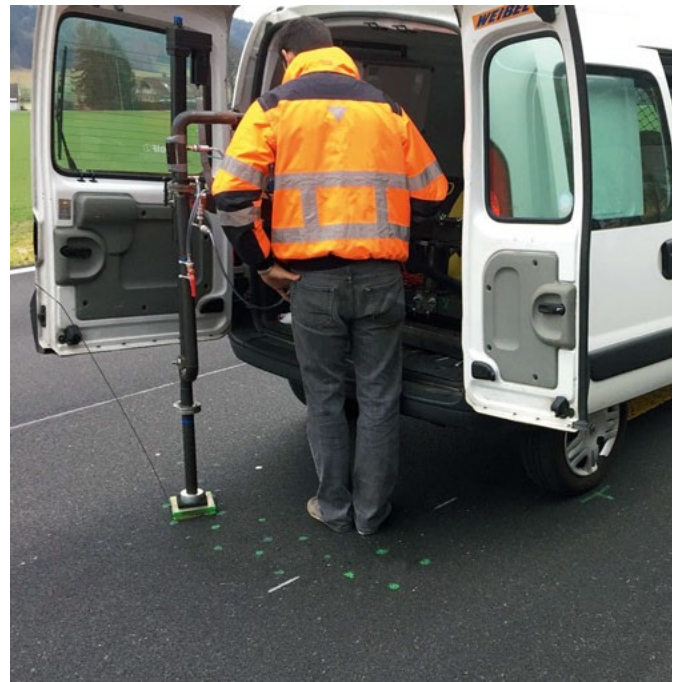
Analyse de carottes et mesure de perméabilité

Des échantillons d'enrobé ont été prélevés sur plusieurs routes d'âge différent. Pour analyser l'encrassement, les carottes ont été, soit cassées transversalement, soit imprégnées avec de la résine époxy puis sciées en travers (voir ill. 2). En cassant la carotte, la tranche rend la majorité des pores visibles. Cela permet une évaluation rapide et qualitative concernant le degré de colmatage. En sciant, la préparation d'échantillon est plus contraignante, mais des études quantitatives sont possibles. Pour cela, le CCDR d'Yverdon a conçu une méthode^[8] dont l'optimisation s'effectue dans le cadre du projet CTI. Les résultats dans ce rapport se basent sur 12 routes différentes, âgées de 1 à 6 ans et totalisant 74 carottes prélevées. L'étude se limite aux formulations de granulométrie 4mm avec une teneur en vide entre 13 et 19%

En outre, des mesures de perméabilité à l'air ont été réalisées in-situ aux endroits des carottages et indépendamment de la texture de surface grâce à un appareil spécialement développé par Weibel SA (voir ill. 3). La mesure de perméabilité de la couche (analogue résistance à l'air) est en relation directe avec la quantité de pores communicants et représente ainsi une mesure importante pour la qualité acoustique.

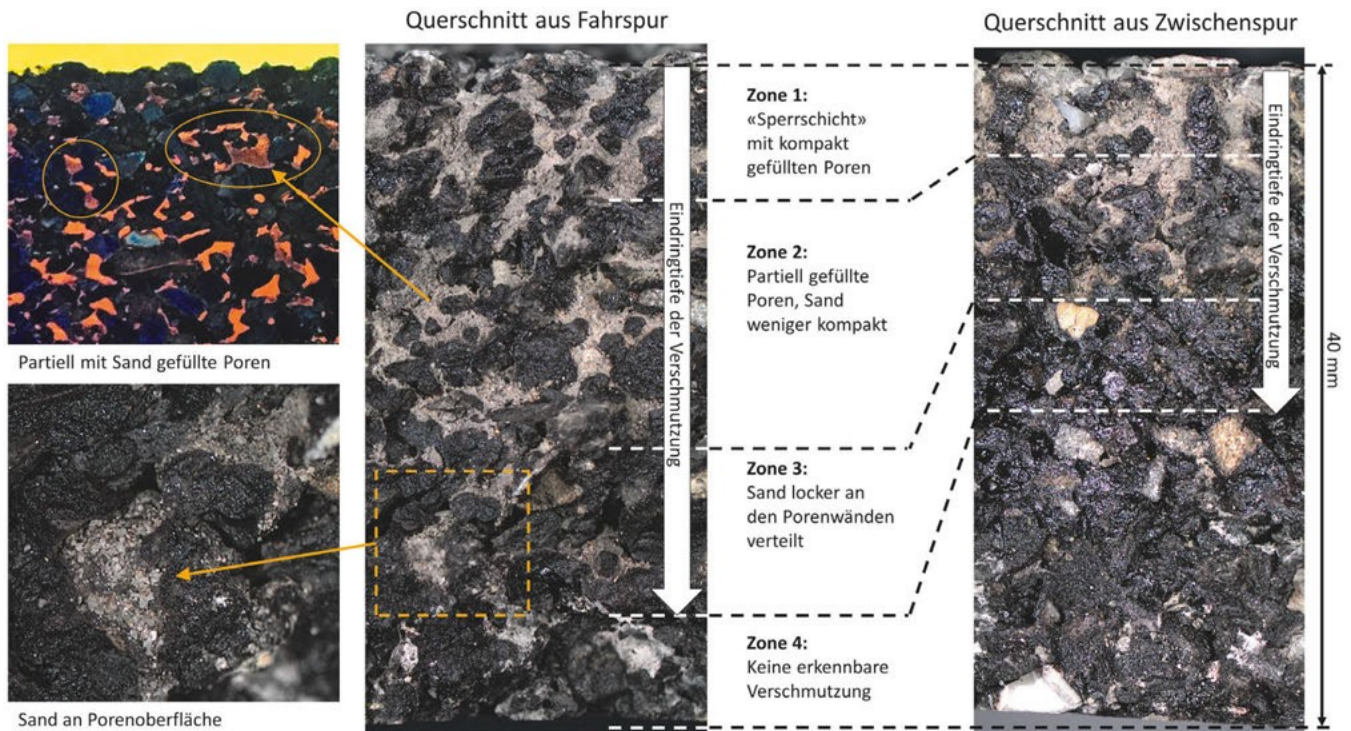
Modélisation du colmatage

Toutes les carottes ont présenté un encrassement reconnaissable au sein des galeries des pores. Ce colmatage se concentre



3 | In-situ-Messung der Luftdurchlässigkeit. Die Permeabilität des Belags wird auf einer Prüffläche von 10 cm² (ohne der Dichtung) mittels Differenzdruckmessung bestimmt. Das Resultat wird als Quotient des daraus berechneten, offenen Flächeninhalts zur Prüffläche in [%] angegeben.

3 | Mesures de perméabilité à l'air in-situ. La perméabilité du revêtement est déterminée sur une surface d'essai de 10 cm² (sans l'étanchement) par la mesure de pression différentielle. Le résultat s'exprime sous forme d'un quotient de l'aire ouverte calculée par rapport à la surface d'essai (en %).



4 | Veranschaulichung des Zonenmodells zur Verschmutzung der Poren. Die Querschnitte stammen aus der Fahrspur (Mitte) sowie angrenzender Zwischenspur (rechts) eines sechs Jahre alten Phono-Belags mit starker, sandiger Verschmutzung.

4 | Représentation du modèle de répartition par zones de l'encrassement. Les coupes transversales sont issues de carottes prélevées dans les traces de roulement (photo du milieu) et entre celles-ci (photo de droite) sur un enrobé de 6 années, particulièrement bouché.

Zonenmodell der Verschmutzung

Sämtliche Bohrkerns wiesen eine klar erkennbare, sandartige Verschmutzung innerhalb der Porenstruktur auf. Diese beschränkte sich jeweils auf den oberen Teil, während der untere Bereich immer komplett sauber erschien. Aus dem Gros der Proben lässt sich ein allgemein gültiges Prinzip erkennen, das in Abbildung 4 veranschaulicht ist. Die Kompaktheit und Konzentration der Verschmutzung nimmt mit der Tiefe im Belag deutlich ab. Unterhalb einer kompakten «Sperrschicht» (Zone 1) sind die Poren nur noch partiell gefüllt (Zone 2). Danach folgt eine Zone mit relativ locker an den Porenwänden verteilten Sandkörnern (Zone 3). Zuunterst ist keinerlei Verschmutzung in den Poren erkennbar (Zone 4). In der Zwischenspur ergibt sich das gleiche Bild, die Zonen der Verschmutzung reichen aber jeweils weniger weit in die Tiefe des Belags hinein. Wie später noch im Detail erläutert wird, bildet sich die Sperrschicht erst im Verlauf der Zeit aus und ist das entscheidende Merkmal für fortschreitende Verstopfung eines lärmarmen Belags.

Ursachen und Wirkung der Zeit

Die Verschmutzung ist meist sandartig mit grau-gelblicher Farbe, vereinzelt auch erdig mit bräunlicher Erscheinung und faserigen Beistoffen. Es gibt diverse, im Allgemeinen bekannte Ursachen für diese Verunreinigung. Je nach Situation kann der Schmutzeintrag sehr lokal, weitreichend oder flächendeckend sein:

- Bei Einfahrten aus Baustellen oder angrenzender Landwirtschaft wird Schmutz über die Räder in z.T. hoher Konzentration lokal eingebracht.

dans la partie supérieure, tandis que la partie inférieure paraît toujours entièrement propre. L'étude de l'ensemble de carottes a permis de définir une modélisation du colmatage, présentée dans l'illustration 4. La compacité et la concentration de la crasse diminuent considérablement avec la profondeur de la couche. Au-dessous de la couche obturée très compacte (zone 1), les pores ne sont remplis plus que partiellement (zone 2). Ensuite se trouve une zone relativement propre, où l'on peut distinguer dans les cavités du sable dans un état lâche (zone 3). Plus en profondeur, les pores semblent parfaitement intacts (zone 4). Sur les carottes prélevées entre les traces de roulement, on retrouve le même phénomène, néanmoins, la crasse ne pénètre pas autant en profondeur. Comme le sera décrit plus tard en détail, la couche obturée, se formant et se densifiant au cours du temps, est la caractéristique cruciale pour le bouchage progressif d'un revêtement phono-absorbant.

Causes et influence de la durée

Le colmatage est principalement sableux de couleur gris jaunâtre, partiellement composé de terre brunâtre et de composés fibreux. Comme présenté sur l'illustration 4, il y a différentes causes connues pour expliquer ce bouchage. L'apport de saleté peut être local, étendu ou même couvrir toute la surface:

- Les roues des véhicules de chantiers ou agricoles à proximité peuvent générer localement une concentration importante de saleté.
- Aussi, les véhicules perdent de la saleté sur les voies de circulation. La répartition dépend alors de l'accélération et de la vitesse.

- Fahrzeuge verlieren Schmutz entlang der Fahrspur. Je nach Beschleunigung und Geschwindigkeit wird dieser über längere Strecken verteilt (bzw. verdünnt).
- Von angrenzenden Bäumen gelangt Laub auf den Belag und wird bei Nässe eingepresst.
- Bruchstücke ausgebrochener Körner, Eigenabrieb, Feinstoffe aus Luft und Regenwasser gelangen flächen-deckend in den Belag.

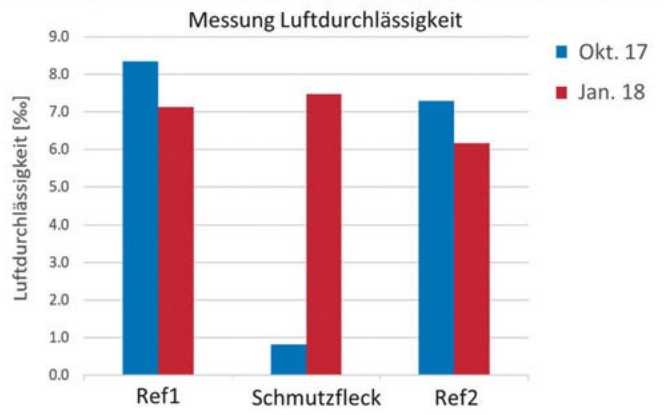
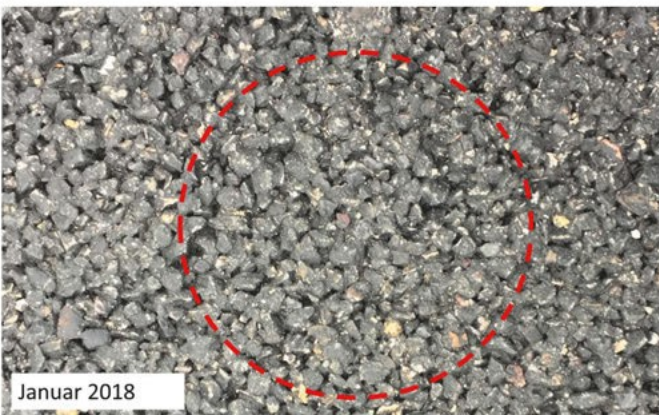
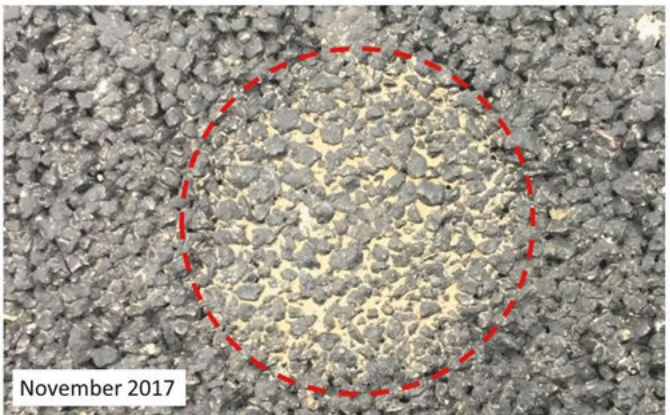
Weniger intuitiv dagegen ist die Wirkung der Zeit. Um diese besser zu verstehen, wurden gezielt einzelne Schmutzstellen, die über «natürliche» Weise auf den Belag gelangt sind, über längere Dauer beobachtet und mit Messungen der Luftdurchlässigkeit verfolgt. Das Beispiel in Abb. 5 zeigt, wie ein Stück eingepresste Erde mit der Zeit verschwindet und sich die Luftdurchlässigkeit dabei erholt. Der Effekt dauerte mehrere Monate und ist von der Intensität der Nässeperioden abhängig. Durch die Pneu-Wirkung wird der Schmutz langsam ausgeschwemmt bzw. sickert in die Tiefe des Belags ein. Was hier messtechnisch dokumentiert ist, entspricht wohl dem oft erwähnten Selbstreinigungseffekt von porösem Asphalt. Nimmt man die Ergebnisse aus den Bohrkernen hinzu, wird aber auch klar, dass der Schmutz bei dieser «Selbstreinigung» nicht aus dem Belag verschwindet, sondern eher umverteilt wird.

Entscheidend ist hier die Erkenntnis, dass ein Grossteil der Schmutzmenge punktuell auf der Oberfläche auftritt und

- Avec la présence d'arbres, le feuillage peut être introduit au sein de la couche par temps humide.
- Des fragments de gravillons dus à l'usure, ainsi que des particules fines de l'air et de l'eau de pluie contribuent à cet encrassement sur toute son étendu.

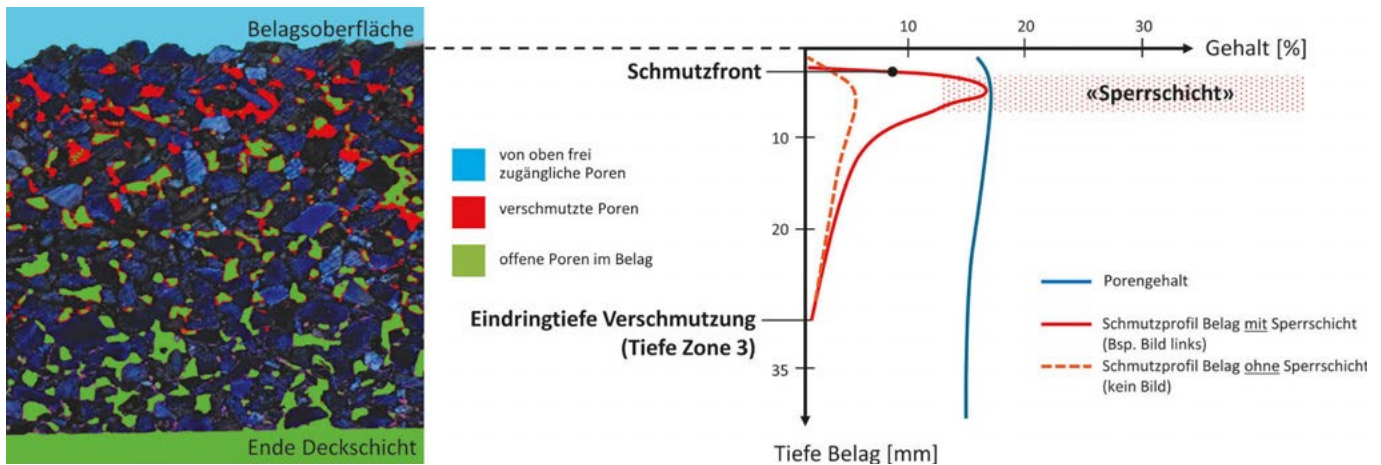
L'influence du temps est en revanche moins intuitive. Pour mieux comprendre, des saletés, très denses, arrivées de façon naturelle en surface ont fait l'objet d'un suivi au cours du temps grâce à des mesures de perméabilité. L'illustration 5 montre comment une zone totalement colmatée par de la terre, récupère ses capacités de perméabilité à l'air au cours du temps. Cette régénération a nécessité plusieurs mois et dépend de l'intensité et la fréquence des périodes de pluie. La saleté est emportée lentement par les passages de pneu, et s'infiltre dans la profondeur de la couche. Cela correspond aux propriétés communément appelées «auto-nettoyantes» des enrobés phono-absorbants. Avec l'étude des carottes, il apparaît clairement que la saleté ne disparaît pas lors de cet «auto-nettoyage» de la couche, mais plutôt est redistribuée au sein de la couche.

Ainsi, une grande partie de la quantité de saleté, se déposant ponctuellement sur la surface, s'enfonce et s'étale en profondeur par l'influence des roues et de l'humidité au cours du temps. Cela explique pourquoi la couche obturée dans les carottes analysés apparaît généralement homogène et pourquoi la mesure de perméabilité au niveau des traces de rou-



5 | Punktueller Schmutzeintrag auf Fahrbahn über die Zeit. Nach einem Monat war der Flecken Erde nach einigen Regenfällen noch gut sichtbar. Erst nach drei Monaten und intensiver Nässe im Winter war er verschwunden. Die Luftdurchlässigkeit hat sich an dieser Stelle wieder auf das Niveau der übrigen Strasse erholt, wie der Vergleich mit Referenz-Messwerten Ref1 und Ref2 an sauber gebliebenen Stellen der Strasse zeigen.

5 | Zone ponctuellement colmatée de terre. Après un mois, et quelques précipitations, l'encrassement est toujours bien visible. La disparition de cette saleté en surface n'intervient seulement après trois mois et d'importantes périodes humides en hiver. Le suivi par mesures de perméabilité à l'air, montre qu'en ce point, les capacités acoustiques ont été retrouvées et sont comparables à d'autres points référence n'ayant pas été encrassés.



6 | Analyse der in Epoxid eingebetteten Querschnitte. Aus der im Bild erkennbaren verschmutzten und offenen Porenfläche ergibt sich ein Schmutzprofil in Abhängigkeit der Tiefe im Belag, wie rechts im Bild schematisch dargestellt. Die Schmutzfront wurde definiert als die Tiefe im Belag, bei der die Schmutzmenge auf >50% des Peak-Wertes angestiegen ist (je nach Grad der Verschmutzung ist dieser Wert mehr oder weniger genau definierbar). Die Eindringtiefe ergibt sich aus der Tiefe, bei der die Schmutzmenge gegen Null tendiert, und entspricht damit der unteren Grenze von Zone 3 aus dem Zonenmodell. Eine Sperrschicht bildet sich erst ab einer bestimmten Konzentration an verschmutzten Poren aus (ca. 70–80%). Es wurde zwischen keiner, einer teilweise ausgebildeten und einer kompletten Sperrschicht unterschieden. Die Bewertung dazu erfolgte direkt aus dem Querschnittbild anhand der Menge der von oben zugänglichen Poren.

6 | Analyse d'une coupe transversale de carotte imprégnée d'époxy. Sur l'illustration, la distinction des pores ouverts et bouchés permet de définir un profil d'encrassement dépendant de la profondeur au sein de la couche, comme schématiquement représenté sur le graphique à droite. Le front de colmatage correspond à la profondeur à laquelle la quantité de saleté est à 50% de la valeur pic (selon les degrés de colmatage, cette valeur est plus ou moins précisément définissable). La profondeur de pénétration est définie par la profondeur où l'on peut considérer que la quantité de saleté est quasiment nulle et correspond donc à la frontière inférieure de la zone 3 sur le modèle de répartition. Une couche obturée se forme lorsque qu'une certaine concentration de saleté parvient à remplir les pores (env. 70–80%). Cette notion peut être caractérisée d'inexistante, de partiellement ou complètement présente. L'évaluation s'effectue directement à partir de la coupe transversale.

sich danach durch den Einfluss der Räder und Nässe über die Zeit flächig in die Tiefe des Belags absenkt. Damit erklärt sich, warum die Schmutzschicht in den analysierten Bohrkernen meist ziemlich homogen erscheint und die Luftdurchlässigkeit entlang der Fahrriechung über kürzere Distanz wenig fluktuiert. Die ausbreitende Wirkung ist jedoch begrenzt, sodass sich im Fall von lokalem Schmutzeintrag wie z.B. durch Einfahrten dennoch signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Streckenabschnitten ausbilden.

Parametrisierung

Die Querschnitte der imprägnierten Bohrkerns können bildanalytisch ausgewertet werden, was schlussendlich einen quantitativen Vergleich der Verschmutzung zulässt (Abb. 6). In einem ersten Schritt wurden dazu aus jedem Bild drei Kennwerte zum Schmutzprofil erfasst. Die *Schmutzfront* und *Eindringtiefe* sind beide ein Mass in [mm] für die Tiefe der Verschmutzung, die im Bezug zum Zonenmodell gemäss Abb. 4 stehen. Diese beiden Werte geben noch keine Information zur Menge oder Konzentration der Verschmutzung bzw. ob die Poren verstopft sind oder nicht. Dazu dient eine klassifizierte Angabe zur *Sperrschicht*, die entweder nicht vorhanden, teilweise oder vollständig ausgebildet ist. Die drei Kennwerte bilden im Weiteren die Grundlage zur vertieften Analyse des Mechanismus der akustischen Alterung durch Verschmutzung.

Mechanismus der Verstopfung

In Abbildung 7 ist das Resultat der Analyse zur Tiefe der Verschmutzung in Bezug auf das Alter des Belags bzw. der vorherrschenden Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Auffal-

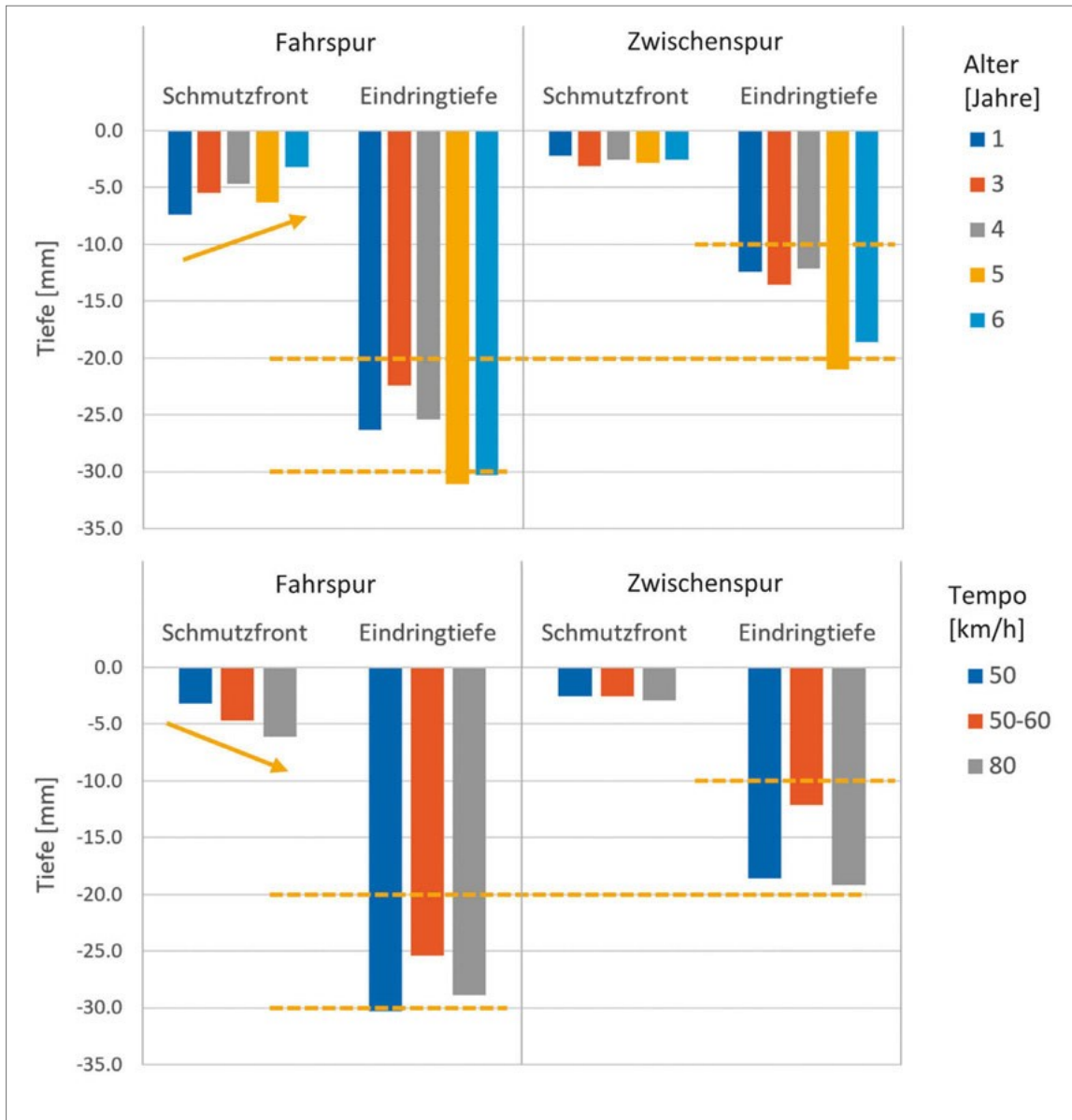
lement ne fluctue que très peu sur une courte distance. Des différences significatives d'encrassement peuvent toutefois être constatées localement au niveau des accès par exemple.

Définitions des paramètres

Les coupes transversales des carottes imprégnées de résine peuvent être évaluées par analyse d'images, ce qui permet une étude quantitative du colmatage (voir ill. 6). Dans une première étape, trois propriétés physiques ont été définies pour caractériser le profil de colmatage. Le *front de colmatage* et la *profondeur de pénétration* sont tout deux mesurés en [mm] conformément à l'illustration 4. Ces deux valeurs ne donnent toutefois pas encore d'informations sur la quantité ou la concentration du colmatage. Pour cela, un troisième critère a été défini caractérisant la *couche obturée* (bouchon) selon trois états: non présente, partiellement ou complètement formée. Ces trois propriétés physiques constituent les fondements de l'analyse du mécanisme de vieillissement acoustique par encrassement.

Mécanismes de colmatage

Sur l'illustration 7 est présenté le résultat de l'analyse des critères front de colmatage et profondeur de pénétration en fonction premièrement de l'âge de l'enrobé et deuxièmement de la vitesse de circulation. La différence est frappante entre l'étude dans les traces de roulement et en dehors de celles-ci. Ces deux critères ne semblent que très peu dépendants de l'âge de l'enrobé ou de la vitesse de circulation. En effet, dans les traces de roulement, en très peu de temps (1 an seulement) la crasse atteint déjà une profondeur de pénétration de 20–30 mm, alors qu'entre les traces, seulement 10–20 mm de



7 | Analyse zur Tiefe der Verschmutzung in Fahrspur und Zwischenspur dargestellt über Alter (oben) sowie nach unterschiedlichen Tempoklassen (unten). Im unteren Diagramm sind nur Beläge im mittleren und höheren Alter von 3 bis 6 Jahren berücksichtigt.

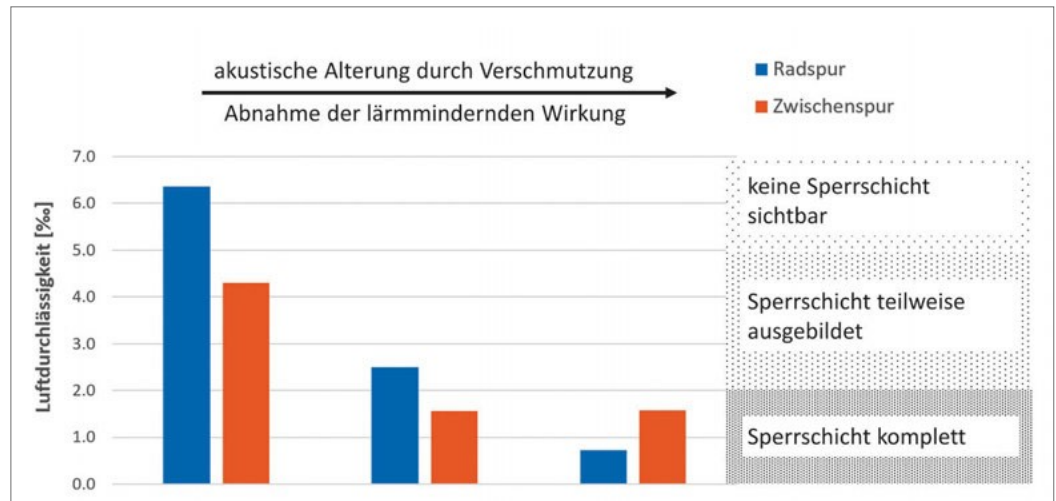
7 | Analyse de la profondeur de colmatage au droit des traces de roulement et entre celles-ci, en fonction du temps (en haut) et en fonction de la vitesse de circulation (en bas). Sur le diagramme du bas, uniquement des routes âgées de 3 à 6 ans ont été prises en compte.

lend ist in erster Linie der Unterschied zwischen Fahrspur und Zwischenspur. Mehr oder weniger unabhängig vom Alter und der Fahrzeuggeschwindigkeit bzw. innerhalb relativ kurzer Zeit von einem Jahr dringt der Schmutz in der Fahrspur in eine Tiefe von 20 bis 30 mm vor, während er in der Zwischenspur weniger tief im Bereich von 10 bis 20 mm zu liegen kommt. Im fortgeschrittenen Alter von über 5 Jahren stellt sich in der Spur ein Maximum bei rund 30 mm, zwischen der Spur bei 20 mm ein. Zu bemerken ist hier, dass die Schmutzkonzentration (Grad der Verstopfung) in dieser Tiefe – welcher im Zonenmodell der Zone 3 entspricht – lediglich sehr gering ist. Dagegen liegt die Schmutzfront jeweils unmittelbar vor dem Peak-Wert des Schmutzprofils (gemäß Abb. 6). Hierzu ist in der Fahrspur ein leichter Trend auszumachen, dass sich die Front mit dem Alter tendenziell zur Oberfläche verschiebt bzw. mit zunehmendem Tempo

pénétration a été constatée. Dans un âge avancé (5 ans), on observe une profondeur de pénétration maximale d'environ 30 mm dans les traces et 20 mm en dehors. La concentration de saleté (degré de colmatage) dans cette profondeur – qui correspond dans le modèle à la zone 3 – est très faible. En revanche, concernant le front de colmatage, qui se trouve directement avant la valeur pic du profil d'encrassement (voir ill. 6) on constate que, dans les traces, celui-ci remonte tendanciellement vers la surface avec le temps, alors que plus la vitesse de circulation est grande, plus celui-ci est profond. Cette tendance n'est pas constatée entre les traces de roulement, où le front de colmatage se trouve directement sous la surface, quelque soit l'âge ou la vitesse. En effet, cela a pu être constaté déjà au moment de l'extraction des carottes: alors que la surface au niveau des traces de roulement est globalement propre, entre les traces, les pores contiennent

8 | Verlauf der Luftdurchlässigkeit des Belags im Zusammenhang mit der Entstehung der Sperrschicht.

8 | Evolution de la mesure de perméabilité à l'air au cours du temps, mise en relation avec la formation de la couche obturée.



etwas tiefer zu liegen kommt. Dieser Trend existiert in der Zwischenspur nicht, und die Schmutzfront liegt jeweils unmittelbar unter der Oberfläche. In der Tat war dies auch auf dem Belag zum Zeitpunkt der Bohrkernentnahme zu sehen: Während die Oberfläche in der Fahrspur meist sauber erschien, war in der Zwischenspur Sand in den Porenöffnungen zu erkennen. Durch den Effekt der intensiven Pneu-Wirkung wird also der Schmutz einerseits tiefer in den Belag getrieben und andererseits an der Oberfläche von der Fahrspur zur Zwischenspur verlagert.

Mit dem Eintrag von Schmutz verengen sich die kommunizierenden Poren über die Zeit. Damit bleiben neuankommende Schmutzpartikel immer näher an der Oberfläche hängen und es bildet sich eine Sperrschicht aus, welche die Poren in einer Tiefe von 5 bis 10 mm komplett schliesst. In Abbildung 8 ist der Zusammenhang zwischen der Luftdurchlässigkeit vom Belag und dem Zustand der Sperrschicht (ermittelt aus der Bohrkernanalyse) dargestellt. Die Luftdurchlässigkeit nimmt mit der Bildung der Sperrschicht im Laufe der Zeit stetig ab. Wegen geringerer Wirkung der Pneu bildet sich die Sperrschicht zwischen den Spuren schneller aus, wird dort aber auf die Dauer weniger kompakt/dick und bleibt damit langfristig etwas durchlässiger. Mit der Abnahme der Luftdurchlässigkeit nimmt die schallmindernde Leistung des Belags ab und widerspiegelt so die akustische Alterung durch Verschmutzung. Damit schliesst sich auch der Kreis zum eingangs erwähnten Beispiel in Abb. 1: am Standort 1 war die Sperrschicht im Bohrkern aus der Spur komplett ausgebildet, während sie am Standort 2 nicht vorhanden war.

Fazit

Es ist lohnenswert, Phono-Beläge von Beginn an regelmässig zu reinigen und soweit möglich sauber zu halten. Frühzeitige Entfernung jeglicher Schmutzmasse von der Strasse, sollte sich positiv auf die akustische Lebensdauer der Deckschicht auswirken. Soweit möglich sollten kritische Ereignisse verhindert oder ihnen unmittelbar entgegengewirkt werden. Dies ist mit besserem Informationsfluss und Auflagen bei Baustellen sowie Kontrollen und entsprechender Pflicht zur

du sable. Ainsi, par l'effet intensif du roulement des pneus, la saleté entre en profondeur dans la couche au droit des traces, alors qu'en dehors des traces, celle-ci reste en surface. Avec l'entrée de cette crasse, les pores communicants se remplissent avec le temps. De cette façon, les particules de saleté, nouvellement entrées dans la couche, colmatent de plus en plus proche de la surface. Il se forme alors une couche obturée qui ferme complètement les pores dans une profondeur de 5–10 mm. Dans l'illustration 8, le lien entre la perméabi-

Anzeige



LS Lenzlinger
Metallbau

Geländer- und Rückhaltesysteme
für Brücken und Strassen

Lenzlinger Söhne AG | 8606 Nänikon/Uster | www.lenzlinger.ch

sofortigen Reinigung erreichbar. Gegen stetige Verschmutzung durch Landwirtschaft und Eigenabrieb vom Belag sind regelmässige Reinigungszyklen durch den Strassenbesitzer sinnvoll, wie es z.B. der Kanton Freiburg bereits umgesetzt hat^[9].

Die Bildung der Sperrschicht bzw. die fortschreitende Verstopfung der Poren unterhalb der Oberfläche ist ein entscheidendes Mass für den Zustand der akustischen Güte vom Belag. Durch die Messung der Luftdurchlässigkeit kann das lokale Ausmass der Verschmutzung im Belag einfach und zerstörungsfrei erfasst werden. Da Reinigung generell aufwendig und mit Kosten verbunden ist und zudem bei falscher Anwendung auch Gefahr der Beschädigung besteht, müssen die Verfahren dazu noch optimiert werden. Kurzfristig heisst das, insbesondere Intervall und Einstellparameter bestehender Reinigungsfahrzeuge ideal zu wählen (Jahreszeiten mit grösstem Schmutzeintrag, flexible Einsätze bei Einzelereignissen) und die Prozedur in der Anfangsphase zu überwachen. Die Weibel AG kann dabei mit Know-how zur Seite stehen und arbeitet diesbezüglich auch bereits mit der Stadt und dem Kanton Bern zusammen, um mittels Monitoring auf ausgewählten Teststrecken die Verfahren zu optimieren.

Ausblick

In einem nächsten Schritt wird die digitale Erfassung vom Schmutzprofil und Quantifizierung der Schmutzmenge aus dem Bohrkern weiter verbessert. Zudem sollen die Erkenntnisse, die aktuell auf 4er-Belägen basieren, auch auf andere Korngrössen ausgeweitet werden. Mit dem Zonenmodell der Verschmutzung lassen sich in Zukunft unterschiedliche Reinigungsverfahren und neue Belagsstrukturen besser evaluieren.

Quellen

- [1] Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986, SR 814.41
- [2] Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bundesamt für Umwelt (BAFU), Forschungspaket Lärmarme Beläge innerorts, Teilprojekt (TP) 3: Langzeitmonitoring, Schlussbericht 2017
- [3] S. Würmli, J. Perret, J.P. Bolli: Positive Bilanz für das Forschungspaket «Lärmarme Beläge innerorts», Strasse und Verkehr Nr. 9, September 2017
- [4] P. Bürgisser, Ch. Angst: Lärmarme Beläge in der Schweiz – Fortschritte sind nachweisbar, Lärmbekämpfung Bd. 12 (2017) Nr. 5 - September
- [5] F. Steiner, S. Probst: Abnahme der akustischen Wirksamkeit bei lärmarmen Belägen: Ursachen, neue Messverfahren und Lösungsansätze, Strasse und Verkehr Nr. 11, November 2016
- [6] Kommission für Technologie und Innovation (neu Innosuisse): KTI-Projekt No. 26081.1 PFIW-IW; in Zusammenarbeit mit F. Beltzung, B. Cannelle, M. Thiémar, Centre de Compétences du Domaine Routier (CCDR), Fachhochschule Yverdon (HEIG-VD)
- [7] Close-Proximity Methode nach ISO/FDIS 11819-2:2016
- [8] F. Laferrière, F. Beltzung: Hervorhebung und Untersuchung der Verstopfung von porösem Asphaltmischgut, Strasse und Verkehr Nr. 9, September 2017
- [9] J. Perret, P. Lopez: Verschmutzungen lärmarmen Belägen vermeiden, Strasse und Verkehr Nr. 9, September 2017

lité à l'air et l'état de la couche obturée (déterminé grâce à l'analyse de carottes) est représenté. La perméabilité à l'air diminue avec la formation de la couche obturée au cours du temps. À cause d'un plus faible effet des pneus, la couche obturée entre les traces se forme plus rapidement et plus proche de la surface. Néanmoins, celle-ci reste nettement moins compacte que dans les traces et offre ainsi une meilleure perméabilité à l'air. La baisse de la perméabilité à l'air, entraîne nécessairement une diminution des performances phoniques, ce qui reflète le vieillissement acoustique par colmatage. Ainsi les constats concernant l'exemple évoqué initialement peuvent être expliqués: à l'endroit 1, la couche obturée était complètement formée alors qu'à l'endroit 2 elle était inexistante.

Conclusion

Il est judicieux de nettoyer, dès la pose, de façon régulière les enrobés phono-absorbants pour les maintenir propres. Les saletés encrassées doivent être enlevées de la couche à temps afin de préserver une durée de vie importante. Dans la mesure du possible des événements critiques devraient être empêchés ou surveillés. Ceci peut être atteint avec une meilleure communication et davantage d'exigences pour les chantiers, telles que des contrôles et une obligation de nettoyage immédiat. Pour lutter contre l'encrassement récurrent dû à l'activité agricole et à l'usure propre du revêtement, il est nécessaire que les maîtres d'ouvrage entreprennent des cycles de nettoyage réguliers, comme le fait déjà le canton de Fribourg par exemple^[9].

La formation de la couche obturée, respectivement le bouchage progressif des pores est une grandeur déterminante pour la qualité acoustique du revêtement. L'état d'encrassement dans la couche peut être aisément appréhendé de façon locale et non-destructive par la mesure de perméabilité à l'air. Le nettoyage est un procédé lourd et coûteux, pouvant conduire à des détériorations en surface lorsqu'il est effectué de manière inadaptée. Il est donc nécessaire d'en optimiser les procédures. Dès maintenant, il convient d'adapter les fréquences de nettoyage et les paramètres des machines actuelles aux différentes saisons et événements pouvant intervenir. Weibel SA participe avec son savoir-faire et travaille déjà en collaboration avec la ville et le canton de Berne, pour optimiser les procédures sur des tronçons d'essai judicieusement choisis.

Perspectives

Dans une prochaine étape, l'exploitation numérique du profil d'encrassement va permettre une quantification de saleté au sein des carottes nettement meilleure. De plus, les constatations actuelles, se basant uniquement sur des enrobés de granulométrie 4 mm, doivent être étendues à d'autres tailles de grains. Grâce à la modélisation par zones de l'encrassement, des processus de nettoyage différents et des nouvelles structures de couches phono-absorbantes pourront être évalués plus précisément à l'avenir.