

STRASSE UND VERKEHR

ROUTE ET TRAFIC



Lärmarme Strassenbeläge aus Asphalt

Stand der Forschung und Erfahrungen aus der Praxis

Revêtements bitumineux peu bruyants

État de la recherche et expériences venant de la pratique

Route, rail, aéroport

Problèmes inédits ?

Nous trouvons des solutions avec vous !

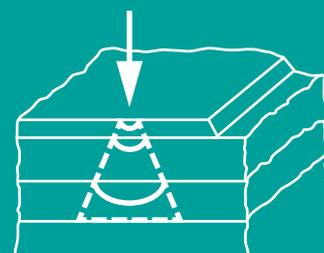
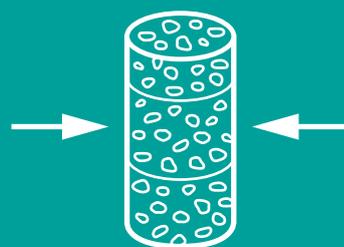
Matériaux et structures

Matériaux à faibles impacts (recyclés, tièdes ou froids)

Revêtements phono-absorbants

Méthodes avancées de dimensionnement

Instrumentation et suivi de chaussées



Gestion de l'entretien

Relevés d'état des chaussées

Organisation de campagnes de relevé

Planification de l'entretien (PMS)



N ! b u x s

Ingénieurs civils spécialisés en construction routière
Chemin du Croset 9, CH - 1024 Ecublens, T. +41 21 550 95 32, www.nibuxs.ch

STRASSE UND VERKEHR

ROUTE ET TRAFIC

103. Jahrgang | September 2017
Offizielle Zeitschrift des Schweizerischen Verbandes
der Strassen- und Verkehrsfachleute

103^e année | Septembre 2017
Publication officielle de l'Association suisse des
professionnels de la route et des transports

Inhaltsverzeichnis

Editorial

Weniger ist mehr
Dr. Jacques Perret

Thema: Lärmarme Strassenbeläge aus Asphalt

**Positive Bilanz für das Forschungspaket
«Lärmarme Beläge innerorts»**

Sabine Würmli, Dr. Jacques Perret und Jean-Pierre Bolli

Rollgeräuschestehung und Rollgeräuschminderung
Dr. Thomas Beckenbauer

Akustische Vielfalt und Klangraumqualität
Trond Maag und Andres Bosshard

Verschmutzungen lärmarmen Beläge vermeiden
Dr. Jacques Perret und Pedro Lopez

**Hervorhebung und Untersuchung
der Verstopfung von porösem Asphaltmischgut**
Dr. Francine Laferrière und Dr. Françoise Beltzung

**Grundlagen zur Beurteilung der Auswirkungen
einer Geschwindigkeit von 30 km/h auf den Lärm**
Dr. Sophie Hoehn

Silent Outlooks – Leise Perspektiven
Dr. Jacques Perret

**Akustische Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge –
Entwicklung eines Prognoseverfahrens**
Dr. Christian Angst und Dr. Philip Bürgisser

Innovative Technologien aus dem Ausland
Erik Bühlmann

Forschung | Informationen | Weiterbildung

**«Das CAS bietet eine praxisnahe Ausbildung,
die auf akademischen Niveau anerkannt ist»**
Interview mit Nicolas Bueche

**Seniorentag
Forschungsberichte**

Übersetzungen | Traductions
Atlantis Übersetzungsdienst AG,
Anne-Lise Montandon

Inserate | Annonces publicitaires
Inseratenpower Aeschlimann
Christian Aeschlimann
Schwändeliweg 1 | 3436 Zöllbrück
Telefon: +41 76 369 14 05
E-Mail: aeschlimann@inseratenpower.ch

Druck und Versand | Impression et expédition
Sihldruck AG, Binzstrasse 9, CH-8045 Zürich

Preise | Prix
Jahresabonnement | Abonnement par an
Schweiz | Suisse CHF 112.75
CEPT- und Mittelmeerländer CHF 128.–
Übrige Länder | Autres pays CHF 142.–
Einzelnummer | Par numéro CHF 12.–
(+ Versand)

IMPRESSUM | ISSN 0039-2189

Herausgeber | Editeur
VSS Schweizerischer Verband der
Strassen- und Verkehrsfachleute
VSS Association suisse des professionnels
de la route et des transports
Sihlquai 255, CH-8005 Zürich
Telefon 044 269 40 20 | Telefax 044 252 31 30
info@vss.ch | www.vss.ch

Redaktion | Rédaction
VSS, Redaktion «Strasse und Verkehr»
Sihlquai 255, CH-8005 Zürich
Telefon 044 269 40 20 | Telefax 044 252 31 30
redaktion@vss.ch

Verantwortlicher Redaktor | DTP
Responsable de rédaction | DTP
Rolf Leeb, media&more GmbH, Zürich

Table des matières

Avant-propos
Moins mais plus longtemps
Dr. Jacques Perret

Thème: revêtements bitumineux peu bruyants
Bilan positif pour le paquet de recherche
«Revêtements peu bruyants en localité»
Sabine Würmli, Dr. Jacques Perret et Jean-Pierre Bolli

14 Origine et réduction du bruit de roulement
Dr. Thomas Beckenbauer

23 Diversité acoustique et qualité de l'environnement acoustique
Trond Maag et Andres Bosshard

29 Ne pas laisser les revêtements phono-absorbants se salir
Dr. Jacques Perret et Pedro Lopez

**34 Mise en exergue et étude du colmatage
des enrobés poreux**
Dr. Francine Laferrière et Dr. Françoise Beltzung

**39 Bases d'évaluation de l'effet
d'une vitesse de 30 km/h sur le bruit**
Dr. Sophie Hoehn

44 Silent Outlooks – Perspectives silencieuses
Dr. Jacques Perret

**48 Durabilité acoustique des revêtements peu bruyants –
développement d'un processus de prévision**
Dr. Christian Angst et Dr. Philip Bürgisser

55 Des technologies innovantes de l'étranger
Erik Bühlmann

Recherche | Informations | Formation continue
**«Les CAS proposent des formations pratiques
et reconnues au niveau académique»**
Entretien avec Nicolas Bueche

64 Journée des seniors
66 Rapports de recherche

«STRASSE UND VERKEHR» erscheint in
10 Nummern jährlich. Mitglieder des VSS erhalten
ein Exemplar der Zeitschrift kostenlos.

«ROUTE ET TRAFIC» paraît en 10 numéros par
an. Les membres de la VSS reçoivent un exem-
plaire du périodique gratuitement.

Die Verantwortung für den Inhalt der publizier-
ten Artikel und Inserate liegt bei den Autoren
und den Inserenten.

Es werden keine Inserate mit rassistischem,
politischem, religiösem oder pornografischem
Inhalt publiziert.

Die Inserenten verpflichten sich, keine absicht-
lich falsche oder irreführende Werbung zu
publizieren.

Foto Titelseite | Photo page de couverture
Paolo Foschini/Montage: Rolf Leeb



GRANULIERTE FARBPIGMENTE DER NEUSTEN GENERATION (PEP)

- **Hohe Wirtschaftlichkeit**
 - extrem hohe Deckkraft der Farben
 - exakte Dosierung dank konfektionierten, schmelzbaren PE-Beuteln
 - kein Produktverlust durch Überdosierung oder Staubeentwicklung
 - homogene Einmischung – keine Verklumpung
 - abgestimmt auf die Bindemittel PavoBit®Color und die Mineralstoffe PavoRock®Color
- **Gut für Mensch und Umwelt**
 - keine Staubeentwicklung
 - schöne, dauerhafte und kräftige Farben

Pavono AG
Schwimmbadstrasse 35
CH-5430 Wettingen

Für mehr PEP im Strassenbau PavoCol®Color PEP



Tel: +41 56 426 82 55 info@pavono.com
Mobile: +41 79 249 03 34 www.pavono.com

ALLES FÜR DIE STRASSE
TOUT POUR LA ROUTE
TUTTO PER LA STRADA

PAVONO

Öffentliche Tagung

Dienstag, 24. Oktober 2017
Campussaal Brugg Windisch

Der ÖV als Rückgrat der Siedlungsentwicklung

Wie müssen sich ÖV und Siedlungen verändern, damit wir den Mobilitätsbedürfnissen kommender Generationen gerecht werden?

Die Netze sind gesättigt, und der Raum für weitere Verkehrsinfrastrukturen ist knapp. Neue Ideen sind gefragt – Strategien für ein enges Zusammenspiel von Raum und öffentlichem Verkehr. Die Tagung folgt dieser Spur und präsentiert Strategien für die nachhaltige Abstimmung der Siedlungs- und ÖV-Entwicklung.

Programm und Anmeldung:

www.metron.ch/tagung

metron

VSS <

Fit für die Zukunft!

VSS-Weiterbildungen im Herbst

Fachtagungen

Anlagen zur Behandlung von Strassenabwasser:
Von der Projektierung zum Betrieb
Mittwoch, 25. Oktober 2017 | Kursaal Bern

Stützmauern
Donnerstag, 26. Oktober 2017 | Kursaal Bern

CAS Strassenverkehrsanlagen und Geotechnik

Modul «Materialtechnik und Materialprüfung»
Oktober – Dezember 2017

Modul «Projektierung von Strassenverkehrsanlagen»
Dezember 2017 – Januar 2018

Modul «Erhaltung von Verkehrsanlagen»
Januar – Februar 2018

Modul «Geotechnische Strassenanlagen und Strassenbaudimensionierung»
März – April 2018

VSS-Weiterbildungskurs

Inspektionen und Zustandsbewertungen an Kunstbauten der Strasseninfrastruktur
November 2017

Jetzt anmelden!

Detaillierte Informationen finden Sie in den beigelegten Flyern in der Heftmitte oder unter www.vss.ch

Weniger ist mehr

Laut Artikel 11 des Umweltschutzgesetzes ist die Lärmbe-kämpfung in erster Linie an der Quelle vorzunehmen. Die Verwendung von lärmindernden Belägen sowie die Ge-schwindigkeitsreduktion (siehe Artikel Seite 39) sind deshalb für die Behörden, die für die Bekämpfung des Strassenlärms zuständig sind, vermutlich die am einfachsten durchzuführenden Massnahmen. Dies trifft natürlich nur unter der Voraus-setzung zu, dass lärmindernde Beläge auch in der Lage sind, ihre akustischen Eigenschaften auf die Dauer zu behalten.

Die in den letzten Jahren erzielten Fortschritte – sowohl im Verstehen der Phänomene, die den Strassenlärm verur-sachen, als auch in der Herstellung von lärmindernden Belägen (insbesondere von sogenannten SDA-Belägen) – sind sehr ermutigend. Trotzdem sind noch viele Fragen bezüglich der Garantie für die Dauerhaftigkeit ihrer langfristigen akus-tischen Effizienz offen. Die Verallgemeinerung dieser Lösung zur Bekämpfung des Strassenlärms ist dementsprechend heikel und oft hinterfragt.

Die Artikel in der vorliegenden Ausgabe unseres Magazins zeigen, dass die Thematik des Strassenlärms aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren sehr kompliziert ist. Die Auswir-kungen der einzelnen Faktoren können nicht beurteilt wer-den, ohne ihre gegenseitige Wechselwirkung zu berücksich-tigen. Dazu ein relativ einfaches Beispiel zur Illustration: Die Aufrechterhaltung der kommunizierenden Hohlräume spielt zwar mit Sicherheit eine nicht unerhebliche Rolle bei der Verlängerung der akustischen Haltbarkeit. Es ist aber falsch anzunehmen, dass diese Voraussetzung allein ausreicht. Die Dauerhaftigkeit der akustischen Eigenschaften basiert auch auf der Beibehaltung einer günstigen Oberflächentextur, die mehr Kontaktstellen zwischen Belag und den Reifen bewirkt. Die Anfangsqualität der Textur kann durch Reinigungsarbei-ten, welche die Beibehaltung der Kommunizierbarkeit der Hohlräume sicherstellen sollen, gefährdet werden.

Die Zukunft lärmindernder Beläge wird sich wahrscheinlich aufgrund einer teilweisen Infragestellung der Art und Weise, wie die Behörden ihre Anforderungen definieren, zeigen. Bis heute fand vor allem eine Art «Wettkampf um Dezibel» statt: Das Ziel war primär, eine maximale Lärmreduktion für relativ kurze Zeitspannen, die kaum länger als fünf Jahre dauerten, zu erzielen. Wäre es nicht an der Zeit, diese Denk-weise zu ändern und weniger den beeindruckenden kurz-fristigen Ergebnissen den Vorzug zu geben und dafür weniger spektakuläre Resultate anzustreben, die jedoch länger anhalten? Eine Lärmreduktion um lediglich 3 dB entspricht immerhin einer Halbierung des Verkehrs. Dies ist doch schon ein beachtlicher Erfolg...

Moins mais plus longtemps

L'article 11 de la loi sur la protection de l'environnement précise que la réduction du bruit doit se faire prioritairement à la source. Dès lors, l'utilisation de revêtements phono-absorbants constitue probablement, avec la réduction de la vitesse (voir article page 39), la mesure la plus aisée à mettre en place pour les administrations en charge de l'assainissement du bruit routier. Ceci pour autant bien sûr que ces revêtements soient en mesure de conserver dans le temps leurs propriétés acoustiques.

Si les réels progrès enregistrés au cours des dernières années – tant dans la compréhension des phénomènes à l'origine du bruit routier que dans la réalisation d'enrobés phono-absorbants (notamment ceux de type SDA) – sont très encourageants, les possibilités de garantir leur effica-cité acoustique à long terme restent encore l'objet de bien des interrogations. Ce qui met naturellement en danger la généralisation de cette solution dans le cadre de la lutte contre le bruit routier.

A cet égard, et comme le montre l'ensemble des articles rassemblés dans ce numéro, il convient de rappeler que la thématique du bruit routier, par la très grande variété des facteurs d'influence qui la caractérisent, est très complexe. Concrètement, cela signifie que l'effet de la plupart de ces facteurs ne peut être évalué sans tenir compte de leurs inte-ractions réciproques. A titre d'exemple relativement simple, si le maintien de vides communicants joue certainement un rôle non négligeable dans l'accroissement de la durabilité acoustique des revêtements, il est faux d'affirmer que cette seule condition soit suffisante: la durabilité passe aussi impérativement par la préservation d'une texture favorable multipliant les points de contact entre le revêtement et les pneumatiques. Une texture dont la qualité initiale pourrait être mise en danger par des nettoyages censés assurer le maintien de la communicabilité des vides.

Enfin, il est aussi probable que l'avenir des revête-ments phono-absorbants passe par une remise en question partielle de la façon dont les administrations définiront leurs attentes. A ce jour, on a surtout assisté à une sorte de «course à la décibel»: l'objectif était d'abord d'obtenir un maximum de réduction du bruit, même sur des périodes relativement courtes n'allant guère au-delà de cinq ans. Ne serait-il pas temps de revoir cette façon de penser et de privilégier des résultats peut-être moins impressionnants à court terme, mais plus durables? En ayant à l'esprit qu'une réduction a priori peu spectaculaire de 3 dB correspond néanmoins à une diminution de moitié du trafic. Ce qui est considérable...

Dr. Jacques Perret

Koordinator dieser Ausgabe
Coordinateur de ce numéro

Positive Bilanz für das Forschungspaket «Lärmarme Beläge innerorts»

Bilan positif pour le paquet de recherche «Revêtements de routes peu bruyants à l'intérieur des localités»

Das Forschungspaket «Lärmarme Beläge innerorts», das gemeinsam vom ASTRA und BAFU durchgeführt und finanziert wurde, sollte zur Entwicklung und Förderung dieser Belagsart beitragen, um den Strassenlärm zu bekämpfen. Die Resultate, die im vorliegenden Artikel zusammengefasst sind, lieferten zahlreiche praktische und theoretische Erkenntnisse bezüglich der Herstellung von akustisch leistungsfähigen Belägen. Die Anstrengungen auf diesem Gebiet müssen jedoch fortgesetzt werden, um die Haltbarkeit dieser Beläge zu steigern. Die Herausforderung besteht dabei im Wesentlichen darin, die mechanische Beständigkeit mit der akustischen Leistung in Einklang zu bringen.

Das ASTRA und das BAFU sind führende Akteure auf dem Gebiet der Bekämpfung von Strassenlärm. Die beiden Ämter wollen die Kommunen und die Kantone unterstützen und setzen sich deshalb seit vielen Jahren für die Entwicklung und die Nutzung von lärmarmen Belägen ein.

Die erste gemeinsame Initiative «Lärmarme Strassenbeläge innerorts» wurde im Jahr 2003 ins Leben gerufen. Sie bestand in der Überwachung von 21 Teststrecken mit Rauasphalt-Deckschichten (ACMR-Beläge), die einen hohen Hohlraumgehalt aufwiesen oder porös waren (PA-Beläge). Der im Jahr 2007 veröffentlichte Abschlussbericht betonte insbesondere, dass die mechanischen und akustischen Leistungen der ACMR-Beläge vielversprechend erschienen und schätzten, dass damit eine akustische Lebensdauer von zehn Jahren erreicht werden könnte. Zu diesem Zeitpunkt waren die Kenntnisse bezüglich der Rezeptur von lärm-



VON
SABINE WÜRMLI
Dipl. Ing. TU Darmstadt,
Fachbereichsleiterin (Trasse
und Erhaltungsmanagement)
beim ASTRA, Bern



PAR
JEAN-PIERRE BOLLI
Ingénieur civil ETS,
Mitglied der Direktion
der Techdata AG

Conjointement mené et financé par l'OFROU et l'OFEV, le paquet de recherche «Revêtements de routes peu bruyants à l'intérieur des localités» avait pour objectif de contribuer au développement et à la promotion de ce type de revêtement pour lutter contre le bruit routier. Si les résultats, dont un aperçu est donné dans le présent article, apportent de nombreux enseignements pratiques et théoriques concernant la réalisation de revêtements acoustiquement performants, il convient de poursuivre les efforts pour accroître leur durabilité. Un défi dont la principale difficulté reste de concilier durabilité mécanique et performances acoustiques.

L'OFROU et l'OFEV jouent un rôle de leader dans le domaine de la lutte contre le bruit routier. Souhaitant soutenir les communes et les cantons,

les deux offices cherchent depuis de nombreuses années à encourager le développement et l'utilisation des revêtements peu bruyants.

La première initiative conjointe, «Lärmarme Strassenbeläge innerorts», fût lancée en 2003. Elle avait consisté à suivre

21 planches d'essai avec des enrobés macro-rugeux (type ACMR) à teneur en vide élevée ou poreux (type PA). Le rapport final, publié en 2007, soulignait notamment que les performances mécaniques et acoustiques des ACMR semblaient prometteuses, évoquant alors une durabilité acoustique pouvant atteindre dix ans.

A cette époque, les connaissances concernant la formulation de revêtements phono-absorbants étaient essentiellement empiriques. Partant de l'efficacité acoustique reconnue des

mindernden Belägen im Wesentlichen empirischer Art. Ausgehend von der anerkannten akustischen Performanz der PA-Beläge bestand generell Einigkeit darüber, dass die Erhöhung des Hohlraumgehalts ein wesentlicher Faktor zur Verbesserung der akustischen Leistung sei, wobei man sich der Risiken der Verkürzung der Lebensdauer aufgrund der Herstellung von Asphaltmischgut mit hohem Hohlraumanteil bewusst war (Abb. 1).

Man wusste auch, dass die Textur bezüglich der Lärmemissionen eine wesentliche Rolle spielt und dass die guten anfänglichen Akustikleistungen leider nicht lange anhalten. Aufgrund der geringen mechanischen Haltbarkeit und des Risikos der Verstopfung der Hohlräume (PA-Beläge) wurde empfohlen, die Entwicklung von ACMR mit hohem Hohlraumgehalt voran zu treiben.

Allerdings gab es damals in der Schweiz keine Norm bezüglich der lärmindernden Beläge, was ein gravierender Nachteil für Bauherren war, die vertragliche Anforderungen bezüglich dieser Produkte festlegen wollten.

In diesem Zusammenhang und mit dem erklärten Ziel, die Nutzung von spezifischen Deckschichten zur Lärmbekämpfung zu fördern, haben das ASTRA und das BAFU das Forschungspaket «Lärmarme Beläge innerorts» ins Leben gerufen, das im Jahr 2009 offiziell begann.

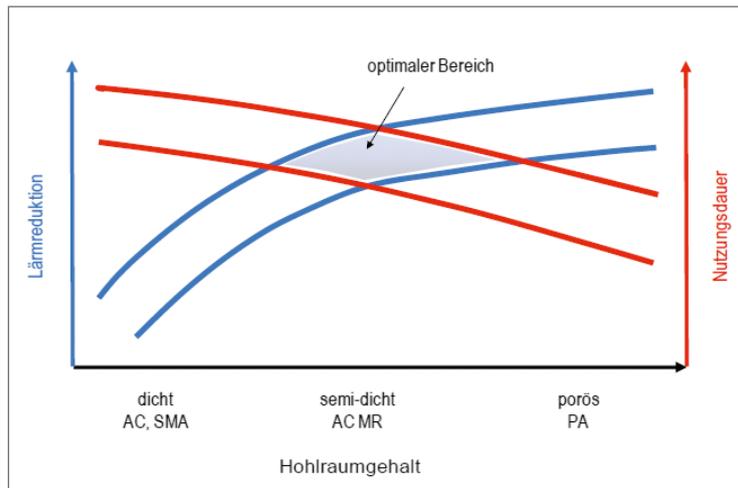
Ziele und Organisation

Die Ziele des Forschungspaketes «Lärmarme Beläge innerorts» waren:

- Den Einsatz lärmarmen Strassenbeläge zu fördern und einen weiteren Entwicklungsschub bei diesen Belägen zu bewirken.
- Die Akzeptanz gegenüber lärmarmen Belägen zu fördern und mit den betroffenen Strasseneigentümern eine Win-Win-Situation zu erreichen.

Das Forschungspaket basiert auf drei Teilprojekten:

- **TP1 «Forschung und Innovation»:** Bearbeitung von Forschungsthemen (siehe Box auf der folgenden Seite).
- **TP2²⁾ «Test und Validierung»:** Mit der Realisierung innovativer lärmarmen Beläge auf Teststrecken im Innerortsbereich konnten ergänzend zur Forschung konkrete



1 | Zusammenhang zwischen Hohlraumgehalt und akustischer Leistung bzw. Dauerhaftigkeit.¹⁾

1 | Relations entre la teneur en vides et la performance acoustique et/ou la durabilité.¹⁾

PA, il était généralement admis que l'augmentation de la teneur en vide était le facteur essentiel pour améliorer les performances, tout en étant conscient des risques de réduction de la durée de vie liés à la fabrication d'enrobés ayant des vides élevés (fig. 1).

On savait aussi que la texture jouait un rôle essentiel en matière d'émissions sonores et que les bonnes performances acoustiques initiales dureraient malheureusement peu longtemps. Compte

tenu de la faible durabilité mécanique et des risques de colmatage des enrobés poreux (type PA), il avait été recommandé de privilégier le développement de ACMR à teneur en vide élevée. D'un autre côté, il n'existait alors aucune norme en Suisse concernant les revêtements dits phono-absorbants, ce qui constituait un handicap important pour les maîtres d'ouvrage désireux de fixer des exigences contractuelles pour ces produits.

C'est dans ce contexte, et avec pour objectif avoué de promouvoir l'utilisation d'enrobés spécifiques pour lutter contre le bruit, que l'OFROU et l'OFEV ont initié le paquet de recherche «Revêtements de routes peu bruyants à l'intérieur des localités», qui a officiellement débuté en 2009.

Objectifs et organisation

Les objectifs du paquet de recherche «Revêtements de routes peu bruyants à l'intérieur des localités» étaient:

- de favoriser l'utilisation des revêtements peu bruyants et de donner une nouvelle impulsion au développement de ces matériaux;
- d'accroître l'attractivité des revêtements peu bruyants et aboutir à une situation de Win-Win pour les propriétaires de routes.

Le paquet de recherche se base sur trois projets partiels:

- **TP1 «Recherche et innovation»:** étude de différents thèmes de recherche (cf. encadré à la page suivante).
- **TP2²⁾ «Test et validation»:** 15 tronçons tests avec des revêtements peu bruyants ont été construits à l'intérieur de localités. La réalisation de ces tronçons avait pour objectif de compléter la recherche avec des expériences concrètes issues de la pratique. Pour y parvenir,

¹⁾Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2008), «Lärmarme Strassenbeläge innerorts: Schlussbericht 2007», <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/publikationen/laerm.html>

²⁾Es wurde kein eigenständiger Forschungsbericht publiziert. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3 des Syntheseberichts (und dem zugehörigen Anhang) wiedergegeben.

¹⁾Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2008), «Lärmarme Strassenbeläge innerorts: Schlussbericht 2007», <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/publikationen/laerm.html>

²⁾Le TP2 n'a pas été l'objet d'un rapport de recherche spécifique: les résultats sont disponibles au chapitre 3 (avec ses annexes) du rapport de synthèse du paquet de recherche.

TP1 Forschung und Innovation

Das TP1 wurde gemäss den von den beiden Bundesämtern definierten Vorgaben in zwei Phasen durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 11 Einzelprojekte (EP) definiert, 10 davon wurden ausgeschrieben und 8 an verschiedene Forschungsstellen vergeben. Für jedes dieser 8 Einzelprojekte wurde ein Forschungsbericht erstellt, der unabhängig veröffentlicht wurde:

- EP1: Rezeptierung von lärmarmen Belägen, Forschungsprojekt ASTRA 2010/010, Bericht 1552, Februar 2016 | EPFL/Lavoc
- EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge, Forschungsprojekt ASTRA 2010/011, Bericht 1559, März 2016 | IMP Bautest AG/Müller-BBM Schweiz AG
- EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge, Forschungsprojekt ASTRA 2010/012, Bericht 1423, September 2013 | WIFpartner AG
- EP4: Labormethoden für die Bestimmung akustischer Eigenschaften lärmarmen Beläge, Forschungsprojekt ASTRA 2010/013, Bericht 1564, Mai 2016 | Müller-BBM Schweiz AG/IMP Bautest AG
- EP5: Verbesserung der Genauigkeit akustischer Messmethoden, Forschungsprojekt ASTRA 2010/014, Bericht 1566, Juni 2016 | Müller-BBM Schweiz AG
- EP7: Innovative, lärmarme Beläge für den potenziellen Einsatz in der Schweiz, Forschungsprojekt ASTRA 2013/002, Bericht 1561, April 2016 | Grolimund + Partner AG
- EP8: Akustische Wirkung betrieblicher Reinigungsmassnahmen bei lärmarmen Belägen, Forschungsprojekt ASTRA 2013/003, Bericht 1560, April 2016 | Grolimund + Partner AG
- EP10: Sensivität der akustischen Eigenschaften lärmarmen Beläge aufgrund der Variabilität bei der Herstellung, Forschungsprojekt ASTRA 2013/004, Bericht xxxx, (noch nicht publiziert) | Müller-BBM Schweiz AG

praktische Erfahrungen gewonnen werden. Zu diesem Zweck wurden die Tiefbauämter der Kantone aufgefordert, potenzielle Teststrecken zu melden.

- **TP3³⁾ «Langzeit-Monitoring»:** Die Aufgabe war, die im Rahmen des TP2 eingebauten Deckschichten und vier Beläge aus den Vorgängerprojekten über einen Zeitraum von drei bis fünf Jahren messtechnisch zu begleiten und zu dokumentieren.

Das Forschungspaket wurde gemeinsam durch die Bundesämter für Strassen (ASTRA) und Umwelt (BAFU) geleitet. Das ASTRA leitete die Teilprojekte TP1 und TP2, das BAFU übernahm die Projektleitung des TP3.

³⁾Der vollständige Schlussbericht kann von der Homepage des BAFU heruntergeladen werden (<https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/laerm/>)

TP1 Recherche et innovation

Le TP1 a été effectué en deux phases conformément aux contraintes définies par les deux offices. Ici, ce sont au total 11 projets individuels (EP) qui ont été définis, dont 10 ont donné lieu à un appel d'offres public et 8 ont été attribués à différents centres de recherche. Un rapport de recherche, publié séparément, a été rédigé pour chacun de ces 8 projets individuels:

- EP1: Formulation des revêtements peu bruyants, Projet de recherche ASTRA 2010/010, rapport 1552, février 2016 | EPFL/Lavoc
- EP2: Détermination de la durabilité des couches d'enrobé phono-absorbant en laboratoire, Projet de recherche ASTRA 2010/011, rapport 1559, mars 2016 | IMP Bautest AG/Müller-BBM Schweiz AG
- EP3: Exploitation et entretien de revêtements peu bruyants, Projet de recherche ASTRA 2010/012, rapport 1423, septembre 2013 | WIFpartner AG
- EP4: Méthodes d'essai pour la vérification des caractéristiques acoustiques des couches d'enrobé phono-absorbant en laboratoire, Projet de recherche ASTRA 2010/013, rapport 1564, mai 2016 | Müller-BBM Schweiz AG/IMP Bautest AG
- EP5: Amélioration de la précision des méthodes de mesure acoustique, Projet de recherche ASTRA 2010/014, rapport 1566, juin 2016 | Müller-BBM Schweiz AG
- EP7: Applicabilité en Suisse des revêtements peu bruyants innovants, Projet de recherche ASTRA 2013/002, rapport 1561, avril 2016 | Grolimund + Partner AG
- EP8: L'efficacité acoustique des mesures de nettoyage des revêtements peu bruyants, Projet de recherche ASTRA 2013/003, rapport 1560, avril 2016 | Grolimund + Partner AG
- EP10: Sensibilité des propriétés acoustiques des revêtements peu bruyants à la variabilité de leur production en centrale, Projet de recherche ASTRA 2013/004, rapport xxxx, (pas encore publié) | Müller-BBM Schweiz AG

les cantons ont été contactés pour dire si ils étaient intéressés par la réalisation de tronçons test sur leur réseau.

- **TP3³⁾ «Monitoring à long terme»:** il s'agissait d'effectuer et analyser des mesures techniques et acoustiques recueillies sur les 15 tronçons test issus du TP2 ainsi que de quatre revêtements du projet précédent pendant une période allant de trois à cinq ans après leur pose.

Le paquet de recherche était piloté en commun par l'office fédéral des routes (OFROU) et celui de l'environnement (OFEV). L'OFROU pilotait les projets partiels TP1 et TP2, l'OFEV dirigeait le TP3.

³⁾Le rapport complet du TP3 peut être téléchargé à partir du site de l'OFEV (<https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/laerm/>)

Entwicklung während des Forschungspakets

Bevor nachfolgend ein Überblick der Ergebnisse des Forschungspakets gegeben wird, soll auf die Entwicklung der lärmarmen Beläge während des Verlaufs des Forschungspakets hingewiesen werden. Zunächst ist festzuhalten, dass sich der Einsatz von Belägen als Massnahme zur Bekämpfung von Lärmemissionen bei den Strasseneigentümern, insbesondere in den Kantonen, weit verbreitet hat. Um der erhöhten Nachfrage gerecht zu werden, haben die Strassenbauunternehmen neue Produkte entwickelt, die immer bessere akustische Leistungen aufweisen. Heute sind die meisten dieser Unternehmen in der Lage, Beläge herzustellen, die im Neuzustand erhebliche Lärmreduktionen vorweisen.

Der VSS hat seinerseits mit der Regel SNR 640 436 «Semi-dichtes Mischgut und Deckschichten; Festlegungen, Anforderungen, Konzeption und Ausführung» den neuen Belagstyp (SDA) normiert (im Jahr 2013 veröffentlicht und im Jahr 2015 geringfügig geändert). Obwohl die SDA-Beläge bekanntlich gute Lärmreduktionen ermöglichen, werden im Kapitel 4 dieser Regel die akustischen Eigenschaften explizit nicht quantifiziert. Die Regel anerkennt zwei Grösstkörner: 4 mm, das hervorragende Lärmreduktionen ermöglicht, aber eine geringere mechanische Festigkeit aufweist, und 8 mm, das zwar eine bessere mechanische Dauerhaftigkeit hat, aber kleinere Lärmreduktionen bietet.

Parallel zu dieser Regel (die nur die mechanischen Eigenschaften der SDA beschreibt), sind in der Regel SNR 640 425 «Lärmindernde Decken; Grundlagen», die ebenfalls im Jahr 2013 veröffentlicht wurde, «die lärmindernden Decken und ihre Kategorien beschrieben» (aus Kap. 2 Gegenstand). Diese Regel bleibt jedoch ziemlich vage, weil sie nur «Grundlagen für die Planung von lärmindernden Decken schafft» (aus Kap. 3 Zweck). Und «Die Zertifizierung der Lärmeigenschaften eines bestimmten Produkts erfolgt nicht gemäss dieser Norm» (aus Kap. 4 Zertifizierung).

Akustische oder mechanische Anforderungen?

Die Entwicklung von lärmindernden Decken verlief auf zwei parallelen Wegen, einerseits mit privaten Initiativen ausgehend von Unternehmern, die sich auf die akustischen Leistungen konzentrierten, und andererseits mit der Normungsarbeit des VSS, die in erster Linie mechanische Eigenschaften festlegt, ohne eine Garantie für die akustischen Leistungen zu bieten. Die Bauherren haben bei der Erstellung des Pflichtenheftes zwischen zwei Alternativen zu wählen:

- Vorgabe der Lärmreduktion in Bezug auf das Standardmodell (Stl86+), jedoch ohne Möglichkeit der Kontrolle der mechanischen Eigenschaften der verwendeten Materialien (Performance-orientierter Ansatz).
- Vorgaben der mechanischen Eigenschaften gemäss Norm (SNR 640 436), ohne jedoch die Anforderungen bezüglich der akustischen Leistungen festlegen zu können (Zusammensetzungs-orientierter Ansatz).⁴⁾

⁴⁾Im Rahmen des TP2 wurde ein Pflichtenheft erstellt für Bauherren erstellt, das als Grundlage für die zweite Lösung dienen kann.

Evolution pendant le paquet de recherche

Avant de donner une synthèse des résultats du paquet de recherche, il convient de montrer en quoi la situation des revêtements peu bruyants a évolué durant son déroulement. Tout d'abord, l'usage des revêtements comme mesure de lutte contre les émissions sonores s'est largement répandue chez les propriétaires de route, notamment dans les cantons. Pour répondre à l'accroissement de la demande, les entreprises de construction routière ont développé de nouveaux produits proposant des performances acoustiques toujours plus élevées: aujourd'hui, la plupart d'entre elles sont capables de réaliser des revêtements offrant des gains acoustiques conséquents à l'état neuf.

De son côté, la VSS a normalisé un nouveau type de revêtement (SDA) par le biais de la règle SNR 640 436 «Enrobés et couches semi-denses; Spécifications, exigences, conception et exécution» (publiée en 2013 et légèrement révisée en 2015). Cependant, et bien que les SDA sont reconnus comme susceptibles d'offrir de bonnes performances acoustiques, le chapitre 4 de cette règle stipule qu'elle «ne fournit pas des indications relatives aux propriétés phoniques». La règle reconnaît deux tailles de grain maximal: 4 mm, qui garantit a priori d'excellentes performances acoustiques, mais une résistance mécanique moindre, ou 8 mm, avec a priori une meilleure résistance mécanique, mais des résultats acoustiques plus limités. Parallèlement à cette règle, qui ne décrit que les propriétés mécaniques des SDA, la règle SNR 640 425 «Couches de surface phono-absorbantes; bases», elle aussi publiée en 2013, décrit «les couches de surface phono-absorbantes et ses catégories» (chap. 2 Objet). Cette règle reste toutefois assez vague puisque son but se limite à «donner des bases pour l'utilisation et la planification des couches de surface phono-absorbantes» (chap. 3 But). De plus, «La certification des propriétés phoniques d'un produit particulier ne fait pas partie de cette norme» (chap. 4 Certification).

Des exigences acoustiques ou mécaniques?

Le développement des revêtements phono-absorbants a ainsi suivi deux cheminements parallèles avec d'un côté, des initiatives privées issues d'entreprises qui se focalisaient d'abord sur les performances acoustiques et de l'autre, la démarche normative de la VSS qui fixe en premier lieu des propriétés mécaniques, sans offrir de garantie pour les performances acoustiques. Les maîtres d'ouvrage se trouvent confrontés à une alternative lorsqu'il s'agit d'établir un cahier des charges:

- Exiger des performances acoustiques par le biais de réduction du bruit par rapport à un modèle standard (Stl86+), mais sans réel moyen de contrôler la qualité mécanique des matériaux posés (démarche orientée vers les performances).
- Exiger des matériaux conformes à une normalisation (SNR 640 436) leur garantissant des propriétés mécaniques, mais sans pouvoir fixer des exigences quant aux performances acoustiques (démarche orientée vers la formulation).⁴⁾

⁴⁾Le TP2 a établi cahier des charges pouvant servir de base pour les maîtres d'ouvrage désireux de suivre cette seconde alternative.

Letztendlich besteht heute unabhängig von der gewählten Verfahrensweise nach wie vor die Hauptschwierigkeit darin, eine akzeptable mechanische und akustische Lebensdauer für lärmindernde Decken garantieren zu können. Diese beiden Anforderungen müssen erfüllt werden, obwohl, wie ein grosser Teil der Ergebnisse des Forschungspakets «Lärmarme Beläge innerorts» bestätigt, die Bedingungen zu ihrer Erfüllung widersprüchlich sind (Abb. 1).

Textur und kommunizierende Hohlräume

Eines der wichtigsten, erzielten Ergebnisse ist die Bestätigung, dass die akustische Effizienz von Asphaltdeckschichten hauptsächlich von zwei Faktoren abhängig ist: der Textur der Fahrbahnoberfläche und den Hohlräumen. Vereinfacht kann gesagt werden, dass die Textur die Lärmmissionen mindert, die durch die Vibrationen aufgrund des Kontakts zwischen den Reifen und dem Belag verursacht werden, wohingegen die Hohlräume den Luftpumpeffekt (Air-Pumping-Effekt) dämpfen.⁵⁾ Bezüglich der Hohlräume ist offenbar weniger der prozentuale Anteil als vielmehr ihre Kommunizierbarkeit wichtig: Die Hohlräume sind nur wirksam, wenn die Luft ohne Pumpeffekt entweichen kann. Daraus lässt sich folgern, dass ein hoher Hohlraumanteil a priori akustisch wirksamer ist, da dadurch die Wahrscheinlichkeit, dass kommunizierende Hohlräume entstehen, erhöht wird.

Leider ist es sehr schwierig, die Kommunizierbarkeit der Hohlräume zu bestimmen. Es können lediglich Tendenzen durch Messung des Luftwiderstands festgestellt werden. Das im Forschungspaket verwendete Messverfahren wird jedoch nicht nur durch die Hohlräume beeinflusst, sondern auch durch die Oberflächentextur. Die in das Rohr eingedrückte Luft kann zwar durch Hohlräume aus dem Rohr entweichen, aber auch durch die Zwischenräume zwischen der Belagsoberfläche und der Messeinrichtung. Leider ist es nicht möglich den jeweiligen Einfluss der Hohlräume und der Textur in den Messergebnissen zu separieren.

Beurteilung im Labor und Messung der Hohlräume

Das vorliegende Forschungspaket ist weit davon entfernt, eine Lösung für die Beurteilung der akustischen Leistung von Asphaltmischgut gefunden zu haben. Obwohl mit der Prüfmaschine Impact III, die im Rahmen des EP2 untersucht wurde (siehe Artikel auf Seite 48), bestimmte Oberflächeneigenschaften verändert werden konnten, welche die akustischen Eigenschaften beeinflussen, waren die gemessenen Änderungen zu geringfügig, um mit dem Modell SPeRON die Entwicklung der akustischen Leistung von Belägen, die im Labor belastet wurden, bestimmen zu können. Ausserdem sind sehr viele Belastungszyklen notwendig, um auch nur geringfügige Veränderungen zu erzielen. Die Prüfung dauert deshalb viel zu lang.

Das EP1 hat aufgezeigt, dass es schwierig ist, die akustischen Eigenschaften im Labor zu beurteilen. Auf der Suche nach

Finalment, quelle que soit la procédure retenue, la principale difficulté reste aujourd'hui de pouvoir garantir une durabilité mécanique et acoustique acceptable pour des revêtements phono-absorbants. Ceci alors que, comme le confirme une grande partie des résultats du paquet de recherche «Revêtements peu bruyants en localité», les conditions nécessaires à l'obtention de cette double exigence restent contradictoires (fig. 1).

Texture et vides communicants

Le premier résultat majeur obtenu est la confirmation que l'efficacité acoustique des revêtements bitumineux dépend principalement de deux éléments: la texture de la surface de la chaussée et les vides. Pour simplifier, il est possible de dire que la texture réduit les émissions sonores dues aux vibrations résultant du contact entre les pneumatiques et le revêtement alors que ce sont les vides qui atténuent l'effet de pompage de l'air (Air-Pumping-Effekt).⁵⁾ Concernant les vides, plus que le pourcentage, il semble que ce soit surtout leur communicabilité qui est essentielle: les vides ne sont efficaces que pour autant que l'air puisse s'échapper sans «Pumping-Effekt». Il est ainsi logique que des teneurs en vides élevées soient a priori acoustiquement plus efficaces, les chances d'obtenir des vides communicants étant plus grandes.

Concernant les vides, il est malheureusement assez délicat d'évaluer leur communicabilité. Il est possible d'obtenir des tendances à partir de mesures de la résistance de l'air. Cependant, la méthode utilisée pour cette mesure dans le cadre du paquet de recherche n'est pas influencée que par les vides, mais aussi par la texture: l'air injecté dans le tube peut en effet s'échapper du tube par le biais des vides, mais aussi par les interstices créés par la texture entre la surface du revêtement sur laquelle le tube repose et l'extrémité de ce dernier. Il n'est malheureusement pas possible de séparer les contributions relatives du vide et de la texture directement à partir de l'essai.

Evaluation en laboratoire et mesure des vides

Le présent paquet de recherche est loin d'apporter une solution au problème crucial de l'évaluation en laboratoire des performances acoustiques des enrobés. Si la machine Impact III étudiée dans le cadre du EP2 (voir article p. 48) a bien permis de dégrader certaines propriétés de surface pouvant influencer les propriétés acoustiques, les modifications mesurées ont été trop faibles pour évaluer, avec le modèle SPeRON, l'évolution des performances acoustiques de revêtements endommagés en laboratoire. En plus, le nombre de cycles nécessaires pour aboutir à ces faibles modifications reste trop élevé, ce qui implique des durées d'essai beaucoup trop longues. Le EP1 s'est aussi heurté à la difficulté d'évaluer les propriétés acoustiques en laboratoire. A la recherche d'une méthode pour sommairement évaluer en laboratoire les propriétés acoustiques des recettes étudiées, le EP1 a tenté d'utiliser des mesures du coefficient d'absorption, mais sans

⁵⁾Die Oberflächentextur spielt auch eine wichtige Rolle beim Luftpumpeffekt (Air-Pumping-Effekt).

⁵⁾La texture joue également un rôle important concernant l'Air-Pumping-Effekt.



60 dB Die Lautstärke, die am Ort der Fotoaufnahme gemessen wurde (Foto: Gregory Collavini; siehe Seiten 44–47).
Volume sonore enregistré sur le lieu même de la prise de vue (photo: Gregory Collavini; voir pages 44–47).

einem Verfahren zur schnellen Beurteilung der akustischen Eigenschaften der untersuchten Rezepturen im Labor, wurden im EP1 Messungen des Absorptionskoeffizienten durchgeführt, jedoch erfolglos. Die Optimierung der Rezeptur lärmindernder Asphaltmischgüter im Labor erfolgte für das EP1 im Wesentlichen auf der Basis der mechanischen Eigenschaften. Das EP4 hat gezeigt, dass das Modell SPERoN für die Beurteilung der akustischen Eigenschaften von im Labor hergestellten Proben verwendet werden kann. SPERoN liefert Ergebnisse in Form von Spektren, deren Analyse die Berechnung der Anteile der akustischen Leistung nach Textur und Hohlräume ermöglicht.

Die Regel SNR 640 436 legt Klassen von SDA aufgrund des Hohlraumgehaltes fest. Wie in der Praxis anhand realisierter Teststrecken des TP2 demonstriert werden konnte, führt die Bestellung einer Rezeptur nicht zwangsläufig zum gewünschten Produkt mit dem entsprechenden Hohlraumgehalt: Es wurde bspw. ein Belag SDA Klasse C verlangt, der eingebaute Belag wies hingegen die Eigenschaften für die Klasse D auf (oder umgekehrt). In mechanischer Hinsicht ist das a priori

succès. Et l'optimisation en laboratoire de la formulation des enrobés phono-absorbant du EP1 a essentiellement été faite sur la base des propriétés mécaniques.

Le EP4 a montré que le modèle SPERoN peut être utilisé pour évaluer les propriétés phoniques d'échantillons fabriqués en laboratoire. SPERoN fournit par ailleurs des résultats sous forme de spectres, dont l'analyse permet d'évaluer la part des performances acoustiques due à la texture ou aux vides.

Concernant les vides, la règle SNR 640 436 définit des classes de SDA. Comme l'ont montré certains chantiers réalisés dans le cadre du TP2, la commande d'une recette n'aboutit pas forcément au produit souhaité du point de vue de la teneur en vide: des SDA de classe C ont été demandés, mais les matériaux posés respectaient les caractéristiques de classe D (ou l'inverse). D'un point de vue mécanique, ce problème n'est a priori pas essentiel pour autant que les propriétés obtenues respectent les valeurs limite d'un des SDA normalisés. D'un point de vue acoustique, il est possible d'admettre que les performances seront d'autant meilleures que la teneur en vide est élevée. Finalement, la question est peut-être de savoir si

nicht gravierend, sofern die Eigenschaften die Grenzwerte eines genormten SDA-Belages einhalten. In akustischer Hinsicht ist jedoch festzustellen, dass die akustische Leistung umso besser ist, je höher der Hohlraumgehalt ist. Es bleibt schlussendlich die Frage, ob die Festlegung verschiedener SDA-Klassen sinnvoll ist, und falls ja, ob die derzeitigen Wertebereiche relevant sind:

- Ist die Einteilung der Wertebereiche in 4%-Schritten sinnvoll?
- Müssen die Wertebereiche für SDA4 und der SDA8 identisch sein?

Bezüglich der Hohlräume ist auch auf das Messverfahren zu achten, das bei SDA-Belägen angewendet wird. Im EP1 wird die Anwendung des geometrischen Verfahrens, das für hohe Hohlraumanteile als geeigneter betrachtet wird, empfohlen. Dieses Verfahren (Verfahren D) ist auch in Ziffer 12 der Regel SNR 640 436 vorgeschrieben. Die systematische Anwendung durch Labors hat sich jedoch noch nicht durchgesetzt, was zu Verwechslungen führen kann.

Relevanz von Probeeinbauten

Neben ihrem massgeblichen Einfluss auf die akustischen Eigenschaften haben die Textur und die Kommunizierbarkeit der Hohlräume gemeinsam, dass es schwierig ist, sie vorauszu sehen und sie erst nach Einbau des Belages gemessen werden können:

- durch direkte Messungen der Oberflächentextur;
- durch Messungen des Luftströmungswiderstands für die Kommunizierbarkeit, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Ergebnisse auch von der Oberflächentextur abhängig sind.

Obwohl im Rahmen der EP 2 und 4 gezeigt wurde, dass es möglich ist, Labormessungen an Proben durchzuführen, ist nicht bekannt, ob diese Messungen auch für vor Ort entnommene Proben repräsentativ sind. Es wird deshalb empfohlen, Probeeinbauten durchzuführen und von diesen Prüfungen zu entnehmen, um die akustische Qualität eines Belags zu bestimmen. Der Probeeinbau ist vor allem dann zu empfehlen, wenn der Unternehmer keine oder wenig Erfahrungen mit SDA-Belägen hat.

Ein anderes grösseres Problem ist die Definition der Einbauvorgaben (insbesondere bezüglich Verdichtung), die für die Erreichung der gewünschten Eigenschaften hinsichtlich der Kommunizierbarkeit der Hohlräume und der Textur wichtig sind. Trotz der Wahl bewährter Rezepturen bleibt die Frage offen, wie durch die Verdichtung die Kommunizierbarkeit der Hohlräume und der Oberflächentextur garantiert werden kann. Auch hier wird empfohlen, Prüfungen an Probeeinbauten vorzunehmen. Das dabei eingesetzte Personal und Material sollte auch beim definitiven Belagseinbau eingesetzt werden. Schliesslich darf die Wahl eines in akustischer Hinsicht leistungsfähigen Belags zur Bekämpfung von Strassenlärm nicht dazu führen, dass andere Lärmursachen vergessen werden, wie dies im Rahmen des TP2 teilweise festgestellt wurde (Schachtdeckel, Fugen, Markierungen).

la définition de différentes classes de SDA est utile, et si oui, si les domaines de variation actuels sont pertinents:

- la limite des plages de valeurs par des tranches de 4 % est-elle judicieuse?
- les plages de valeurs des SDA4 et des SDA8 doivent-elles être identiques?

Concernant les vides, il faut aussi être attentif à la méthode utilisée pour leur mesure sur les SDA. Le EP1 recommande d'utiliser la méthode géométrique, jugée préférable pour des vides élevés. C'est d'ailleurs cette méthode (mode opératoire D) qui est imposée au chiffre 12 de la règle SNR 640 436, mais son utilisation systématique par les laboratoires ne semble toutefois pas encore admise, ce qui conduit à des confusions.

Importance des planches d'essai

En plus de leur rôle déterminant pour les performances acoustiques, la texture et la communicabilité des vides ont comme point commun qu'il est délicat de les anticiper et que ces propriétés ne peuvent être mesurées qu'une fois le revêtement posé:

- par des mesures directes de la texture;
- par des mesures de la résistance à la perméabilité à l'air pour la communicabilité, en sachant cependant que les résultats dépendent aussi de la texture de la surface.

Si les EP 2 et 4 ont montré qu'il est possible d'effectuer des mesures en laboratoire sur des éprouvettes, on ne sait pas si ces mesures sont représentatives de celles qui seraient obtenues sur des échantillons prélevés in situ. Il est dès lors recommandé de réaliser des planches d'essai pour anticiper les performances acoustiques d'un revêtement, surtout si l'entreprise manque d'expérience en matière de pose de SDA.

Un autre problème majeur consiste ensuite à définir les conditions de pose (notamment au niveau du compactage) favorables à l'obtention des caractéristiques recherchées, tant pour la communicabilité des vides que pour la texture. S'il convient naturellement de privilégier des recettes ayant fait leurs preuves, la question demeure de savoir comment parvenir à garantir de la communicabilité ou des qualités de texture avec des rouleaux compresseurs. Là aussi, il est recommandé de réaliser des planches d'essai. Et d'exiger ensuite que le matériel et l'équipe de pose ayant réalisé les planches d'essai soient les mêmes lors de la pose du revêtement définitif.

Finalement, si le choix d'un revêtement performant d'un point de vue acoustique constitue a priori un excellent moyen de lutter contre le bruit routier, une expérience malheureuse enregistrée dans le cadre du TP2 a montré qu'il est impératif de veiller à éviter les éléments susceptibles de pénaliser les performances (couvre-cles, joints de pose, marquages).

Difficile de garantir des performances à long terme

Selon les observations faites dans le TP3, les propriétés acoustiques diminuent systématiquement, et souvent de

Problematik der langfristigen Garantie der akustischen Eigenschaften

Im TP3 wurde festgestellt, dass sich die akustischen Eigenschaften systematisch während der ersten Jahre verschlechtern, manchmal geradezu drastisch. Heute ist es relativ üblich, anfängliche eine hohe Lärmreduktion zu erzielen.⁶⁾ Diese Reduktion sagt jedoch nichts über ihre Dauerhaftigkeit aus. Letztere hängt davon ab, wie gut ein Belag seine Oberflächentextur und kommunizierenden Hohlräume beibehalten kann, d.h. sie hängt indirekt von den mechanischen Eigenschaften des Belags ab. Um mittel- und langfristig eine gute Oberflächentextur garantieren zu können, müssen in erster Linie hochwertige Gesteinskörnungen und Bindemittel verwendet werden. Die Belagsmischung darf auch kein zu mageres Füllstoff-Bindemittel-Gemisch aufweisen.⁷⁾

Die zeitliche Entwicklung der akustischen Leistung ist auch von der Verstopfung der Hohlräume abhängig. Hier hat das EP8 aufgezeigt, dass mit herkömmlichen Reinigungstechniken die Wirksamkeit der akustischen Eigenschaften – verursacht durch die Verschmutzungen der Hohlräume – nicht wieder hergestellt werden kann.

Verbesserung des Know-hows

War es zu Beginn des TP2 noch schwierig, die gewünschten Belagsrezepturen zu erhalten und die entsprechenden Eigenschaften zu erzielen, so wurde im Rahmen des EP10 eine deutliche Verbesserung im Umgang mit SDA-Produkten festgestellt: Die an 12 SDA-Belägen gemessenen mechanischen Eigenschaften zeigen, dass allesamt von den verschiedenen Unternehmern gelieferten Beläge den Anforderungen gemäss Regel SNR 640 436 entsprachen. Es handelt sich dabei um ein wichtiges Ergebnis aus dem Forschungspaket, das aufzeigt, dass die heutigen Unternehmer in der Lage sind, SDA-Beläge aufgrund der mechanischen Anforderungen herzustellen. Die erreichten Anfangswerte für die Lärmreduktion sind ebenfalls sehr hoch. Der Nachweis, dass diese Werte auch mittel- und langfristig erhalten bleiben, ist damit aber noch nicht erbracht. Die Lösung dieses Problems liegt wahrscheinlich im noch besseren Verständnis der Wechselwirkung zwischen Oberflächentextur und den kommunizierenden Hohlräumen.

Abschliessend zeigt das Forschungspaket eindeutig die Notwendigkeit, die Zusammenhänge zwischen den akustischen und den mechanischen Eigenschaften der Deckschichten besser beschreiben zu können, d.h. besser zu verstehen, wie die Textureigenschaften und die Hohlraumeigenschaften die akustische Leistung beeinflussen. Zur Erreichung dieses Ziels braucht es zwingend einen Dialog zwischen Akustikern und Belagsexperten, um das gegenseitigen Verständnis der in jedem Bereich angewendeten Messverfahren und deren quantitativer und qualitativer Interpretation zu verbessern.

façon spectaculaire, lors des premières années. S'il est aujourd'hui relativement commun d'obtenir une forte réduction initiale des émissions sonores⁶⁾, rien ne garantit la durabilité de cette réduction. Une durabilité qui dépend de la capacité du revêtement à conserver d'une part la qualité de sa texture et d'autre part des vides aussi communicants que possibles, donc indirectement des propriétés mécaniques du revêtement. Garantir une bonne texture à moyen et long terme suppose en premier lieu d'utiliser des granulats et des liants de qualité. Il faut aussi être attentif à ne pas produire des revêtements trop pauvres en mastic (mélange filler-liant).⁷⁾

L'évolution dans le temps des performances acoustiques dépend aussi du colmatage des vides. A cet égard, le EP8 a montré que les techniques traditionnelles de nettoyage ne permettent malheureusement pas de redonner des performances acoustiques significatives à des revêtements dont l'efficacité aurait diminué en raison de salissures.

Amélioration du savoir-faire

Par rapport aux difficultés rencontrées dans le TP2 pour obtenir les mélanges souhaités, le suivi des chantiers du EP10 a montré une amélioration sensible de la maîtrise des produits de types SDA: les propriétés mécaniques mesurées sur les 12 SDA suivis montrent en effet que les revêtements livrés par diverses entreprises sont dans l'ensemble conformes aux exigences imposées, des exigences qui correspondaient généralement à celles fixées par la règle SNR 640 436. Il s'agit là d'un résultat essentiel qui tend à prouver que les entreprises sont aujourd'hui à même de réaliser des revêtements SDA sur la base d'exigences mécaniques. Si les performances acoustiques mesurées juste après la pose donnent dans l'ensemble des résultats très encourageants, reste désormais à savoir dans quelle mesure ces bonnes performances initiales se maintiendront à moyen ou long terme. Un problème dont la solution passe vraisemblablement par une meilleure compréhension du rôle combiné de la texture et des vides communicants sur les performances phoniques.

Finalement, le paquet de recherche a aussi montré la nécessité de mieux définir les liens existants entre propriétés acoustiques et propriétés mécaniques des couches de surface, autrement dit de mieux comprendre comment les propriétés de texture et de vides agissent sur les performances acoustiques. Cette amélioration passe impérativement par un dialogue entre acousticiens et spécialistes des revêtements ayant pour objectif d'améliorer la connaissance réciproque des méthodes de mesure utilisées dans chacun des domaines, mais aussi de leur interprétation quantitative et qualitative.

⁶⁾ Siehe insbesondere die beim EP10 erzielten Ergebnisse.

⁷⁾ Ein minimaler Bindemittelgehalt und Wertebereiche für den Anreicherungsmodul (Module de Richesse) wurden vom EP1 vorgeschlagen.

⁶⁾ Voir notamment les résultats obtenus dans le EP10.

⁷⁾ Des teneurs en liant minimales et des plages de valeur pour le module de richesse ont été proposées par le EP1.

Rollgeräuscentstehung und Rollgeräuschminderung

Origine et réduction du bruit de roulement

Für die Rollgeräuschminderung stehen drei elementare Fahrbahnoberflächeneigenschaften zur Verfügung: die Fahrbahnoberflächenrauigkeit (Textur), der Hohlraumgehalt und die Nachgiebigkeit. Bei der Rollgeräuscentstehung und -abstrahlung sind drei Mechanismen im Spiel, die durch diese Fahrbahnoberflächeneigenschaften beeinflusst werden: die mechanische Anregung des Reifens zu Schwingungen, die Wechselwirkung des auf der Fahrbahnoberfläche rollenden Reifens mit der im Reifen-Fahrbahn-Kontakt bewegten Luft (Aerodynamik) und der durch Reifenkontur und Fahrbahnoberfläche gebildete Wellenleiter (Schalltrichter, Horn). Wie die bautechnischen Eigenschaften einer Fahrbahndeckschicht hierzu beitragen, wird nachfolgend beschrieben.

Mechanisch induzierte Rollgeräuscentstehung

Im Reifen-Fahrbahn-Kontakt trifft das elastisch verformbare Reifenmaterial auf die starre und raue Fahrbahnoberfläche. Die Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche dringt in die Reifenlauffläche ein und verformt diese lokal. Diese lokale Verformung führt zur Entstehung lokaler Kontaktkräfte, die der statischen Auflagekraft des Reifens überlagert sind. Die Auslenkung der Reifenlauffläche führt aufgrund der Inkompressibilität des Reifengummis zu einer Formänderung des Reifenprofils und damit zu einer Änderung der Kontaktfläche. Die resultierende Kontaktkraft ist proportional zum Inhalt der Kontaktfläche. Dies führt jedoch zu einer nicht linearen Abhängigkeit der Kontaktsteife im Querschnitt des Reifen-Fahrbahn-Kontakts von der Rauigkeitsverteilung des Belags in diesem Querschnitt. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel des Reifen-Fahrbahn-Kontakts in einem Längsschnitt (links) und die Fluktuation der Kontaktsteife $S_c(x)$ pro Querschnitt x für einen profilierten Reifen (rechts) in Bezug zur Steife $S_{\text{Glattreifen}}$, die sich ergäbe, wenn der Reifen profillos wäre.

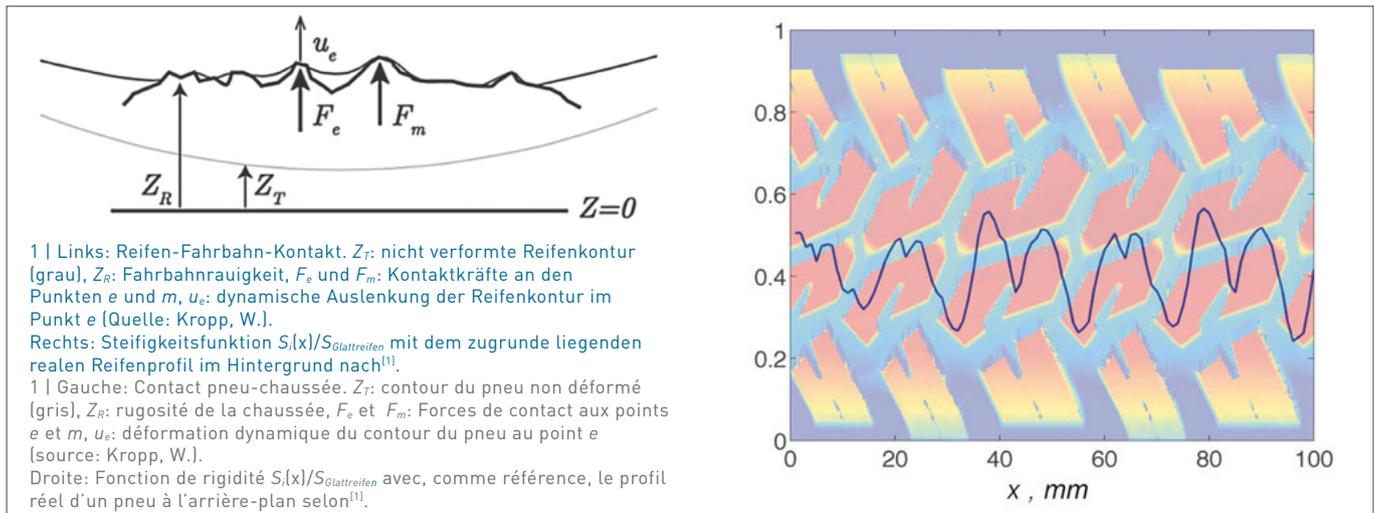


VON
THOMAS BECKENBAUER
Dr.-Ing.,
Müller-BBM Schweiz AG,
Allschwil (BL)

La diminution du bruit de roulement peut être influencée par trois caractéristiques de la couche de surface d'une chaussée: sa rugosité (texture), sa teneur en vides et son élasticité. Trois mécanismes dépendant des caractéristiques de surface de la chaussée jouent un rôle important concernant l'origine du bruit de roulement: les vibrations du pneu, l'interaction du pneu roulant sur la chaussée avec l'air mis en mouvement par le contact pneu-chaussée (aérodynamique) et la conduction d'ondes (corne) créé par le contour du pneu et la surface de la chaussée. L'article qui suit décrit comment les caractéristiques techniques des couches de surface contribuent à ces divers éléments.

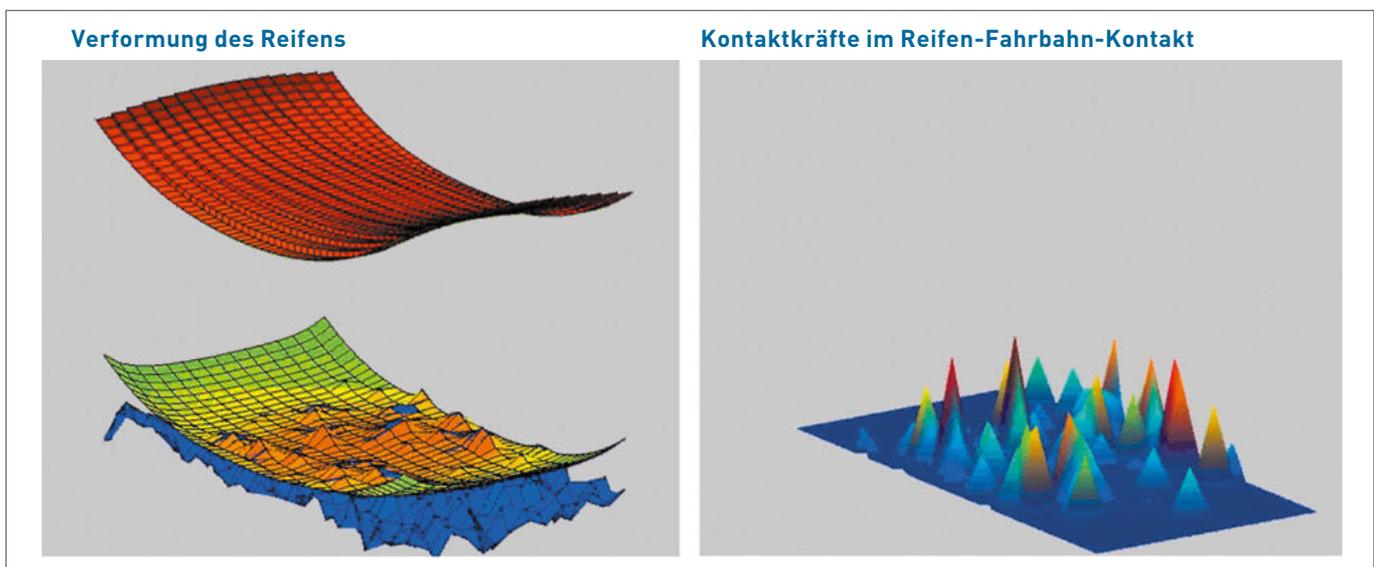
Origine mécanique du bruit de roulement

Lors du contact pneu-chaussée, le matériau élastiquement déformable du pneu touche la surface rigide et rugueuse de la chaussée. La surface rugueuse de la chaussée pénètre dans le plan de roulement du pneu et le déforme localement. Cette déformation locale produit des forces de contact locales qui se superposent à la force d'appui statique du pneu. En raison de l'incompressibilité du caoutchouc du pneu, la déformation de la surface de roulement du pneu se traduit par un changement de forme du profil du pneu, donc par une modification de la surface de contact. La force de contact résultante est proportionnelle à la surface de contact. Cependant, cela entraîne une relation non linéaire de la surface de contact entre la surface de roulement du pneu et la répartition de la rugosité de la chaussée dans cette section. La figure 1 montre un exemple de contact pneu-chaussée en coupe longitudinale (gauche) et la fluctuation de la rigidité de contact $S_c(x)$ à la section transversale x pour un pneu profilé (droite) par rapport à la rigidité $S_{\text{Glattreifen}}$ que l'on obtiendrait pour un pneu sans profil.



Wird nun der Reifen in Bewegung gesetzt, findet quasi eine Abtastung der ortsveränderlichen Steifigkeit $S_i(x)$ im Zeitbereich statt. Der Reifen «folgt» Stellen unterschiedlicher Steifigkeit. Auf diese Weise entstehen geschwindigkeitsabhängige hochfrequente Wechselkräfte, die dazu in der Lage sind, sowohl die Lauffläche als auch den Gürtel des Reifens in Schwingungen zu versetzen. Das System reagiert dabei nicht rückwirkungsfrei. Die Schwingungsanregung hängt einerseits von den Wechselkräften ab, andererseits wirken die Schwingungen auch zurück auf den Kontakt der Reifenlauf­fläche mit der Fahrbahnoberfläche, was wiederum Einfluss auf die Kontaktkräfte hat. Abbildung 2 macht die Vorgänge am Beispiel eines Glattreifens auf rauher Fahrbahnoberfläche deutlich. Auf der linken Seite sind die lokalen Verformungen der Reifenlauf­fläche dargestellt. Die rot eingefärbte Fläche kennzeichnet den mit der Lauffläche elastisch gekoppelten Reifengürtel, der durch die Verformung der Lauffläche ebenfalls in Schwingung versetzt wird. Auf der rechten Seite sind die Kontaktkräfte zu einem bestimmten Zeitaugenblick dargestellt.

Si le pneu est mis en mouvement, on peut quasiment observer un balayage de la rigidité de contact $S_i(x)$ en fonction du temps. Le pneu «suit» des zones de rigidité variable. On obtient ainsi des forces alternatives à haute fréquence dépendantes de la vitesse qui sont capables de faire vibrer la bande de roulement et la ceinture du pneu. Le système réagit alors de manière interactive. L'impulsion des vibrations dépend des forces alternatives et les vibrations ont elles-mêmes un impact sur le contact entre la bande de roulement du pneu et la surface de la chaussée, ce qui influence de nouveau la force de contact. La figure 2 montre bien ce processus pour un pneu non profilé sur une surface de chaussée rugueuse. L'image de gauche représente les déformations locales de la bande de roulement du pneu. La surface en rouge caractérise la ceinture du pneu qui, couplée élastiquement avec la bande de roulement, vibre également en raison de la déformation de la surface de roulement. L'image de droite représente les forces de contact à un instant donné.



2 | Links: Verformung der Reifenlauf­fläche (grün) und des Reifengürtels (rot) durch den Kontakt mit der rauhen Fahrbahnoberfläche. Rechts: Lokale Kontaktkräfte im Reifen-Fahrbahn-Kontakt zu einem bestimmten Zeitaugenblick^[2].

2 | Gauche: Déformation de la bande de roulement du pneu (vert) et de la ceinture de pneu (rouge) due à son contact avec la la chaussée rugueuse.
Droite: Forces de contact locales dans le contact pneu-chaussée à un moment donné^[2].

Die Schwingungen an der Reifenoberfläche werden schliesslich als hörbarer Schall abgestrahlt. Der hervorgerufene Schalldruck steht dabei in einem linearen Zusammenhang mit den hochfrequenten Wechselkräften.

Konzepte zur Verminderung der Reifen-Fahrbahn-Geräusche müssen darauf abzielen, die Änderung der Kontaktsteife entlang des Rollkontakts so gering wie möglich zu halten. Dies gelingt dann am besten, wenn sich die Kontaktfläche im Reifenquerschnitt entlang des Abrollweges so wenig wie möglich ändert. Kann sich die Gesamtkraft ausserdem gleichmässig auf viele Kontaktpunkte verteilen, wird die lokale Kraft pro Kontaktfläche kleiner und damit die lokale Schwingungsanregung geringer.

Bedeutung der Fahrbahnoberflächentextur

Die Bedeutung der Fahrbahnoberflächentextur wird anhand des Vergleiches zweier Bauweisen deutlich. Bei der ersten Bauweise entsteht die Textur beispielsweise durch Freilegen der groben Gesteinskörnung kurz nach dem Einbau, wie beim Waschbeton, oder durch Abstreuerung der Oberfläche wie bei herkömmlichen Gussasphalten. Einer Oberfläche dieser Bauweise mit 8 mm Grösstkorn wird hier nun eine heiss gewalzte Asphaltoberfläche, ein Splittmastixasphalt (SMA), ebenfalls mit 8 mm Grösstkorn, gegenübergestellt. Die Oberflächen-texturen sind zusammen mit der typischen Länge eines PW-Reifenprofilklotzes in Abbildung 3 über einen Ausschnitt von 100 mm Länge vergleichend dargestellt. Die gepunkteten Linien markieren potenzielle Kontaktpunkte eines Profil-klotzes mit der Belagsoberfläche.

Abbildung 4 zeigt den zeitlichen Verlauf der mittleren Kontaktkraft bei Überrollung der Oberflächen mit einem profilierten PW-Serienreifen mit 80 km/h über einen Zeitausschnitt von 150 ms, was einer Abrolllänge von 3,3 m entspricht. Die statische Last auf dem Reifen beträgt 430 kg mit einer Gewichtskraft F_{stat} von 4200 N. Der Zeitverlauf der Kontaktkräfte ist mit dem von Müller-BBM in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Akustik der Chalmers Universität Göteborg entwickelten Rechenmodell SPERoN^[3] berechnet worden.

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass die heiss gewalzte Oberfläche zu erheblich kleineren Wechselkräften führt als die Oberfläche mit freigelegtem Korn. Im ersten Fall beträgt die Dynamik etwa 350 N, im zweiten dagegen nur knapp 150 N. Der Pegelunterschied der Reifen-Fahrbahn-Geräusche beträgt dabei knapp 5 dB(A) (Abb. 5). Der Unterschied hat zwei wesentliche Gründe:

- Die Rauigkeitsspitzen liegen bei der gewalzten Oberfläche wesentlich enger aneinander und bieten dem Reifen wesentlich mehr Kontaktpunkte als bei der freigelegten Gesteinskörnung. Eindringtiefe, Reifenverformung und Kontaktsteife bleiben kleiner. Der Kontakt bleibt «weicher».
- Die Rauigkeitsspitzen liegen bei der freigelegten Gesteinskörnung nicht auf gleichem Niveau so wie bei der gewalzten Oberfläche. Der fehlende Walzvorgang macht den entscheidenden Unterschied aus.

Für die Baupraxis ergeben sich daraus folgende Empfehlungen:

Les vibrations à la surface du pneu émettent finalement des sons audibles. Il existe une relation linéaire entre la pression acoustique générée et les forces alternatives à haute fréquence.

Les mesures visant à réduire le bruit de roulement doivent tendre à minimiser la variation de la rigidité de contact tout au long de la surface d'interaction entre le pneu et la chaussée. Pour y parvenir, l'idéal est de modifier le moins possible la surface de contact par section transversale du pneu le long du chemin de roulement. Si, en plus, la force totale peut être répartie régulièrement sur un grand nombre de points de contact, la force locale par surface de contact sera réduite, diminuant ainsi l'apparition de vibrations locales.

Importance de la texture de la surface de la chaussée

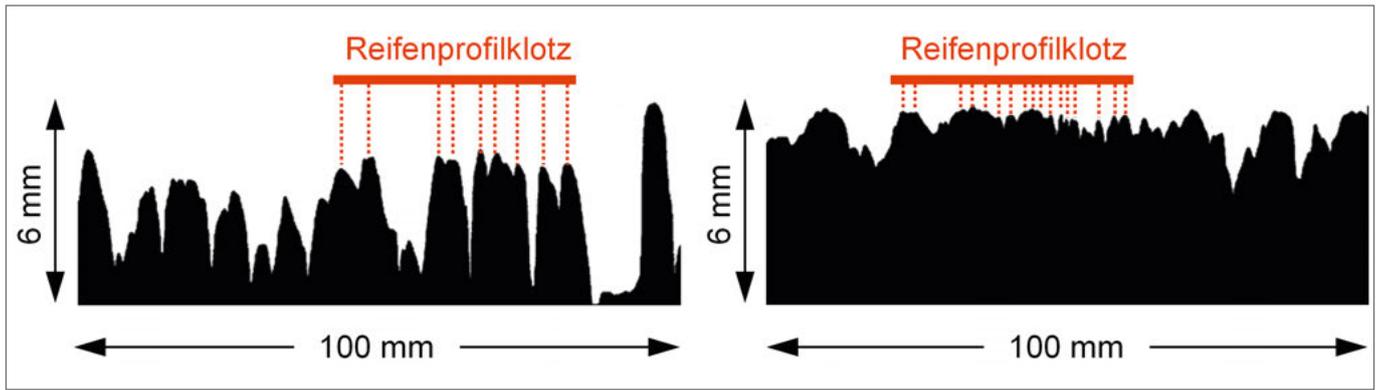
L'importance de la texture de la surface de la chaussée est démontrée par la comparaison de deux types de revêtement. Dans le premier cas, la texture est obtenue par exemple par dénudement des gros granulats peu après la mise en œuvre comme pour du béton lavé, ou par un gravillonnage de la surface comme pour les asphaltes coulés conventionnels. Ce type de surface, avec un granulats maximum de 8 mm, est comparé à un enrobé compacté à chaud, en l'occurrence un enrobé Splittmastix (SMA) ayant lui aussi un granulats maximum de 8 mm. Les textures de surface sont représentées sur la figure 3 pour une longueur de 100 mm avec l'empreinte d'un élément de profil du pneu d'un véhicule léger. Les lignes en pointillé indiquent les points de contact potentiels entre le profil du pneu et le revêtement.

La figure 4 montre l'évolution dans le temps de la force de contact moyenne lors du passage à 80 km/h d'un pneu standard d'un véhicule léger sur les deux types de surfaces pendant 150 ms, ce qui correspond à une longueur de roulement de 3,3 m. La charge statique sur le pneu est de 430 kg, soit une force F_{stat} de 4200 N. L'évolution dans le temps des forces de contact a été calculée avec le modèle SPERoN^[3] développé par Müller-BBM en collaboration avec l'Institut d'acoustique appliquée de l'Université de Chalmers à Göteborg.

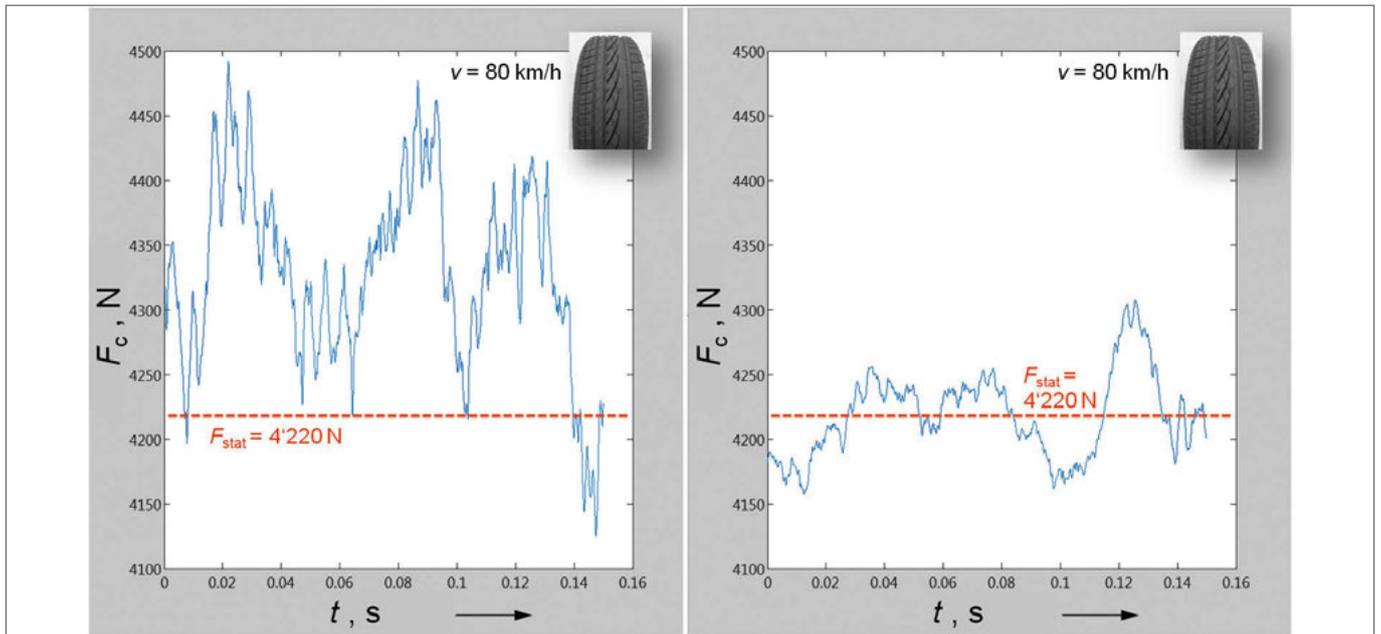
La figure 4 montre que la surface de type SMA induit des forces alternatives nettement inférieures. Dans le premier cas, la contribution dynamique est de 350 N environ, contre à peine 150 N dans le second. La différence du niveau de bruit de roulement est de presque 5 dB(A) (fig. 5). Deux raisons principales à cela:

- Pour la surface de type SMA, les sommets des protubérances sont très rapprochés les uns des autres et offrent au pneu beaucoup de points de contact. La profondeur de pénétration, la déformation du pneu et la rigidité de contact restent limitées. Le contact est «plus souple».
- Pour l'autre surface, le sommet des protubérances n'est pas au même niveau que lorsque la surface est compactée. L'absence de compactage fait toute la différence.

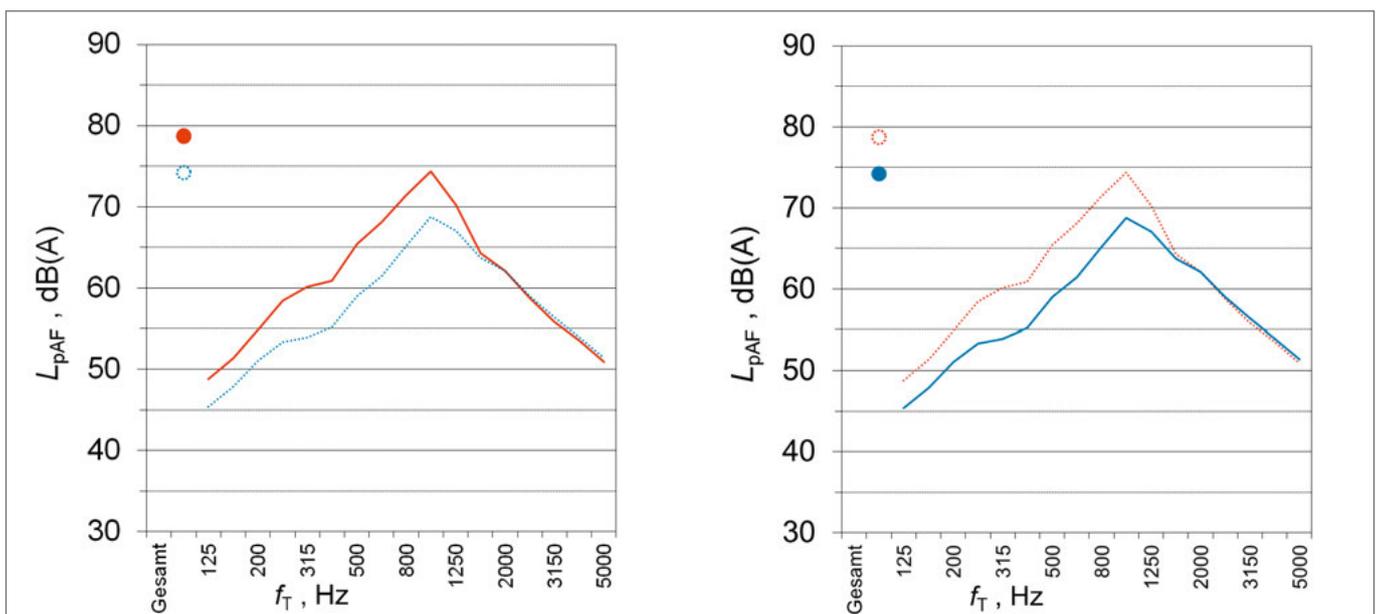
Il en découle les recommandations suivantes pour la pratique:



3 | Oberflächentexturen für die Simulation der Kontaktkräfte.
 3 | Textures de surface pour la simulation des forces de contact.



4 | Kontaktkraft F_c als Funktion der Zeit t . Links: freigelegtes Korn mit 8 mm Grösstkorn. Rechts: Splittmastixasphalt 0/8.
 4 | Force de contact F_c en fonction du temps t . Gauche: granulat dénudé (diamètre maximum 8 mm). Droite: enrobé Splittmastix 0/8.



5 | Terzspektrum des Vorbeifahrtpegels L_{pAF} in 7,5 m Entfernung mit 80 km/h, Mittelwert über 12 PW Serienreifen. Rote Linien: freigelegtes Korn mit 8 mm Grösstkorndurchmesser; blaue Linien: SMA 0/8.
 5 | Spectre en tiers d'octave du niveau de passage L_{pAF} à une distance de 7,5 m à 80 km/h, valeur moyenne de 12 pneus de série pour véhicule léger. Lignes rouges: granulat dénudé (diamètre maximum 8 mm); lignes bleues: SMA 0/8.

Ziel

Gleichmässige Verteilung der Last im Reifen-Fahrbahn-Kontakt auf eine grosse Kontaktfläche durch viele kleine und dicht gepackte Rauigkeitsspitzen oder Kontaktflächen zur Reduzierung der Kraft pro Kontaktpunkt, die durch «Glätten» auf ein Niveau gebracht werden. Dadurch wird die Gleichmässigkeit der Lastverteilung bewerkstelligt.

Realisierung

- Wahl des kleinstmöglichen Grösstkorndurchmessers
- Einsatz verdichtungswilligen Mischguts
- Nivellierung der Oberflächentextur nach dem Einbau durch Walzen oder andersartige Oberflächenbearbeitung.

Aerodynamisch induzierte Rollgeräuschentstehung

Einen weiteren Geräuschentstehungsmechanismus stellen Luftströmungsvorgänge im Reifen-Fahrbahn-Kontakt dar, die bislang als «air pumping» bezeichnet werden. Darunter versteht man den sich zeitlich verändernden Volumenfluss, wenn kleine Vertiefungen in der Fahrbahnoberfläche durch den darüberrollenden Reifen geschlossen und wieder geöffnet werden. Die Beschleunigung der Luft führt dabei zur Entstehung von Schall, wobei der von Ort x und Zeit t abhängige Schalldruck p proportional zur ersten Ableitung des Volumenflusses q nach der Zeit t ist:

$$p(x, t) \sim \frac{\delta q(x, t)}{\delta t}$$

Es ist also nicht die Menge des transportierten Gases, sondern dessen Beschleunigung für die Stärke des abgestrahlten Schalls von Bedeutung. Das heisst, dass selbst kleine Luftvolumina erhebliche Schalldrücke hervorrufen können. Kleine Undichtigkeiten beim Schliessen dieser Volumina reichen jedoch bereits aus, um die Wirksamkeit dieses Mechanismus zu verringern^[4].

Bei dichten Belägen stellt das Eindringen von Rauigkeitsspitzen der Fahrbahnoberfläche in die Lauffläche des Reifens einen zweiten Mechanismus dar. Es verändert die Querschnitte der von Luft durchströmten Kanäle im Reifen-Fahrbahn-Kontakt. Durch permanente zeitliche Veränderung des verdrängten Luftvolumens während des Rollvorgangs kommt es zur Beschleunigung der Luft in den Kanälen und zur Geräuschentstehung. Dieser zweite Mechanismus ist in den meisten Fällen der wichtigere.

Abbildung 6 zeigt eine Modellvorstellung des verdrängten und des durchströmten Luftvolumens im Reifen-Fahrbahn-Kontakt zu einem gegebenen Zeitpunkt in einer zweidimensionalen Darstellung.

Die Fahrbahnoberflächentextur legt die Querschnitte der luftdurchströmten Kanäle sowohl in Abrollrichtung als auch in Querrichtung fest. Ein Mass für die Durchströmbarkeit des Hohlraums zwischen Reifen- und Fahrbahnoberfläche ist der Strömungswiderstand R_s in diesem Volumen. Der Strömungswiderstand ist das Verhältnis der Druckdifferenz Δ_p zwischen dem Luftdruck in diesem Volumen und dem Umgebungsluft-

But

Répartition régulière de la charge entre le pneu et la chaussée sur une grande surface de contact grâce à une grande densité de petites protubérances ou surfaces de contact afin de réduire la force par point de contact, «lissage» des piques au même niveau ce qui conduit à une répartition uniforme de la charge.

Exécution

- Choix d'un diamètre maximal des granulats aussi petit que possible
- Utilisation d'enrobés facilement compactables
- Nivellement de la texture de surface après la mise en place par compactage ou autres traitements de surface

Origine du bruit de roulement induit aérodynamiquement

Un autre mécanisme générateur de bruit est «l'air pumping», soit l'effet créé par l'écoulement de l'air lors du contact entre le pneu et la chaussée. Il s'agit de la variation du débit de l'air à partir de petits creux dans la surface de la chaussée qui sont tour à tour fermés ou ouverts par le passage du pneu. L'accélération de l'air entraîne la formation du son, donc une pression sonore p audible. Cette dernière est une fonction du lieu x et de la durée t proportionnellement à la première déviation du flux volumétrique q après le temps t :

$$p(x, t) \sim \frac{\delta q(x, t)}{\delta t}$$

Ce n'est donc pas la quantité du gaz déplacé, mais son accélération qui est déterminante pour le niveau du son émis. Cela signifie que même des petits volumes d'air peuvent provoquer des pressions sonores importantes. Cependant, de faibles défauts dans la fermeture de ces volumes suffisent déjà à réduire l'effet de ce mécanisme^[4].

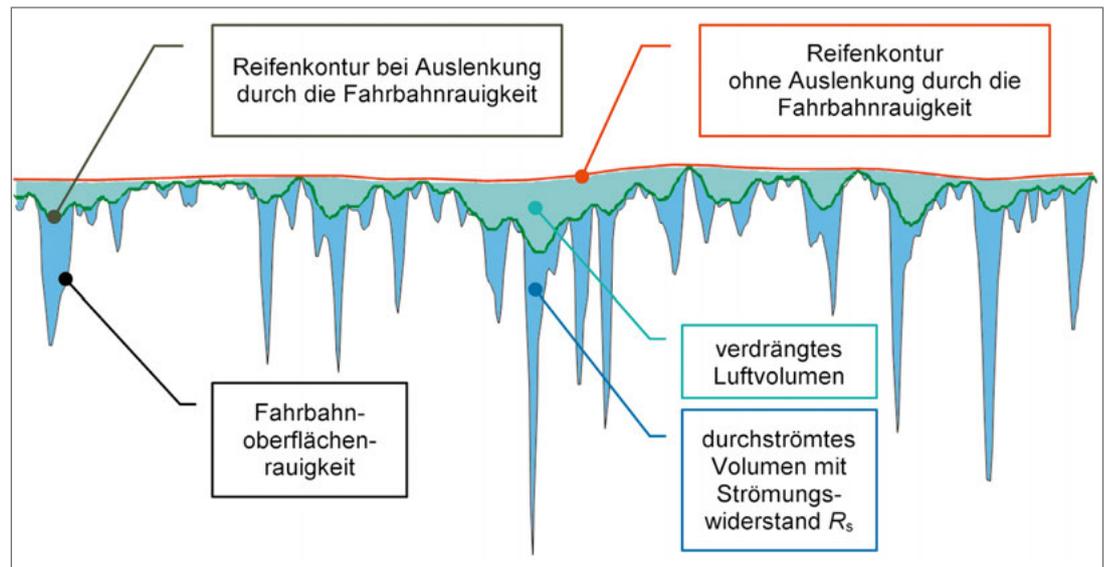
Pour les revêtements denses, la pénétration des protubérances de la surface de la chaussée dans la bande de roulement du pneu représente une deuxième source de bruit. Ce phénomène modifie la section des vides traversée par l'air lors du contact du pneu avec la surface de la chaussée. La variation temporelle permanente du volume d'air refoulé pendant le roulement provoque l'accélération de l'air dans les vides et génère du bruit. Dans la plupart des cas, ce second mécanisme est le plus important.

La figure 6 fournit, dans une représentation bidimensionnelle, la modélisation du volume d'air refoulé et s'écoulant lors du contact pneu-chaussée à un moment donné.

La texture de la surface de la chaussée détermine la section des vides traversée par l'air tant dans le sens du roulement que dans le sens transversal. La perméabilité de l'espace vide entre la surface du pneu et la surface de la chaussée est mesurée par la résistance à l'écoulement R_s dans ce volume. La résistance à l'écoulement est le rapport de la pression différentielle Δ_p entre la pression de l'air dans ce volume et

6 | Entstehung des verdrängten Luftvolumens in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn.

6 | Création du volume d'air refoulé dans la zone de contact entre le pneu et la chaussée.



druck, die notwendig ist, um eine bestimmte Strömungsgeschwindigkeit v aufrechtzuerhalten:

$$R_s = \frac{\Delta p}{v}$$

Variierende Kanalquerschnitte begünstigen die Beschleunigungsvorgänge der Luft und damit die Geräuschenstehung. Je kleiner der Strömungswiderstand R_s ist, desto besser funktioniert dieser Mechanismus und desto lauter wird das Reifen-Fahrbahn-Geräusch bei dichten Belägen. Dies wiegt umso schwerer als die Schalleistung $P \sim p^2$, wobei p der Schalldruck ist, der aerodynamisch induzierten Geräusche mit der 4. bis 6. Potenz der Fahrgeschwindigkeit und damit erheblich stärker zunimmt als die Schalleistung der mechanisch induzierten Geräusche, die nur mit der 2. Potenz der Geschwindigkeit ansteigt.

Für die Baupraxis ergeben sich daraus folgende Empfehlungen:

Ziel

Herstellung einer möglichst feinrauen, gleichmässigen und offenzelligen Oberfläche mit plateauförmiger Ausbildung der Kontaktflächen und hoher Gleichförmigkeit der Texturquerschnitte in Längs- und Querrichtung.

Realisierung dichter Beläge

- hoher Luftströmungswiderstand im Reifen-Fahrbahn-Kontakt.
- hohe Packungsdichte und geringe Rauigkeitstiefen führen zu engen Luftströmungsquerschnitten und unterbinden eine weitläufige Vernetzung der Strömungskanäle
- Wahl einer stetigen Sieblinie
- Einsatz verdichtungswilligen Mischguts
- guter Deckenschluss durch gleichmässige Verteilung des Mörtels zwischen der groben Gesteinskörnung.

la pression de l'air environnant nécessaire pour maintenir une vitesse d'écoulement v déterminée:

$$R_s = \frac{\Delta p}{v}$$

La variation de la section des vides favorisent le processus d'accélération de l'air et donc la génération du bruit. Plus la résistance à l'écoulement R_s est faible, mieux ce mécanisme fonctionne et plus le bruit de contact pneu-chaussée est élevé pour les revêtements denses. Cet élément est d'autant plus important que la puissance sonore $P \sim p^2$ (p = pression sonore) induite par l'aérodynamique augmente à la puissance 4 à 6 de la vitesse de roulement, ce qui est donc nettement plus important que la puissance sonore induite mécaniquement, qui n'augmente qu'à la puissance 2 de la vitesse.

Il en découle les recommandations suivantes pour la pratique:

But

Réalisation d'une surface avec la plus fine rugosité possible, régulière et avec une structure alvéolaire ouverte, texture de la surface en forme de plateau et une grande homogénéité des sections de la texture dans les sens longitudinal et transversal.

Exécution de revêtements denses

- résistance à l'écoulement de l'air élevée de la surface de contact entre le pneu et la chaussée.
- une densité élevée de granulats mis en place et une faible profondeur de rugosité de la surface aboutissent à des sections étroites d'écoulement de l'air et empêchent la propagation de l'air.
- choix d'une courbe granulométrique continue
- utilisation d'enrobés facilement compactables
- bonne couche de finition grâce à une répartition régulière du mortier entre les gros granulats.



7 | Skizze der Anordnung des Reifens und einer Schallquelle an der Unterseite des Reifens bei freier Aufhängung (links), auf schallreflektierender Fahrbahnoberfläche (Mitte) und auf einer schallabsorbierenden Oberfläche (rechts).

7 | Schéma de la disposition du pneu et d'une source sonore sur la partie inférieure du pneu en suspension libre (gauche), sur une surface de chaussée réfléchissant le son (milieu) et sur une surface de chaussée phono-absorbant (droite).

Schallabstrahlung

Der durch Reifenkontur und Fahrbahnoberfläche gebildete Schalltrichter trägt wesentlich zur Verstärkung der aus dem Reifen-Fahrbahn-Kontakt abgestrahlten Rollgeräusche bei. Eine Verminderung der Schallabstrahlung lässt sich erreichen, wenn der dichte schallreflektierende Belag durch einen hohlraumreichen und damit schallabsorbierenden Belag ersetzt wird. Das Maximum der schallabsorbierenden Wirkung wird bei einem Volumenanteil der zugänglichen Hohlräume in der fertigen Schicht von mindestens 19 Vol.-% erreicht. Aber auch bereits deutlich kleinere Hohlraumgehalte führen zu einer erheblichen Reduktion der schallverstärkenden Trichterwirkung.

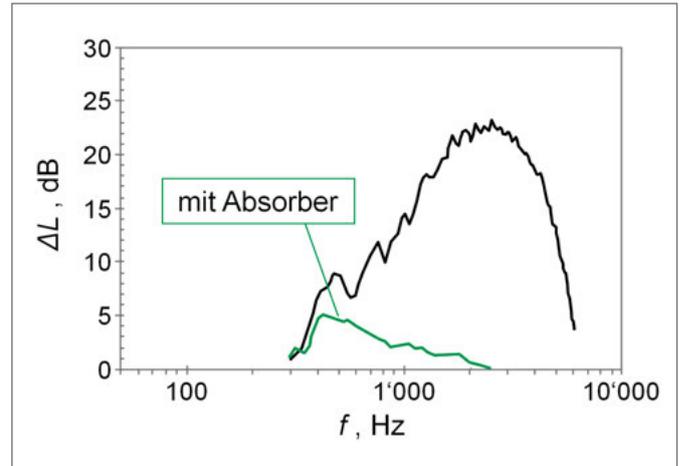
Abbildung 7 illustriert die Trichterbildung zwischen Reifen und Fahrbahn und die dadurch entstehende Pegelerhöhung ΔL der von einer Schallquelle an der Unterseite des Reifens abgestrahlten Geräusche. Abbildung 8 zeigt die Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Frequenz und die Wirkung einer hochabsorbierenden Schicht an der Fahrbahnoberfläche.

Praxis lärmarmen Beläge

Am Praxisbeispiel einer Teststrecke des Teilprojektes TP3^[6] in Muri, Kanton Bern, seien die Ursachen für die sich mit der Betriebsdauer eines lärmarmen Belags verändernden akustischen Eigenschaften demonstriert. Der dort eingebaute semidichte Asphalt SDA 4C wurde 2011 hergestellt. Die anfänglich hohe Rollgeräuschminderung für Personwagen von -8 dB ist innerhalb von vier Jahren nach Einbau auf -4 dB zurückgegangen. Der Rückgang ist sowohl auf Veränderungen der Oberflächentextur als auch des Schallabsorptionsvermögens zurückzuführen.

In Abbildung 9 sind die Textur- und Schallabsorptionsspektren des Belags für jedes Beobachtungsjahr sowie der Zeitverlauf der Kontaktkraft F_c (ohne statischen Anteil F_{stat}) für die Jahre 2011 und 2015 dargestellt. Hinsichtlich der mechanischen Rollgeräuschregung ergibt sich nach dem Einbau im Jahr 2011 eine sehr leise Oberfläche, mit einer Dynamik der Kontaktkräfte von nur 30 N. Durch systematische Umsetzung der oben beschriebenen Entwurfskriterien für lärmarme Beläge, das heisst Wahl eines sehr kleinen Korndurchmessers von nur 4 mm, hoher Packungsdichte der Gesteinskörnung und Herstellung einer gewalzten Oberfläche, konnte die mechanische Rollgeräuschregung minimiert werden.

Ab dem 2. Jahr nach Einbau findet eine stetige Veränderung der Textur statt. Dies betrifft sowohl die Zunahme der Ober-



8 | Verstärkung ΔL durch den Trichtereffekt in Abhängigkeit von der Frequenz f mit und ohne Schallabsorber.^[5]

8 | Amplification ΔL par l'effet de corne de diffusion de bruit en fonction de la fréquence f avec et sans phono-absorbeur.^[5]

Émission sonore

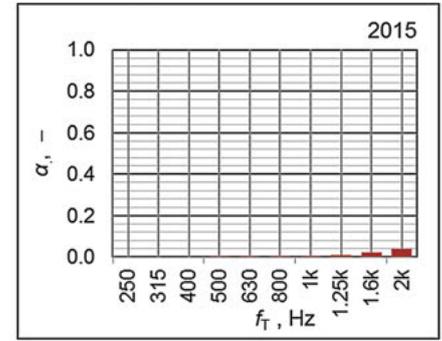
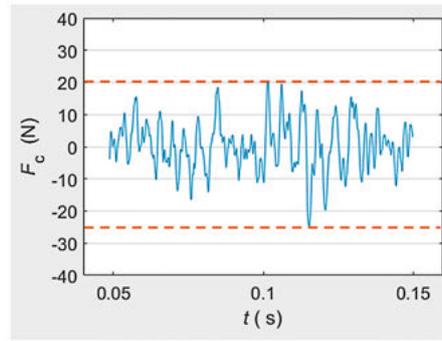
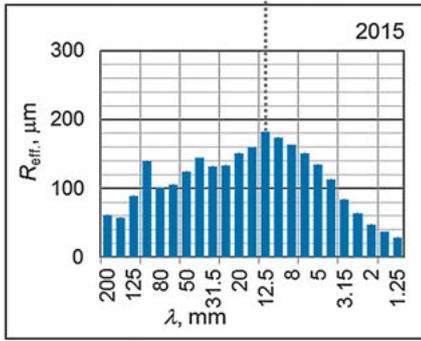
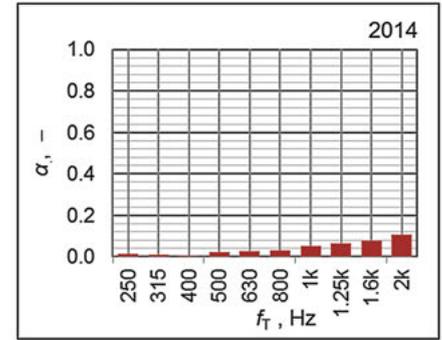
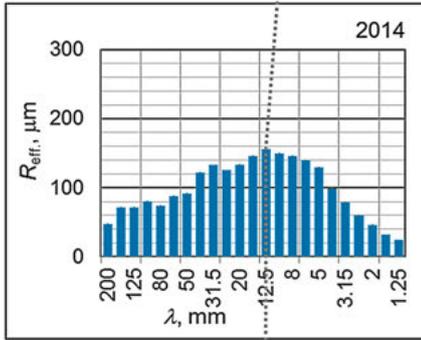
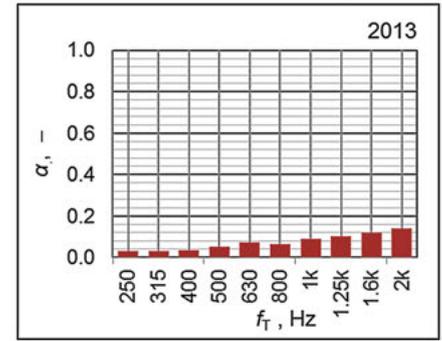
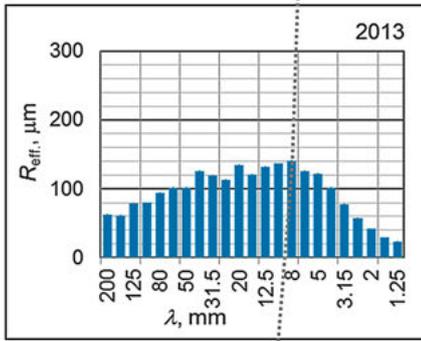
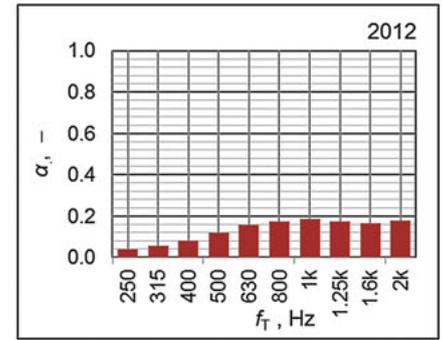
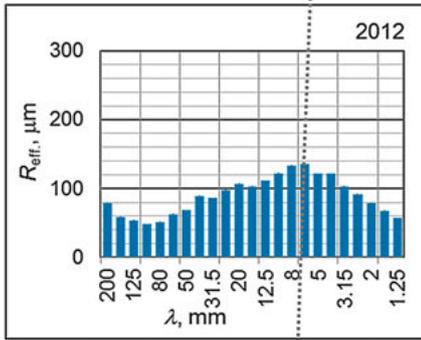
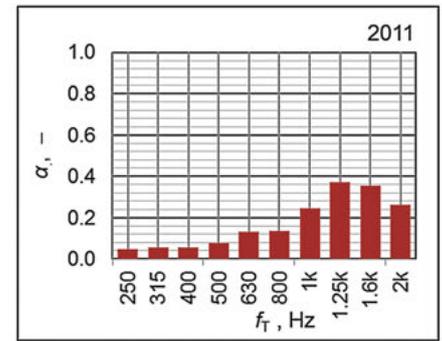
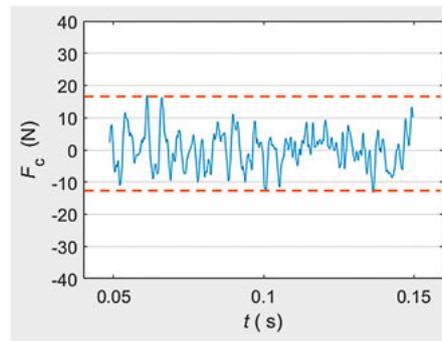
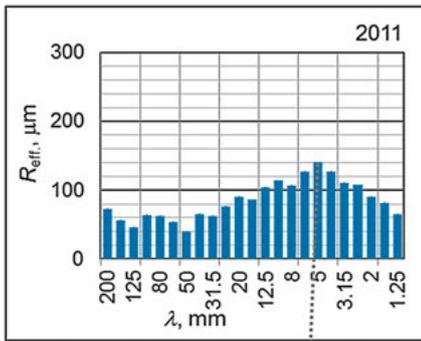
La corne créée par le contour du pneu et la surface de la chaussée contribue beaucoup à l'amplification du bruit de roulement dû au contact pneumatique/chaussée. Une réduction de l'émission sonore est possible lorsque le revêtement dense qui reflète le son est remplacé par un revêtement à vides élevés générant ainsi un effet phono-absorbant. L'effet phono-absorbant maximal s'obtient pour une part volumétrique des vides accessibles dans la couche de finition d'au moins 19%. Mais même une teneur en vides nettement inférieure permet déjà de réduire sensiblement l'effet amplificateur de la corne du son.

La figure 7 montre la formation de la corne entre le pneu et la chaussée ainsi que l'augmentation du niveau ΔL des bruits émis par la source sonore sur la partie inférieure du pneu. La figure 8 montre l'augmentation de niveau en fonction de la fréquence et l'effet d'une couche hautement absorbante à la surface de la chaussée.

Les revêtements peu bruyants dans la pratique

Un exemple pratique d'un tronçon test réalisé dans le cadre du projet partiel TP3^[6] à Muri dans le canton de Berne a démontré les causes de la modification temporelle des propriétés acoustiques d'un revêtement peu bruyant. L'enrobé semidense de type SDA 4C a été posé en 2011. La forte réduction initiale du bruit de roulement de -8 dB pour les véhicules légers était passée à -4 dB quatre ans après sa pose. Cette baisse est due tant à la modification de la texture de surface qu'à celle de sa capacité d'absorption du bruit.

La figure 9 montre les spectres de la texture et d'absorption acoustique du revêtement pour chaque année observée ainsi que l'évolution dans le temps de la force de contact F_c (sans la part statique F_{stat}) entre 2011 et 2015. En 2011, le revêtement est très silencieux grâce aux stimulations mécaniques acoustiques réduisant le bruit et notamment des forces de contact alternatives limitées à 30 N seulement. La mise en œuvre systématique des critères de projet décrits ci-dessus pour les revêtements peu bruyants, c'est-à-dire le choix d'un dia-



9 | Fahrbahnoberflächeneigenschaften des Belags in Muri für jedes Betriebsjahr. Links: Rauigkeitstiefe R_{eff} in Abhängigkeit von der Rauigkeitswellenlänge λ . Mitte: Zeitverlauf der Kontaktkraft F_c für einen PW-Serienreifen mit 50 km/h auf Basis der in den Jahren 2011 und 2015 gemessenen Texturen. Rechts: Schallabsorptionsgrad α in Abhängigkeit von der Terzmittelfrequenz f_T .

9 | Propriétés de surface de chaussée du revêtement à Muri pour chaque année d'exploitation. Gauche: Profondeur de rugosité R_{eff} en fonction de la longueur d'onde de rugosité λ . Centre: Evolution dans le temps de la force de contact F_c pour un pneu de véhicule léger à 50 km/h sur la base des textures mesurées en 2011 et 2015. Droite: coefficient d'absorption acoustique α en fonction de la fréquence moyenne en tiers d'octave f_T .

flächenrauigkeit als auch eine Umverteilung der Texturwellenlängen. Nach vier Jahren hat die Rauigkeitstiefe im Maximum des Texturspektrums von anfänglich 140 µm auf über 180 µm zugenommen. Was jedoch noch schwerer wiegt ist die Zunahme der Wellenlänge im spektralen Maximum. Anfänglich liegt diese bei 5 mm, was nur etwas mehr ist als der Grösstkorndurchmesser und damit auf eine sehr gute Packungsdichte der Gesteinskörner hinweist. Im vierten Jahr nach Einbau beträgt die Wellenlänge dagegen 12,5 mm. Der Abstand der Rauigkeitsspitzen hat damit deutlich zugenommen. Durch Ausmagerung der Bindemittelmatrix und stellenweisem Verlust einzelner Körner ist die Anzahl der Kontaktpunkte für den Reifen deutlich weniger und deren Abstand zueinander deutlich grösser geworden. Dies äussert sich, wie erwartet, auch in den Kontaktkräften. Ihre Dynamik hat im vierten Jahr nach Einbau um 50% auf 45 N zugenommen. Hinzu kommt ein stetiger Verlust an Schallabsorptionsvermögen. Der Schallabsorptionsgrad geht in dem für die Reifen-Fahrbahn-Geräusche wichtigen Frequenzbereich zwischen 800 Hz und 1,25 kHz bereits nach einem Jahr des Betriebs von anfänglich knapp 40% auf 20% zurück, was sich mit Werten von 10% im zweiten, 5% im dritten und 0% im vierten Jahr fortsetzt. Zwei Mechanismen sind also für die Abnahme der geräuschmindernden Wirkung dieses Belages verantwortlich: eine Zunahme des mechanisch induzierten Rollgeräuschanteils und eine Erhöhung der Schallabstrahlung durch den Verlust an Schallabsorptionsvermögen.

mètre granulométrique très faible de 4 mm seulement, d'une densité compacte des granulats et une surface compactée, a permis de minimiser l'origine mécanique du bruit de roulement.

Deux ans après la pose, la texture s'est considérablement modifiée. Cette modification concerne non seulement l'augmentation de la rugosité de la surface mais aussi une nouvelle répartition des longueurs d'onde due à la texture. Après quatre ans, la profondeur de rugosité maximale du spectre de la texture est passée des 140 µm initiaux à plus de 180 µm. Mais l'augmentation de la longueur d'onde correspondant au maximum du spectre est encore plus significative. Au début, celle-ci était de 5 mm, soit guère plus que le diamètre du granulats maximal, et traduisait donc une excellente répartition des granulats. Par contre, quatre ans après la pose, la longueur d'onde est de 12,5 mm. L'écart des protubérances a donc nettement augmenté. Par l'appauvrissement de la matrice de liant et la perte de granulats à certains endroits, le nombre de points de contact des pneus a nettement diminué et la distance entre les points a nettement augmenté. Comme on pouvait s'y attendre, ce phénomène se reflète aussi dans les forces de contact. La quatrième année après la pose, leur variabilité a augmenté de 50% pour atteindre 45 N.

À cela s'ajoute une perte constante de la capacité phonosorbante. Dans la plage de fréquence entre 800 Hz et 1,25 kHz, importante pour les bruits de roulement, le coefficient d'absorption passe des presque 40% initiaux à 20% après une année d'exploitation. Ce phénomène se poursuit lors de la deuxième année avec 10%, la troisième année avec 5% et la quatrième année avec 0%.

Deux mécanismes sont donc responsables de la diminution de l'effet d'absorption du bruit de ce revêtement: une augmentation du bruit de roulement induit mécaniquement et une augmentation de l'émission sonore due à la perte de la capacité d'absorption acoustique.

Anzeige



Leichtmetallgeländer,
abklappbar bei Hochwasser

LS Lenzlinger
Metallbau

*Geländer- und Rückhaltesysteme
für Brücken und Strassen*

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

Literatur | Bibliographie

- [1] Beckenbauer, T., Kropp, W.: Typisierung von Reifen und Fahrbelägen, Paper Nr. 392, Proc. DAGA 2010 Berlin, Deutsche Gesellschaft für Akustik, Berlin, 2010.
- [2] Wullens, F., Kropp, W.: A three-dimensional contact model for tyre/road interaction in rolling conditions, Acta Acustica United with Acustica 90 (4), pp. 702-711, 2004.
- [3] Beckenbauer, T., Kropp, W.: A hybrid model for analysis and design of low noise road surfaces. Proc. Euronoise 2006 Tampere, paper no. 228, 2006.
- [4] Beckenbauer, T., Kropp, W.: Verbundprojekt Leiser Strassenverkehr 3, Teilprojekt SPERoN 2020 1 – Erweiterung des effizienten Rechenmodells um physikalische Teilmodelle, Schlussbericht, Förderkennzeichen 19 U 10016 C, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2016.
- [5] Kropp, W., Bécot, F.-X., Barrelet, S.: On the Sound Radiation from Tyres. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 86, Nr. 5, S. 769-779, September/Oktober 2000.
- [6] Bühlmann, E., et al.: Forschungspaket Lärmarme Beläge innerorts – Teilprojekt TP 3 Langzeitmonitoring, Schlussbericht, Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 30.03.2017.

Akustische Vielfalt und Klangraumqualität

Diversité acoustique et qualité de l'environnement acoustique

In städtisch vielfältigen Umgebungen, die sich durch differenzierte Anforderungen und widersprüchliche Entwicklungen auszeichnen, scheinen die Bedingungen für akustische Qualität im öffentlichen Raum nicht besonders günstig zu stehen. Trotzdem zeigt sich in der Hörerfahrung unserer jahrelangen Projekte im In- und Ausland, dass die Stadt nicht einfach zufällig klingt, sondern im Rahmen der Planung und Gestaltung gezielt entwickelt werden kann. Voraussetzung dafür ist, dass das Hören als zentrale Strategie bestehende Analysen und Methoden ergänzt und so in die Lösungsfindung von städtebaulichen und raumplanerischen Vorhaben einfließt.

Klangqualität hören

Im Wipkingerpark Zürich, der vor wenigen Jahren neu gestaltet wurde, sitzen wir auf der über 100 m langen

Betontreppe an der Limmat (Abb. 1). Die Limmat fließt hier zwischen einer Wiese und Spiel- und Freizeitanlagen auf unserer Seite und dem Tramdepot Hard mit angrenzenden Tramabstellflächen auf der gegenüberliegenden Flussseite. Wir sind zu Fuss von der Wipkingerbrücke hierher gekommen und nehmen gegenüber den Strassen einen deutlichen Unterschied der Klangqualität wahr. Das Terrain liegt hier etwas tiefer als die Strassen, der Stadtboden wechselt vom dominierenden Strassenasphalt zu Rasen, Kies, Stein. Wir verweilen auf der Treppe und können uns gut miteinander unterhalten. Zudem können wir von dieser Stelle aus der Stadt hervorragend zuhören, ohne dabei zu ermüden. Andere Menschen liegen auf den von der Sonne erwärmten Betonplatten und lesen ein Buch. Ruhig im Sinne von geräuschlos und leise ist es hier nicht, wir hören hier aber eine besondere Klangqualität, die wir als Klangraum wahrnehmen.



VON
TROND MAAG
Urbanist, Zürich
www.urbanidentity.info



VON
ANDRES BOSSHARD
Klangraumarchitekt, Zürich
www.soundcity.ws

Les environnements urbains se caractérisent par des exigences différenciées et des développements contradictoires qui ne sont pas particulièrement favorables à la qualité acoustique des espaces publics. Pourtant, sur la base de l'expérience accumulée sur plusieurs années dans des projets en Suisse et à l'étranger, il apparaît que la répartition des sons dans la ville n'est pas que le fruit du hasard, mais qu'elle peut être influencée dans le cadre des processus de planification et d'aménagement. La proposition faite ici est que l'écoute complète les analyses et les méthodes existantes et qu'elle soit intégrée dans la recherche de solutions.

Ecouter la qualité acoustique

Nous sommes assis sur l'escalier de béton de 100 m de long au bord de la Limmat (fig. 1), dans le Wip-

kingerpark à Zurich, qui a été réaménagé il y a quelques années. La Limmat coule entre un pré et des terrains de jeu et de loisirs de ce côté-ci de la rivière et le dépôt de trams avec les aires de stationnement de trams avoisinantes de l'autre côté. Nous sommes venus ici à pied du Wipkingerbrücke et percevons une grande différence de qualité sonore par rapport aux rues. Le terrain est un peu en contrebas des rues, le sol urbain passe d'une dominante d'asphalte routier à des pelouses, des cailloux et des pierres. Nous nous attardons sur l'escalier où nous pouvons correctement converser. De cet endroit, nous pouvons en outre parfaitement écouter la ville sans nous y forcer. D'autres personnes sont allongées sur les dalles de béton chauffées par le soleil et lisent un livre. Il ne s'agit pas ici d'un lieu calme et sans bruit, mais baignant dans une qualité sonore particulière que nous percevons comme environnement sonore.

Die an der Wiese stehende Gebäudefassade im Bild links reflektiert die Strassengeräusche der in Bildmitte verlaufenden, Hardbrücke und Wipkingerbrücke und bestimmt mit dem Direktschall von den stark befahrenen Brücken den akustischen Hintergrund. Die verwitterte Ufermauer rechts auf der gegenüberliegenden Flussseite weist eine feine Diffusion auf und wirkt zusammen mit den abgestuften und schallreflektierenden Seiten entlang der Treppe. Sie bilden einen Klangraum, in dem Geräusche und Stimmen der anwesenden Personen deutlich hörbar reflektiert werden. Das Wasser erzeugt aufgrund seiner Strömungen eine modulierende Reflexionsfläche, die ein sich ständig veränderndes Reflexionsverhalten aufweist und so ideale Voraussetzungen dafür schafft, dass sich der Klangraum nicht monoton anhört. Unterstützt wird diese Eigenschaft durch Steine und Schwellen, die dem fließenden Wasser unzählige Geräusche entlocken und so ein konstantes und verspieltes Hörerlebnis gewähren.

Die Wassergeräusche bilden den akustischen Vordergrund für die Reflexionen der weiter entfernt stehenden Gebäude und ermöglichen so eine akustisch wahrnehmbare Raumtiefe. Das Lärmband der zweigeschossigen Stadtautobahnbrücke vermag den Hörraum in der grossen Stadtarena nicht vollständig zu besetzen. Der grosse Abstand zwischen den Fassaden, die den offenen Stadtraum umfassen und das abgestufte Terrain, das zum Fluss hin abfällt, fangen die Präsenz des Lärms auf und er erscheint als klingender Hintergrund. Diese Faktoren wirken hier so zusammen und vermitteln den anwesenden Personen den Eindruck, dass hier, relativ nahe an einer der am stärksten befahrenen Strassen von Zürich, ein lohnender Aufenthaltsraum existiert.

Bedingungen für Klangqualität

Im gezeigten Beispiel ist das Zusammenspiel aller akustischen Eigenschaften verantwortlich für eine deutlich wahrnehmbare Klangqualität des Ortes. Diese Qualität ist das Resultat eines fragilen Gleichgewichts, das bereits durch kleine Veränderungen gestört werden kann. Wird beispielsweise der Kiesweg geteert, geht beim Gehen der wahrnehmbare akustische Vordergrund für Fussgänger verloren. Wird der Treppenzugang zum Fluss durch ein abgeschrägtes Ufer ersetzt, wird der Klangraum der Limmat abgeschwächt. Wird zudem die Wiese als Parkplatz genutzt, werden Erholung suchende Personen diesen Ort womöglich gar nicht mehr besuchen.

Eingriffe in bestehende Stadträume können lokal vorhandene Klangqualitäten stark beeinträchtigen und auch neue Anforderungen und Bedürfnisse an die Klangqualität hervorrufen. So ist beispielsweise auf der gegenüberliegenden Flussseite des Wipkingerparks vorgesehen, das Tramdepot Hard zu erneuern und mit hohen Wohngebäuden zu erweitern. Der sich heute über rund 200 m erstreckende akustisch hervorragende Bereich, der gegenwärtig im Wipkingerpark für die hohe Klangqualität verantwortlich ist, wird dann anders wahrgenommen. Einerseits wird die reflektierende Seitenwand auf der gegenüberliegenden Seite um ein Vielfaches zur bestehenden Fläche vergrössert, so dass Geräusche und Stimmen von Personen auf der Treppe verstärkt werden. Andererseits werden an den neuen Gebäudefas-

La façade érigée sur le pré (à gauche sur la figure 1) réfléchit les bruits routiers du Hardbrücke et du Wipkingerbrücke (au milieu de la photo). Elle crée, avec le son venant de ces ponts très fréquentés, le fond acoustique. Le mur érodé de la berge de l'autre côté diffuse légèrement les sons et agit en synergie avec les rives en paliers et phono-réfléchissantes situées le long de l'escalier. Ils forment un environnement sonore dans lequel les bruits et les voix des personnes qui s'y trouvent sont réfléchis de façon très audible. Par ses courants, l'eau offre une surface réfléchissante modulée sur laquelle la réflexion change constamment, ce qui crée des conditions idéales pour éviter un environnement sonore monotone. Cette atmosphère est encore renforcée par les bruits innombrables de l'eau circulant entre les pierres ou sur les seuils, qui génèrent une expérience sonore à la fois constante et variée.

Les bruits de l'eau servent de premier plan acoustique aux réflexions sonores provenant des bâtiments plus éloignés et permettent ainsi de percevoir une profondeur spatiale. Le flux du bruit du pont à deux étages de l'autoroute urbaine ne remplit pas complètement l'espace acoustique de la grande Stadtarena. La distance importante entre les façades qui ceinturent l'espace urbain ouvert et le terrain en paliers qui descend vers la rivière, dissout le bruit qui se transforme progressivement en arrière-plan sonore. Ces facteurs interagissent et donnent l'impression aux gens qu'ici, à proximité immédiate d'une des routes les plus fréquentées de Zurich, il existe un espace de détente intéressant.

Conditions d'une qualité sonore

Dans l'exemple ci-dessus, l'interaction de toutes les propriétés acoustiques se traduit par une qualité sonore du site nettement perceptible. Elle est le résultat d'un fragile équilibre qui pourrait vite être remis en question, même par de petites modifications. Si le chemin de gravier est revêtu, les piétons ne percevront plus le premier plan acoustique de leur pas lorsqu'ils marchent. Si l'escalier d'accès à la rivière est remplacé par une berge en pente, l'environnement sonore de la Limmat sera affaibli. Si, en plus, le pré existant venait à servir de place de stationnement, les personnes en quête d'une agréable zone repos renonceraient à fréquenter ce lieu.

Les interventions dans les espaces urbains existants peuvent fortement nuire aux qualités acoustiques d'un site et aussi conduire à de nouvelles exigences et de nouveaux besoins en matière de qualité sonore. Par exemple, il est prévu de rénover le dépôt de trams du Hard sur l'autre berge du fleuve dans le Wipkingerpark et d'y ajouter des immeubles d'habitation élevés. Ces constructions modifieront la zone acoustique, qui s'étend actuellement sur environ 200 m et assure l'excellente qualité sonore du Wipkingerpark. D'abord, l'accroissement de la surface réfléchissante du mur latéral de l'autre côté amplifiera considérablement les bruits et les voix des personnes se trouvant sur l'escalier. Ensuite, les bruits routiers issus des ponts seront réfléchis par les nouvelles façades, ce qui affectera la qualité actuelle de l'environnement sonore.

1 | Im Wipkingerpark Zürich spielen das Terrain und die Wasseroberfläche sowie die Gestaltung des Uferbereichs und die umliegenden Gebäude akustisch so zusammen, dass inmitten einer städtischen Umgebung besonders günstige Bedingungen für einen Aufenthaltsraum von hoher Klangqualität entsteht (Foto: Trond Maag).

1 | Dans le Wipkingerpark à Zurich, le terrain et la surface de l'eau ainsi que l'aménagement des berges et les bâtiments environnants forment un ensemble acoustique qui crée au cœur d'un environnement urbain des conditions particulièrement favorables à un espace de repos de haute qualité sonore (photo: Trond Maag).



saden insbesondere auch die Strassengeräusche von den Brücken reflektiert und so die Qualität des heutigen Klangraums zusätzlich schmälern.

Der Wipkingerpark wird durch die Wohnbauten auch intensiver genutzt werden, woraus sich bezüglich der Aufenthaltsqualität im Park und der Nachtruhe der Anwohner ergänzende Herausforderungen ergeben. Damit solche Stadterweiterungen aus akustischer Sicht gelingen, drängt sich die Notwendigkeit einer integralen Betrachtungsweise auf. Isoliert umgesetzte Massnahmen, wie zum Beispiel die Reduzierung des Lärms der Brücken oder eine schallabsorbierende Fassade an den neuen Wohngebäuden, reichen nicht, um die bestehenden Klangqualitäten im Wipkingerpark langfristig zu erhalten und den Stadtteil nachhaltig zu entwickeln – auch dann nicht, wenn die Massnahmen akustisch gut gemeint sind und nachweislich Lärm reduzieren. Den hörbaren Raum nehmen wir immer als Ganzes wahr und daher kann Klangqualität nicht losgelöst vom sozial-räumlichen Kontext betrachtet werden.

Wenn Baumaterialien und Gebäude so dimensioniert, angeordnet und gestaltet werden, dass ein Hörer die resultierenden Wirkungen als hörbare Veränderung wahrnimmt und diese Veränderung positiv empfindet, kann daraus geschlossen werden, dass dieser Stadtraum akustisch abwechslungsreich und lebendig erlebt wird. Dabei wirken alle akustisch wirksamen Eigenschaften eines Materials wie Beschaffenheit und Form der Oberflächen, Dichte und innere Zusammensetzung, als auch Grösse und Ausdehnung sowohl Distanz und Position zu anderen im Raum vorhandenen Materialien zusammen. Die Verhältnisse aller materiellen Beschaffenheiten bestimmen, ob ein Stadtraum eintönig nach einem vorherrschenden Material oder abwechslungsreich und vielfältig klingt. Für die Stadtplanung und -gestaltung von Bedeutung sind sowohl die kleinräumigen Wirkungen im Nahraum des Zuhörers als auch die ent-

Le Wipkingerpark sera en outre plus intensément fréquenté en raison des futurs bâtiments d'habitation, ce qui impliquera de nouvelles exigences en ce qui concerne la qualité de détente du parc et le repos nocturne des riverains. La réussite acoustique de telles extensions urbaines passe impérativement par une approche intégrale du problème.

Des mesures isolées, comme la réduction du bruit des ponts ou une façade phono-absorbante pour les nouveaux bâtiments d'habitation, ne suffiront pas à maintenir à long terme les qualités acoustiques du Wipkingerpark et à développer durablement le quartier, ceci même si les mesures reposent sur un bon principe acoustique et qu'elles réduisent effectivement le bruit. Nous percevons toujours l'espace audible comme un tout et la qualité sonore ne peut donc pas être observée hors de son contexte socio-spatial.

Si les matériaux de construction et les bâtiments sont dimensionnés, disposés et aménagés de façon qu'un auditeur perçoive positivement l'effet acoustique d'une modification de l'espace urbain, on peut conclure que cet espace urbain propose un événement acoustique très varié et vivant. Toutes les propriétés acoustiques d'un élément, comme la forme des surfaces, la densité et la composition intérieure, mais aussi la taille et l'étendue ainsi que la distance et la position par rapport aux autres éléments existants ont un effet conjugué sur l'espace considéré. C'est l'association de toutes les caractéristiques matérielles qui détermine si la sonorité d'un espace urbain sera monotone en raison de la prédominance d'un élément ou si elle sera variée et diversifiée. Pour la planification et l'aménagement urbain, les petits effets situés à proximité de l'auditeur ont autant d'importance que des effets plus éloignés dans l'espace urbain. Dans l'exemple présenté précédemment, il est donc capital de savoir si la Limmat coulera devant un escalier ou si le chemin va être revêtu. Il est tout aussi décisif de savoir si



2 | Das Terrain der Elisabethenanlage Basel ist im Höhenverlauf so modelliert, dass hier anwesende Personen unterschiedliche Klangräume erleben, die durch alte Bäume zusätzlich unterstützt werden (Foto: Trond Maag).

2 | Sur ses hauteurs, le terrain de l'installation Elisabeth à Bâle est modelé de façon que les personnes qui s'y trouvent perçoivent différents environnements sonores amplifiés encore par de vieux arbres (photo: Trond Maag).

ferneren Wirkungen im Stadtraum. Daher ist es entscheidend, ob im einleitenden Beispiel vor der Treppe die Limmat fließt oder ob die Fläche geteert ist. Genauso entscheidend ist es, ob die Limmat an der gegenüberliegenden Seite auf eine verwitterte Ufermauer oder an eine hohe Gebäudefassade grenzt.

Die Bedeutung des Bodens für den Stadtklang

Für die akustische Raumwahrnehmung ist der Stadtboden am wichtigsten. Der Stadtboden reflektiert und absorbiert den Schall nicht nur, sondern ist direkt an der Schallerzeugung von vorbeifahrenden Fahrzeugen beteiligt und er beeinflusst das Mass unserer Gehgeschwindigkeit und Bewegungsfreiheit in der Stadt. Die Ausführung des Stadtbodens und die Begebarkeit der Stadt ist daher in besonderem Masse entscheidend dafür, wie Personen die Stadt zu Fuss erleben.

Formgebung und Materialisierung des Stadtbodens bestimmen wesentlich sein Diffusions- und Absorptionsverhalten und verursachen so beispielsweise mehr oder weniger Lärm beim Befahren mit Fahrzeugen. Sie beeinflussen auch, wie weit der Lärm von Strassen in Siedlungen und Erholungsgebiete gelangt. Und sie bestimmen im Nahraum des Zuhörers die Hörbarkeit der eigenen Schritte beim Gehen auf dem Boden. Das Hörerlebnis im Nahraum kann weiter verbessert werden, indem das Terrain so modelliert wird, dass beispielsweise in einem Stadtpark hörbar unterschiedliche Raumfolgen entstehen (Abb. 2). Diese können mit Hilfe der Vegetation, von Bäumen und von Brunnen weiter differenziert werden. Vertiefungen und Erhöhungen im Terrain sind auch für grossmassstäbliche Projekte realisierbar, so dass in lärmiger Umgebung dem Ohr zugewandte Nischen entstehen, die der Langeweile des Lärms entgegenwirken (Abb. 3).

Im Rahmen der Stadtplanung kann die Art und Weise, wie Fussgänger durch den Stadtraum geführt werden, gestaltend beeinflusst werden und somit massgeblich das Hörerlebnis verbessern. Im Wipkingerpark wird mit Hilfe des grosszügigen

la Limmat jouxtera un mur érodé ou la façade d'un bâtiment élevé de l'autre côté de la rivière.

L'importance du sol pour l'environnement sonore urbain

La perception de l'espace acoustique dépend essentiellement du sol urbain. En plus de réfléchir et absorber le son, le sol urbain est en lien direct avec le bruit provenant des véhicules circulant dans notre entourage et il influence notre vitesse de marche et notre liberté de mouvement. La finition du sol urbain et la praticabilité de la ville jouent un rôle particulièrement déterminant dans la perception de la ville par les personnes y circulant à pied.

Le façonnage et la matérialité du sol urbain conditionnent fortement son pouvoir de diffusion et d'absorption et engendrent donc plus ou moins de bruit lorsque des véhicules passent. Ils influencent donc la pénétration du bruit routier dans les agglomérations et les zones de repos. A une autre échelle, ils déterminent l'audibilité des pas d'un piéton lorsqu'il marche sur le sol. Ce genre d'expériences auditives proches peuvent encore être accentuées en modelant, par exemple dans un parc urbain (fig. 2), le terrain de façon à créer une succession variée de séquences auditives. Ces séquences peuvent également être différenciées par de la végétation, des arbres et des fontaines. Des renforcements et des surélévations de terrain peuvent également être réalisés dans les projets à grande échelle afin de créer des «niches sonores» dans des environnements bruyants et contrecarrer le caractère ennuyeux du bruit (fig. 3).

La planification urbaine offre l'occasion d'influencer la façon dont les piétons circulent dans l'espace urbain et d'améliorer ainsi nettement leur expérience auditive. Au Wipkingerpark, la mise en place pour les piétons d'un accès généreux et aisé à emprunter a permis de créer une orientation auditive et visuelle en direction de la Limmat. Il est donc possible, par ce genre de moyens, de diriger le public vers des lieux d'une ville

und einfach begehbaren Zugangs für die Fussgänger eine hörbare und visuelle Orientierung hin zur Limmat geschaffen. Auf diese Art können auch andere hörensweite Orte einer Stadt, die sich gegenüber ihrer Umgebung hörbar positiv unterscheiden, öffentlich zugänglich gemacht werden. Strassenplätze, Pärke, Innenhöfe, Freiräume und weitere als akustisch angenehm empfundene Flächen können damit Schritt für Schritt zu einem akustisch erlebbaren öffentlichen Raum verwoben werden. Die Vernetzung von akustisch positiv erlebten Umgebungen ermöglicht es, unterschiedlichen Bedürfnissen von sich im Freien aufhaltenden Personen gerecht zu werden. Erfolgt der hörbare Übergang zwischen zwei unterschiedlichen akustischen Umgebungen fließend und nicht abrupt, werden die Stadträume als miteinander verbunden und zusammengehörend erlebt (Abb. 4). Die Bedingungen für Klangqualität in vielfältigster städtischer Umgebung sind umso besser, je differenziertere Stadträume bestehen, zwischen denen Fussgänger auswählen können.

Klangspaziergänge und ihre Rolle für den Stadtprozess

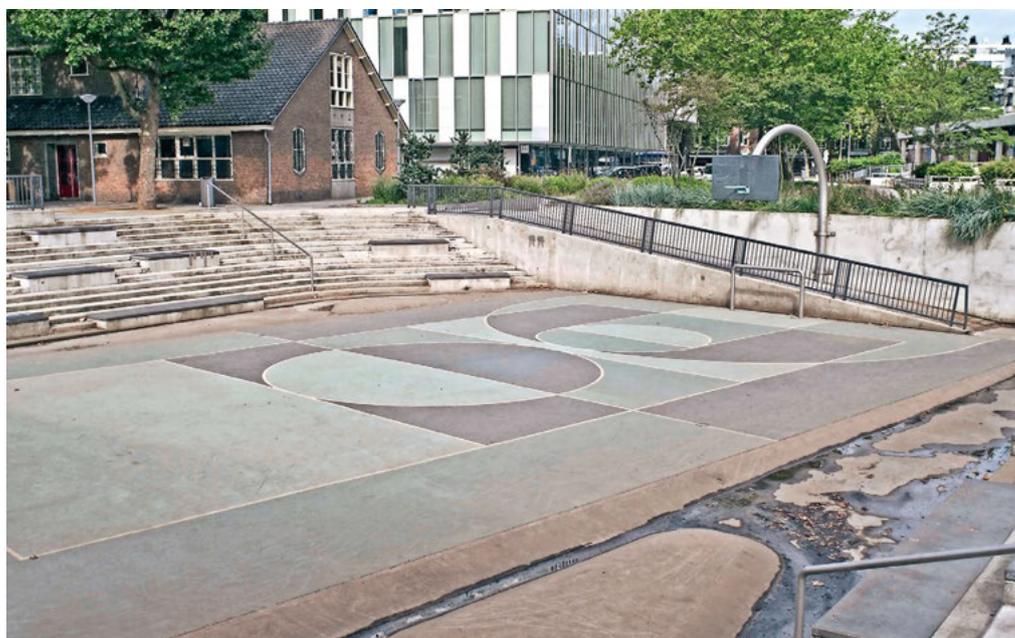
Hypothese und Erfahrung der Autoren ist es, dass zukünftig das aktive Hören ernst genommen und in umsetzbarer Form in die Planung und Gestaltung einer Stadt gelangen muss, damit für den öffentlichen Raum günstige Bedingungen für Klangqualität entwickelt werden können. Alle Akteure, die für die Planung und Umsetzung eines konkreten Projekts wichtig sind, sollen sich mehrmals vor Ort treffen und dort über die akustischen Qualitäten verhandeln und sie vor allem auch immer wieder zusammen hören. Dies kann auf unterschiedlichen Ebenen geschehen und auch städtebauliche Prozesse und Mitwirkungsverfahren beinhalten. Mit einem Ansatz des Hörens ist gewährleistet, dass Klangqualität als gemeinsam wahrgenommenes Hörerlebnis im realen Raum präzise festgestellt wird, in Plänen festgehalten werden kann und so in Gestaltungs- und Planungsprozesse einfließt. Klangqualität

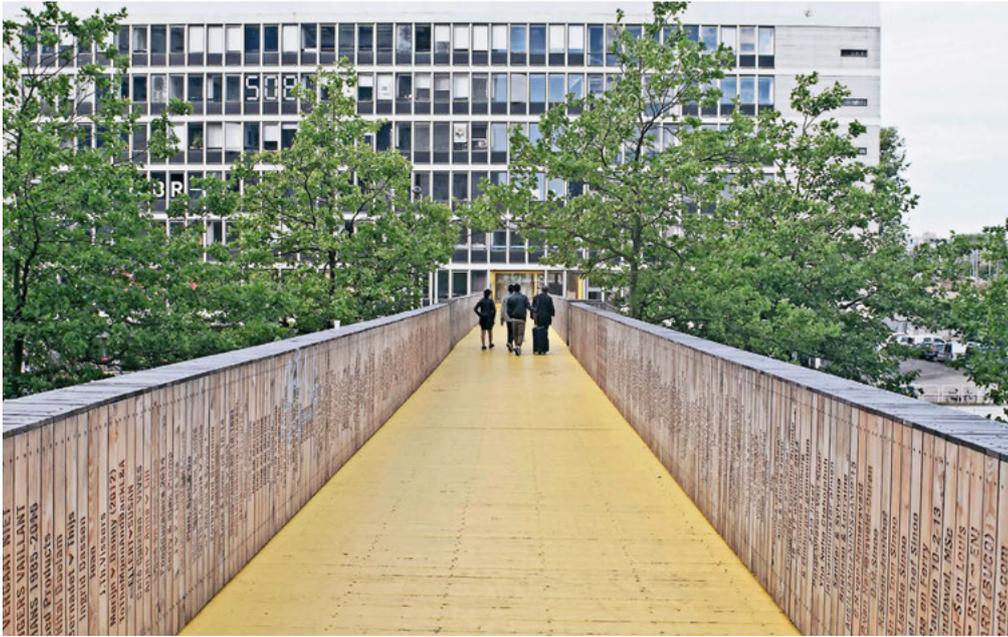
qui se différencie de leur environnement par leur qualité sonore. Des places, des parcs, des espaces libres et d'autres zones dont l'acoustique est agréable peuvent être combinés peu à peu pour former un espace public donnant lieu à une expérience acoustique diversifiée. La mise en connexion de tels espaces publics ayant des qualités acoustiques positives variées permet de répondre aux besoins souvent divers des personnes présentes à l'extérieur. Si la transition sonore entre deux environnements acoustiques différents s'effectue en douceur plutôt que soudainement, les espaces urbains concernés seront reliés entre eux et seront vécus comme formant un ensemble (fig. 4). L'accroissement des espaces urbains différenciés du point de vue phonique entre lesquels les piétons peuvent choisir de se promener améliore indéniablement la qualité sonore de nos villes.

Rôles des promenades sonores dans le processus urbain

Selon nos hypothèses et l'expérience recueillie à ce jour, l'écoute active devra à l'avenir être prise au sérieux et intégrée de façon applicable dans la planification et l'aménagement. Tous les acteurs qui jouent un rôle important dans la planification et la mise en œuvre d'un projet concret doivent se rencontrer plusieurs fois sur place pour discuter des diverses qualités acoustiques du lieu et, surtout, les écouter ensemble. Cette démarche peut avoir lieu à différents niveaux d'entretien, etc., et contenir également des processus de développement urbains et des démarches participatives. Cette approche incluant l'écoute du lieu doit garantir que la qualité sonore soit reconnue comme une façon d'expérimenter un espace réel, qu'elle soit documentée dans les plans et puisse être intégrée dans les processus d'aménagement et de planification. Conjugée à d'autres facteurs de la perception sensorielle, la qualité sonore décide du caractère agréable ou non d'un espace urbain. En effectuant des promenades avec des groupes pluridisciplinaires, les planificateurs et

3 | Mehrere im Boden abgesenkte Flächen bilden an diesem Stadtplatz in Rotterdam ein Regulierungssystem für Regenwasser. Gleichzeitig erzeugen die vertieften Spielfelder und Senkgärten unterschiedlich wahrgenommene Klangräume und vergrössern damit die akustische Vielfalt im Stadtraum [Foto: Trond Maag].
3 | À cet endroit de la ville de Rotterdam, plusieurs surfaces abaissées dans le sol forment un système de régulation de l'eau de pluie. En même temps, les terrains de jeu et les jardins en contrebas génèrent des environnements sonores perçus différemment et élargissent encore la diversité acoustique de l'espace urbain (photo: Trond Maag).





4 | Dieser erhöhte geführte Holzsteg in Rotterdam vernetzt verschiedene Stadträume kontinuierlich miteinander und ermöglicht akustisch differenziert wahrnehmbare Übergänge. Das überraschende Baumaterial des etwa hüfthohen Stegs verbessert das Hörerlebnis in städtischer Umgebung zusätzlich (Foto: Trond Maag).
4 | A Rotterdam, cette passerelle surélevée relie différents espaces urbains et rend perceptibles différentes transitions acoustiques. Le matériau de construction surprenant de cette passerelle à hauteur de hanche améliore l'expérience auditive de l'environnement urbain (photo: Trond Maag).

entscheidet zusammen mit anderen Faktoren der Sinneswahrnehmung darüber, ob ein Stadtraum als angenehm empfunden wird oder nicht. Insbesondere mit Hilfe von geführten Spaziergängen in kleinen fachübergreifenden Gruppen erhalten involvierte Planer und Gestalter die Chance, akustische Lösungsansätze für einen Ort zu entwickeln und diese zu synchronisieren. Betroffene Anwohner und interessierte Nutzer erhalten die Chance, sich im Rahmen von Partizipationsverfahren in den Gestaltungsprozess des Orts einzubringen. Gemeinsame Präsenz vor Ort ist ein überaus wichtiger Moment im Prozess der Stadtgestaltung. Die aktive Auseinandersetzung mit der eigenen Umgebung ist eine wichtige Voraussetzung für intakte Stadträume. Das passive Erdulden einer Umgebung kann nicht im Sinne einer vorausschauenden Stadtentwicklung sein, auch dann nicht, wenn die Lärmgrenzwerte eingehalten sind. Für die Stadtplanung ergeben sich aus dem gemeinsamen Hören vor Ort moderierende und gestaltende Möglichkeiten. Messungen von Lautstärkepegeln müssen mit Methoden des gemeinsamen Hörens komplementiert werden, damit wir verschiedene Chancen eines Ortes entdecken und so unsere Umgebung und ihre Qualitäten zu unseren Gunsten aktiv gestalten können. Die Reputation von akustisch gestalteten Stadträumen kommt sowohl den unmittelbar betroffenen Personen als auch der ganzen Stadt zu Gute. Hören bietet ein Gleichgewicht zur überaus dominanten visuellen Kultur – für alle am Stadtprozess Beteiligten eine überraschende Bereicherung, die unerwartet Lösungsmöglichkeiten offenlegt, die das Auge schlicht übersieht.

les aménageurs auraient la possibilité d'esquisser des solutions acoustiques pour un site et de les synchroniser. Les riverains concernés et les utilisateurs intéressés pourraient s'impliquer dans le processus d'aménagement du site dans le cadre du processus de participation. La présence commune sur place est un moment extrêmement important dans le processus d'aménagement urbain. Une approche active au cœur même de l'environnement est une condition importante pour préserver des espaces urbains. Tolérer passivement un environnement sonore sous prétexte que les valeurs-limites de bruit sont respectées ne peut aller dans le sens d'un développement urbain d'avenir.

L'écoute commune sur place offre de réelles possibilités dans le domaine de la planification urbaine. Les mesures des niveaux sonores doivent être complétées par des méthodes d'écoute commune afin de déceler les opportunités d'aménager la qualité de notre environnement et sa qualité. La mise en valeur d'espaces urbains ayant des qualités acoustiques peut profiter tant aux personnes directement concernées qu'à l'ensemble de la ville. L'écoute peut servir de contrepoids à la culture visuelle très dominante dans les processus urbains. Elle peut apporter un enrichissement surprenant en mettant à jour de façon inattendue des possibilités de solution que l'œil néglige tout simplement.

Literatur | Bibliographie

- Maag, T.; Bosshard, A. (2016). Akustische Raumplanung – Entwurf eines Planungsinstrumentes. Collage. 2016(5), pp. 10–13.
- Maag, T.; Kocan, T.; Bosshard, A. (2015). Vom Lärmschutz zur hörenswerten Stadt. Fallbeispiele zur Entwicklung der akustischen Raumqualitäten in der Stadt Basel. Im Auftrag von Amt für Umwelt und Energie Kanton Basel-Stadt.
- Maag, T.; Bosshard, A. (2012). Fünf Fallbeispiele im urbanen Raum des Kantons Zürich. Im Auftrag der Fachstelle Lärmschutz Kanton Zürich.
- Bosshard, A. (2009). Stadt hören. Klangspaziergänge durch Zürich. Zürich: NZZ Libro.

Verschmutzungen lärmarmen Beläge vermeiden

Ne pas laisser les revêtements phono-absorbants se salir

Um das Problem der abnehmenden akustischen Leistung lärmarmen Beläge zu bekämpfen, hat der Kanton Freiburg eine Strategie der präventiven Reinigung beschlossen. Diese sieht vor, die Beläge ab ihrer Freigabe für den Verkehr zu reinigen, um eine fortschreitende Verschmutzung der Beläge zu vermeiden. Dafür wurde eigens eine neuartige Kehrmaschine angeschafft. Durch die systematische Reinigung kann dem Verlust der akustischen Effizienz aufgrund der Verschmutzung der Hohlräume vorgebeugt werden.

Seit mehreren Jahren investiert der Kanton Freiburg massiv in lärmarme Beläge, um den Strassenlärm zu bekämpfen. Dabei wurden hauptsächlich



PAR
JACQUES PERRET
Ing. civil dipl. EPFL et dr es sc. EPFL,
co-directeur et fondateur du
bureau Nibux sarl à Ecublens

die Anforderungen in Bezug auf den Lärm festgelegt. Es war dem Unternehmer freigestellt, welches Belagsmischgut er anbieten wollte, auch solches, welches nicht zwangsläufig in der Norm definiert war. Der Kanton Freiburg hat die akustischen Anforderungen für zwei Zeitpunkte festgelegt: unmittelbar nach dem Belagseinbau und nach fünf Jahren. Bei Nichteinhaltung dieser Anforderungen war der Unternehmer vertraglich verpflichtet, die Beläge zu erneuern.

Schwierige Reinigung von verschmutzten lärmarmen Belägen

Während die Ergebnisse, die unmittelbar nach dem Einbau gemessen wurden, nie infrage gestellt werden konnten, ist dies nach fünf Jahren nicht mehr so einfach, weil die Fahrbahn während dieser Zeit unterschiedlich beansprucht wurde. Neben der mechanischen Belastung wird die Fahrbahn zwangsläufig auch verschmutzt. Dabei besteht das Risiko, dass die Hohlräume ganz oder teilweise verstopfen, wodurch ihre mögliche positive Wirkung auf die Lärmreduktion abgeschwächt wird.

Face au problème de la diminution des performances acoustiques des enrobés phono-absorbants, le canton de Fribourg a décidé de mettre en place une stratégie de nettoyage préventif. Cette technique, dont la mise en place passe par l'acquisition d'un nouveau type de balayeuse, a pour objectif de nettoyer les revêtements dès leur mise en service, afin d'éviter tout encrassement progressif des enrobés et de se prémunir ainsi des pertes d'efficacité acoustique liées à la détérioration des vides.



PAR
PEDRO LOPEZ
Ingénieur civil HES,
chef du secteur protection,
Etat de Fribourg

Depuis plusieurs années, le canton de Fribourg a massivement investi dans les enrobés de types phono-absorbants pour lutter contre le bruit

routier. Ayant choisi d'adopter une stratégie consistant à fixer principalement des exigences phoniques, le canton laisse les entreprises libres de proposer des mélanges pas forcément normalisés. A Fribourg, les exigences phoniques sont fixées à deux échéances: juste après la pose et après une période de cinq ans. En cas de non-respect de ces exigences, l'entreprise est contractuellement tenue de reposer les revêtements.

Difficile de nettoyer des revêtements phono-absorbants encrassés

Si les résultats obtenus sur des revêtements quasi neufs peuvent difficilement être mis en question, il n'en va pas de même au terme d'une période de cinq ans durant laquelle la chaussée aura été soumise à divers types de sollicitations. En plus des attaques mécaniques, la chaussée aura forcément été salie, avec le risque que ses vides se colmatent totalement ou partiellement, atténuant de la sorte l'effet positif que ceux-ci peuvent avoir sur la réduction des émissions sonores. Il est dès lors logique que tous les acteurs impliqués dans la réalisation ou l'entretien des enrobés phono-absorbants s'inté-



1 | Spülung der Fahrbahn mit Wasser.
1 | Rinçage de la chaussée à l'eau.

Es war deshalb logisch, dass sich die Akteure, die an der Herstellung oder der Instandhaltung lärmarmen Beläge beteiligt sind, für die Möglichkeiten der Reinigung interessieren, um der Reduktion der akustischen Effizienz entgegenzuwirken. Das EP8 des Forschungspaketes «Lärmarme Beläge innerorts» hat sich dem Einfluss der Reinigung eines Belages auf die akustischen Eigenschaften gewidmet. Dabei zeigte sich, dass für die 4er-Beläge der maximal erreichbare Gewinn der Unterhaltmassnahmen in Bezug auf die akustische Qualität etwa 1 dB beträgt und die Wirkung für 8er-Beläge noch geringer ist. Im entsprechenden Abschlussbericht wurde ein Absaugsystem empfohlen. Dabei wurde auf die Gefahr hingewiesen, dass die Belagsoberfläche bei der Reinigung mit hohem Druck beschädigt werden kann, insbesondere bei der Reinigung alter Beläge. In diesem Forschungsprojekt wurden Beläge gereinigt, welche zwischen 2009 und 2012 eingebaut worden waren. Das aufgeführte Beispiel und zahlreiche andere Erfahrungen des Kantons Freiburg zeigen, dass es zwar quasi unmöglich ist, vorhandenen Belägen ihre anfänglichen akustischen Qualitäten wiederzugeben, aber durchaus ein nicht unerheblicher Teil dieser Qualitäten wiederhergestellt werden kann.

Verhinderung der Verschmutzung von Belägen

Im Hinblick auf die Schwierigkeit, die akustischen Eigenschaften bestehender Beläge wiederherzustellen, hat der Kanton Freiburg vorerst darauf verzichtet, eine entsprechende Reinigungsmassnahme zu suchen. Der Kanton ist jedoch stets bemüht, zukunftsfähige Lösung zu finden. Er hat deshalb beschlossen, ein Reinigungsverfahren zu suchen, mit dem die Verschmutzung der neuen Beläge verhindert werden kann.

Da ohnehin eine der drei Kehrmaschinen des Kantons Freiburg ersetzt werden musste, verlangte der Kantonsingenieur, dass das neue Gerät in der Lage sein muss, lärmarme Beläge zu

ressent aux possibilités de les nettoyer afin de lutter contre la réduction de leur efficacité acoustique. C'est du reste dans cette perspective que le projet de recherche EP8 du projet «Revêtements de routes peu bruyants en localité» (Lärmarme Beläge innerorts) a été consacré à l'influence que peuvent avoir les mesures de nettoyage sur les performances acoustiques des revêtements peu bruyants. Ce projet est arrivé à la conclusion que le «gain maximal des mesures d'entretien sur la qualité acoustique des revêtements est d'environ de 1 dB» pour les revêtements de type 4 et que l'effet est «encore moins important» pour ceux de type 8. Le rapport recommandait d'appliquer un système d'aspiration. Il mettait aussi en garde sur le danger d'«endommager la surface du revêtement lors du nettoyage à haute pression, tout particulièrement lors de l'entretien de revêtements âgés». A noter encore que les revêtements nettoyés dans le cadre de ce projet avaient été posés entre 2009 et 2012. Il ressort donc de ce projet, et de pas mal d'autres expériences cantonales, que si il est quasi impossible de redonner leurs qualités initiales à des revêtements existants, il est envisageable de récupérer une partie non négligeable de ces qualités.

Empêcher les revêtements de se salir

Confronté à ces difficultés de redonner à de vieux enrobés des propriétés acoustiques qu'ils ont perdues, le canton de Fribourg a pour le moment renoncé à trouver un moyen de nettoyage permettant de récupérer des vieux revêtements. Soucieux de regarder vers l'avant, le canton s'est résolu à chercher un procédé de nettoyage susceptible d'empêcher l'encrassement de ses nouveaux revêtements.

Profitant du fait que l'une des trois balayeuses utilisée par ses services devait être remplacée, l'ingénieur cantonal fribourgeois a demandé que la nouvelle machine soit en mesure de nettoyer les revêtements phono-absorbants. Après s'être renseigné auprès des cantons voisins et des fabricants suisses, le responsable de l'acquisition de ce matériel a eu l'occasion de

reinigen. Für die Beschaffung einer solchen Maschine hat sich der zuständige Einkäufer in den Nachbarkantonen und bei Schweizer Herstellern erkundigt. Dadurch bekam er die Möglichkeit, den Einsatz einer Kehrmaschine mit hoher Saugleistung nach einem Unfall auf der A12 in Châtel-St-Denis zu besichtigen. Das Gerät gehört einem Waadtländer Unternehmer. Dieser wurde für Reinigungstests bei lärmarmen Belägen eingeladen. Die Ergebnisse waren durchwegs positiv, weshalb der Kontakt mit dem österreichischen Lieferanten der Kehrmaschine aufgenommen wurde. Laut dessen Aussagen wurde die Kehrmaschine speziell zur Reinigung von Drainbelägen (PA) entwickelt. Der Kanton Freiburg hat daraufhin eine solche Kehrmaschine bestellt, die Anfang 2018 geliefert werden soll. Bis dahin mietet der Kanton weiterhin eine Kehrmaschine beim Unternehmen aus dem Waadtland.



2 | Reinigungswirkung.
2 | Effet du nettoyage.

voir une entreprise vaudoise intervenir avec une balayeuse possédant une grande puissance d'aspiration, à la suite d'un accident survenu sur l'A12 à Châtel-St-Denis. Il a invité cette entreprise à venir faire des tests sur les phono-absorbants. Les tests s'étant révélés positifs, des contacts ont été pris avec le fournisseur autrichien de la balayeuse, qui a expliqué que celle-ci avait été développée spécifiquement pour nettoyer des revêtements drainants. Le canton de Fribourg a passé commande pour l'acquisition d'une telle balayeuse qui sera livrée début 2018 et, en attendant cette livraison, loue une balayeuse à l'entreprise vaudoise.

Nouvelle technique de nettoyage

La technique adoptée par le canton de Fribourg part du principe d'éviter l'encrassement des revêtements en effectuant des

Anzeige

Systeme für Signalisation,
Information und Markierung



Absperr- und Zutrittssysteme

Versenkbare Poller, automatische Schranken und Absperrpfosten für Fussgängerzonen, Schulanlagen oder Zufahrten.

www.signal.ch/poller

SIGNAL AG, Industriezone kleine Ey, Kanalstrasse 34 – 38, 3294 Büren a/A



3 | Entleerung des Filtergefässes.
3 | Vidange de la benne filtrante.



4 | Nach 1 Arbeitsgang (l.) bzw. nach 3 Arbeitsgängen (r.) abgesaugte Schmutzmenge.
4 | Quantité de saleté aspirée après 1 (à gauche) ou 3 passages (à droite).

Neue Reinigungstechnik

Die vom Kanton Freiburg angewendete Technik basiert auf dem Prinzip, die Verschmutzung der Beläge durch regelmäßige Reinigung bereits bei neuen Fahrbahnen zu verhindern. Dadurch soll jegliche Ablagerung von Feinpartikeln im Belag verhindert werden, indem diese abgesaugt werden, bevor sie in den Hohlräumen haften bleiben. Das Verfahren besteht darin, die Fahrbahn mit Wasserdruck in einem ersten Arbeitsgang zu spülen (Abb. 1) und dann in einem zweiten Arbeitsgang das mit Feinpartikeln vermischte Wasser abzusaugen. Die Ergebnisse dieser Technik wurden zwar akustisch noch nicht quantifiziert, sie sind aber in visueller Hinsicht spektakulär (Abb. 2).

Mit dieser Technik können etwa 60 km Strassen mit lärmarmen Belägen in 12 Tagen gereinigt werden. Dabei werden 15 000 Liter Wasser pro Tag (drei Füllungen des Tanks) verbraucht und beinahe zwei Tonnen Schlamm eingesaugt. Der Kanton Freiburg muss nun auch noch die Probleme mit der Entsorgung der Abfälle in Zusammenarbeit mit seiner Umweltschutzabteilung regeln. Heute kann der Schlamm nur an vier Orten im Kanton entsorgt werden (Abb. 3), was zu unnötigen Fahrten mit der Kehrmaschine und zu einer Beeinträchtigung der Effizienz der Reinigungsmaßnahmen führt. Darüber hinaus will der Kanton die Effizienz der kontinuierlichen Reinigung durch eine Überwachung der Reinigungs-

nettoyages réguliers sur les chaussées neuves déjà. L'objectif est d'empêcher tout dépôt de particules fines dans l'enrobé en les aspirant avant qu'elles ne se fixent à l'intérieur des vides. Le procédé consiste à rincer la chaussée avec de l'eau sous pression lors d'un premier passage (fig. 1), pour ensuite aspirer cette eau contenant les particules fines lors d'un second passage. S'il n'a pas encore été quantifié en terme d'efficacité phonique, le résultat de cette technique est visuellement spectaculaire (fig. 2).

Au niveau des rendements, cette technique permet actuellement de nettoyer quelque 60 km de revêtements phono-absorbants en 12 jours. Elle consomme 15 000 litres d'eau par jour (trois remplissages de la citerne) et près de deux tonnes de déchets sont récoltés. D'un point de vue pratique, le canton de Fribourg doit encore régler quelques problèmes liés à la nature des déchets récoltés qui doivent être analysés en collaboration avec le Service de l'environnement. Actuellement, le camion ne peut être vidangé (fig. 3) qu'en quatre lieux sur l'ensemble du canton, engendrant des déplacements qui nuisent considérablement au rendement des opérations.

Ensuite, le canton souhaite s'assurer de l'efficacité du nettoyage continu en effectuant un monitoring des nettoyages. Celui aura pour but de quantifier l'effet du passage de la ba-

Alternative Verwendungen

Die Mehrkosten im Vergleich zu einer herkömmlichen Kehrmaschine belaufen sich auf etwa 20%. Der Kanton Freiburg beabsichtigt auch, die beiden anderen Kehrmaschinen durch Modelle mit Absaugsystem zu ersetzen, welche die Reinigung lärmärmer Beläge ermöglichen. Das Personal des kantonalen Unterhaltungsdienstes hat bereits weitere Einsatzmöglichkeiten für solche Maschinen ermittelt, wie beispielsweise:

- Reinigung von Gesteinsbrocken entlang von Felsböschungen (etwa 500–700 m³ werden heute von Hand mithilfe eines Kranwagens gereinigt). Saugkapazität von bis zu 9 kg schweren Steinen. Diese Aufgabe kann somit schneller und mit weniger Personal durchgeführt werden.
- Die Strassenreinigungsarbeiten nach Erdbeben können viel schneller durchgeführt werden.
- Bei der Reinigung nach Unfällen werden die Schadstoffe direkt und vollständig abgesaugt, wodurch eine vorgängige Neutralisierung nicht mehr notwendig ist.

Des usages alternatifs

En matière de coût, la plus-value par rapport à une balayeuse traditionnelle est d'environ 20%. Le canton de Fribourg envisage à terme de remplacer ses deux autres balayeuses par des modèles équipés avec le système d'aspiration permettant de nettoyer les revêtements phono-absorbants. Ceci d'autant plus que les employés cantonaux ont déjà trouvé plusieurs utilisations potentiels de ce système dans d'autres domaines. C'est ainsi qu'ils l'ont utilisé pour:

- Le nettoyage des débris rocheux au pied des falaises de molasse le long des routes (env. 500–700 m³, un travail effectué jusqu'alors à la main avec camion grue). Capacité d'aspirer des blocs jusqu'à 9 kg. Tâche effectuée plus rapidement et moins de mains d'œuvre.
- Le nettoyage des glissements de terrain: le nettoyage se fait beaucoup plus rapidement.
- Le nettoyage après un accident: les produits polluants sont aspirés directement et complètement, sans avoir besoin de les neutraliser avant.

arbeiten sicherstellen. Dadurch soll die Wirkung des Einsatzes der Kehrmaschine quantifiziert werden, um das Verfahren hinsichtlich der Reinigungshäufigkeit zu optimieren, und zwar sowohl bezüglich der bei der Reinigung erforderlichen Anzahl der Arbeitsgänge als auch der jährlichen Häufigkeit (zurzeit eine Reinigung alle zwei Monate). Mit ersten qualitativen Tests konnte die relative Wirkung von mehreren aufeinanderfolgenden Arbeitsgängen festgestellt werden (Abb. 4).

Eine andere Möglichkeit wäre, die Absaugmaschine unmittelbar nach oder während eines Unwetters einzusetzen (Abb. 5).

layeuse afin d'optimiser la méthode en terme de fréquence des nettoyages, tant pour ce qui concerne le nombre de passages nécessaires lors d'un nettoyage que la fréquence annuelle de ceux-ci (actuellement, un passage tous les deux mois). Des premiers tests qualitatifs ont permis de montrer l'effet relatif de plusieurs passages successifs (fig. 4).

Parmi les autres solutions envisagées, le canton imagine de profiter des conditions naturelles en faisant circuler l'aspirateur juste après (ou pendant) les intempéries (fig. 5).



5 | Regenabsaugung.
5 | Aspiration de la pluie.

Hervorhebung und Untersuchung der Verstopfung von porösem Asphaltmischgut

Mise en exergue et étude du colmatage des enrobés poreux

Nach mehreren Jahren Forschung auf dem Gebiet des Strassenlärms haben die zuständigen Unternehmen Know-how gewonnen, das ihnen heute ermöglicht, lärmindernde Produkte einzubauen, die bei der Abnahme der Arbeiten die Bauherren meistens zufriedenstellen. Probleme treten erst später auf, wenn der anfängliche akustische Gewinn sich verringert, und zwar hauptsächlich durch Verstopfung. Zur Lärmzunahme tragen auch andere Faktoren bei, insbesondere der Kornverlust oder bleibende Verformungen. Jedoch scheint in der Praxis die Verstopfung einer dünnen Oberflächenschicht zu verhindern, dass die Schallwellen zu den darunterliegenden kommunizierenden Hohlräumen vordringen, die in der Regel gut erhalten bleiben. Zur Erkundung dieses Phänomens wird ein neues Verfahren zur Beobachtung des porösen Raumes vorgestellt. Dieses an sich schon sehr anschauliche Verfahren umfasst eine Bildanalyse, um beispielsweise den Grad der Offenerigkeit, die durchschnittliche Grösse oder die Verteilung der Grössen der Poren zu berechnen. Dank dieses Verfahrens ist die Sichtprüfung des Zustands des porösen Raumes in der Mitte der Deckschicht für alle Akteure auf dem Gebiet des Strassenwesens möglich.

Die Verstopfung der semidichten Beläge schreitet unaufhaltsam voran und führt zu einer Oberfläche, welche die Schallwellen reflektiert, statt einen grossen Teil davon zu absorbieren. Die akustische Qualität des Belags verringert sich, bis sie quasi unwirksam ist. Es scheint immer wahrscheinlicher zu werden, dass diese Entwicklung hauptsächlich das Ergebnis der Verstopfung der Poren im Laufe mehrerer Monate ist^[1]. Dieses Phänomen ist noch wenig erforscht, so dass ein besseres Verständnis der Entste-



PAR
FRANCINE LAFERRIÈRE
Dr. ès sc. EPF,
directrice du CCDR, HEIG-VD,
Yverdon



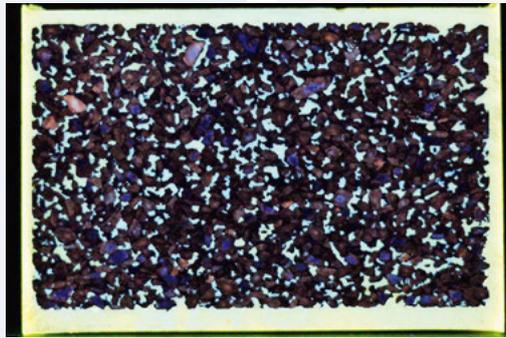
PAR
FRANÇOISE BELTZUNG
Dr. ès sc. EPF,
chefe de laboratoire, CCDR,
HEIG-VD, Yverdon

Après des années de recherche sur le thème du bruit routier, les entreprises ont acquis un savoir-faire qui leur permet, aujourd'hui, de poser des produits phono-absorbants qui, à la réception des travaux, donnent la plupart du temps satisfaction aux maîtres d'ouvrage. Les problèmes surviennent plus tard, lorsque le gain acoustique initial s'amoindrit, principalement à cause du colmatage. D'autres phénomènes contribuent à l'augmentation du bruit, notamment la perte de grain ou les déformations permanentes, mais en pratique, il semble bien que le colmatage d'une mince couche en surface empêche les ondes sonores d'accéder aux vides communicants sous-jacents, ces derniers demeurant, en général, bien conservés. Afin d'explorer ce phénomène, une nouvelle méthode d'observation de l'espace poreux est présentée. En soi très visuelle, cette méthode comprend une analyse d'image afin de calculer, par exemples, le taux de porosité ouverte, la dimension moyenne ou la distribution des dimensions des pores. Grâce à cette méthode, l'examen visuel de l'état de l'espace poreux au cœur même de la couche de roulement est à portée de tous les intervenants du secteur.

Le colmatage des revêtements semi-denses progresse irrémédiablement pour aboutir à une surface qui réfléchit les ondes sonores au lieu d'en absorber une part importante. La qualité acoustique du revêtement diminue au point de devenir quasi inefficace. Il semble de plus en plus probable que cette évolution est principalement le résultat du colmatage des pores au fil des mois^[1]. Ce phénomène est encore peu étudié, dès lors, mieux comprendre la formation du colmatage et la cinétique du phénomène per-

Verstopfungsfreie lärmindernde Schicht

Das erste Foto (Abb. 1) zeigt den Fall eines Marshall-Probekörpers eines SDA 4-16, der labormässig hergestellt wurde und in den auf allen seinen Seiten gelbes Harz eingespritzt wurde. Die Offenporigkeit sowie die Grösse und die Isotropie der Porenform können mittels Farbkontrast festgestellt werden. Diese Parameter können durch Bildanalyse quantifiziert werden. Diese Beobachtungen dienen insbesondere dazu, die Rezeptur eines Asphaltmischguts zu bestimmen, zu kontrollieren oder zu optimieren.



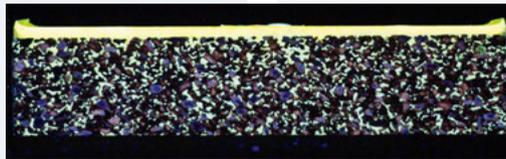
1 | SDA 4-16; Marshall-Probekörper (Durchmesser 100 mm, Höhe 64 mm).
1 | SDA 4-16; éprouvette Marshall (diamètre 100 mm, hauteur 64 mm).

Couche phono-absorbante sans colmatage

La première photo (fig. 1) présente le cas d'une éprouvette Marshall d'un SDA 4-16 confectionnée en laboratoire et injectée de résine jaune par toutes ses faces. La porosité ouverte est identifiable par contraste de couleur, de même que la taille et l'isotropie de la forme des pores. Une analyse d'image peut quantifier ces paramètres. Ces observations servent, notamment, à caractériser, contrôler ou optimiser la recette d'un enrobé.

Fortschreiten der Verstopfung

Das zweite Foto (Abb. 2) zeigt eine vor Ort entnommene Kernprobe eines SDA 4-20 bei T_0 (Kernbohrung etwa drei Monate nach dem Einbau des Belags, damit der beim Einbau entstehende Bitumenfilm nicht mehr vorhanden ist). Da das gelbe Harz in alle kommunizierenden Poren auf der gesamten Höhe der Schicht eindringt, gibt es keine Verstopfungsfront. In dieser Schicht beträgt der Grad der Offenporigkeit 17%. Der durchschnittliche Porendurchmesser liegt bei 0,8 mm.

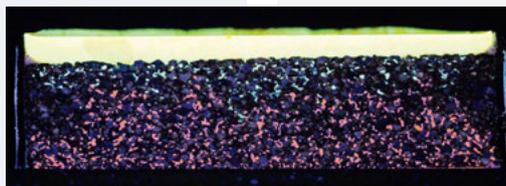


2 | SDA 4-20; Dicke 32 mm; T_0 ; keine sichtbare Verstopfung.
2 | SDA 4-20; épaisseur 32 mm; T_0 ; pas de colmatage visible.

Progression du colmatage

La seconde photo (fig. 2) présente un échantillon carotté sur site de type SDA 4-20 à T_0 (carottage environ 3 mois après la pose du revêtement pour que le film de bitume lié à la pose soit gommé). Comme la résine jaune pénètre l'ensemble des pores communicants sur toute la hauteur de la couche, il n'y a pas de front de colmatage. Dans cette couche, le taux de porosité ouverte est égal à 17%. Le diamètre moyen des pores est de 0,8 mm.

Die Abbildung 3 zeigt eine Probe, die aus demselben Abschnitt wie die in Abbildung 2 dargestellte Probe stammt, aber bei T_{+1} , d.h. 15 Monate nach dem Einbau, entnommen wurde. Um den Beginn der Verstopfung zu ermitteln, erfolgte die Imprägnierung in zwei Richtungen und in zwei Farben. Die Verstopfungsfront kann festgestellt werden und der Rest der Hohlräume, welche die akustischen Leistungen gewährleisten, kann beurteilt werden. Ausserdem kann durch Vergrößerung des Bildes oder durch Sichtprüfung der Probe mit einer Lupe auch körnige «Verschmutzung» am Boden einiger Poren entdeckt werden.

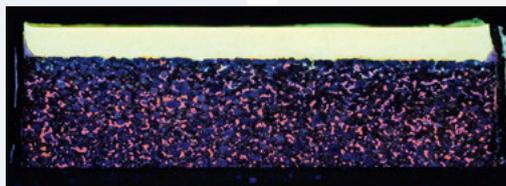


3 | SDA 4-20; Dicke 35 mm; T_{+1} ; an der Grenzfläche der beiden Farben ist eine Verstopfungsfront festzustellen.
3 | SDA 4-20; épaisseur 35 mm; T_{+1} ; front de colmatage identifiable à l'interface des deux couleurs.

couche, le taux de porosité ouverte est égal à 17%. Le diamètre moyen des pores est de 0,8 mm.

La figure 3 présente un échantillon provenant du même tronçon que celui de la figure 2, mais prélevé à T_{+1} , soit 15 mois après la pose. Afin de détecter l'initiation du colmatage, l'imprégnation a été réalisée en bidirectionnel et bicolore. Le front de colmatage est identifiable et le solde des vides garantissant les performances phoniques peut être évalué. De plus, en agrandissant l'image, ou en observant l'échantillon à la loupe on retrouve également de la «salissure» grenue au fond de certains pores.

Die Abbildung 4 zeigt eine Kernprobe ebenfalls aus demselben Abschnitt, die jedoch bei T_{+2} , d.h. etwa 25 Monate nach dem Einbau, entnommen wurde. Die Poren sind direkt unter der Fahrbahndecke verstopft und verhindern das Eindringen des gelben Harzes.



4 | SDA 4-20; Dicke 35 mm; T_{+2} ; Verstopfung in der Nähe der Fahrbahndecke.
4 | SDA 4-20; épaisseur 35 mm; T_{+2} ; colmatage proche de la surface de roulement.

La figure 4 présente un échantillon carotté toujours sur le même tronçon, mais prélevé à T_{+2} , soit environ 25 mois après la pose. Les pores sont colmatés juste sous la surface de roulement et empêchent la résine jaune de pénétrer.

hung der Verstopfung und der dabei auftretenden Kinetik wahrscheinlich das Finden von Lösungen zu seiner Hemmung ermöglichen wird. Zu diesem Zweck wurde ein Verfahren zur Beobachtung der kommunizierenden Hohlräume in der Mitte des Materials entwickelt, um das zeitliche und räumliche Fortschreiten der Verstopfung – oder genauer gesagt der Verstopfungsfront – verfolgen zu können. Unter Verstopfungsfront wird die Grenzfläche zwischen den von oben zugänglichen und den nur von unten zugänglichen kommunizierenden Poren verstanden. Diese Front, die durch das im vorliegenden Artikel präsentierte Verfahren aufgezeigt werden konnte, ist ein nützlicher Indikator zur visuellen Feststellung der Offenzugänglichkeit, der unterschiedlichen Arten von «Verschmutzungen» und des Vorgangs der Porenfüllung.

Im derzeitigen Entwicklungsstadium erhebt dieses Verfahren nicht den Anspruch, das Problem der Verstopfung lösen zu können. Vielmehr trägt es dank Bildern mit hoher Auflösung der Mitte des Materials zu einem besseren Verständnis des Auftretens und des Fortschreitens der Verstopfung bei.

Minderung des Lärmpegels durch Absorption

Wenn eine Schallwelle auf eine Fläche trifft, wird ein Teil der einfallenden Energie in die darunterliegenden Milieus übertragen, ein anderer Teil absorbiert und ein weiterer Teil reflektiert. Da der Teil der Energie, der auf die Infrastruktur der Fahrbahn übertragen wird, vernachlässigt werden kann, kommt nur die Absorption in Frage, um den Geräuschpegel zu verringern und dadurch eine wirksame Minderung des Strassenlärms an der Quelle zu gewährleisten^[2].

In der Akustik sind absorbierende poröse Materialien offenporig, d.h. ihre Poren stehen miteinander in Verbindung. In diesen Materialien wird Luft durch Schallwellen in Bewegung versetzt, die aufgrund von Reibung der Luftmoleküle an den Innenwänden Energie verlieren. Die akustische Energie wird dabei in Wärme umgewandelt. Die Absorption von porösen Materialien ist bei hohen Frequenzen wesentlich höher als bei niedrigen Frequenzen. Um die Absorption bei niedrigen Frequenzen zu erhöhen, wird empfohlen, die Dicke der absorbierenden Schicht zu erhöhen.

Im Strassenbau bereitet die Herstellung einer lärmindernden Strassendecke mit einer guten akustischen Effizienz bei der Abnahme der Arbeiten in der Regel keine Probleme. So gestatten zahlreiche Forschungsarbeiten und die von Fachunternehmen gewonnene Erfahrung in der Rezeptur und im Einbau des Mischgutes die Erzielung einer offenen Makroporosität und einer Makrostruktur der Oberfläche, welche die akustischen Anforderungen der Bauherren erfüllen.

Erforschung der kommunizierenden Hohlräume

Bei Sanierungsprojekten im Rahmen von Massnahmen zur Bekämpfung des Strassenlärms in der Schweiz verlangen die Bauherren eine Reihe von semidichten Belägen, die in der Norm SNR 640 436^[3] festgelegt sind. Diese Produkte mit der Bezeichnung SDA sind in der Korngrösse 0/4 mit drei Hohlraumanteilklassen und in der Korngrösse 0/8 mit zwei Hohlraumanteilklassen lieferbar. Die Hohlräume erhält man durch eine

mettront vraisemblablement de trouver des solutions pour le freiner. C'est à cette fin, qu'une méthode d'observation des vides communicants au cœur du matériau afin de suivre la progression dans le temps et dans l'espace du colmatage, plus précisément de son front, a été développée. Par front de colmatage, il faut comprendre l'interface entre les pores communicants accessibles par le haut et ceux uniquement accessibles par le bas. Ce front, qui a pu être mis en évidence par la méthode présentée dans cet article, est un marqueur utile à l'identification visuelle de la porosité ouverte, des différents types de «salissures» et du processus de remplissage des pores.

A ce stade de développement, la méthode ne prétend pas résoudre le problème du colmatage, mais, grâce à des images en haute résolution au cœur du matériau, elle contribue à avancer vers une meilleure compréhension de son apparition et de sa progression.

Décroissance du niveau sonore par absorption

Quand une onde sonore rencontre une surface, une partie de l'énergie incidente est transmise aux milieux sous-jacents, une autre partie est absorbée et une dernière partie est réfléchi. La part d'énergie transmise à l'infrastructure de la chaussée étant négligeable, il faut compter uniquement sur l'absorption pour réduire le bruit et ainsi garantir une efficacité de diminution du bruit routier à la source^[2].

En acoustique, les matériaux poreux absorbants ont une porosité ouverte, c'est-à-dire que leurs pores communiquent entre eux. Dans ces matériaux, l'air est mis en mouvement par les ondes sonores qui perdent de l'énergie par suite des frottements des molécules d'air sur les parois internes. L'énergie acoustique est transformée en chaleur. L'absorption des matériaux poreux est beaucoup plus importante aux fréquences aiguës qu'aux fréquences basses. Pour augmenter l'absorption aux fréquences basses, il est recommandé d'augmenter l'épaisseur de la couche absorbante.

En construction routière, la production d'un enrobé phono-absorbant avec une bonne efficacité phonique à la réception des travaux est généralement maîtrisée. En effet, de nombreux travaux de recherche et l'expérience acquise par les entreprises spécialisées, que ce soit au niveau de la recette de l'enrobé ou de sa mise en œuvre, permettent d'obtenir une macroporosité ouverte et une macrostructure de surface qui répondent aux exigences acoustiques des maîtres d'ouvrage.

Exploration des vides communicants

Pour leurs projets d'assainissement dans le cadre des actions menées contre le bruit routier en Suisse, les maîtres d'ouvrage font appel à une série de revêtements semi-denses définis dans la règle normative SNR 640 436^[3]. Ces produits, appelés SDA, se déclinent en granulométrie 0/4 avec 3 classes de teneur en vides, et en granulométrie 0/8 avec 2 classes de teneur en vides. Les vides sont obtenus par une discontinuité plus ou moins marquée de la granularité et par le contrôle rigoureux de la teneur en fines.

mehr oder weniger ausgeprägte Unstetigkeit der Körnung und durch eine strenge Kontrolle des Feinkornanteils. Der Hohlraumanteil V_m der SDA wird in herkömmlicher Weise mit der folgenden Formel berechnet:

$$V_m = 100 \times \frac{\text{MVR} - \text{MVA}}{\text{MVR}} \quad [\% \text{ vol.}]$$

Dabei gilt:

MVA = geometrische Raumdichte [kg/m^3]

MVR = Rohdichte [kg/m^3]

Mit dieser Formel erhält man einen Gesamtporositätswert. In der Akustik ist jedoch die nützliche Porosität die offene Porosität, die im Falle der Asphalte bestimmt werden kann durch:

- das in der Norm NFP 98 254-2^[4] beschriebene sogenannte Verfahren der kommunizierenden Hohlräume,
- die Quecksilberporosimetrie,
- die Computertomographie.

Diese drei Verfahren sind jeweils mit einem oder mehreren Nachteilen behaftet. Das in der Norm NFP 98 254-2 beschriebene Verfahren liefert ausser dem Gesamtvolumen der kommunizierenden Hohlräume keine Informationen über die Grösse und die Verteilung der Poren und den Verstopfungszustand. Die Quecksilberporosimetrie misst die Verteilung der Porengrösse, aber sie liefert keine Informationen über die Verstopfung und kann nur mit sehr kleinen Probekörpern durchgeführt werden (nur geeignet für Mischgut mit einer maximalen Korngrösse von 4 mm). Die Computertomographie liefert ein 3D-Bild des Probekörpers. Sie ist aber je nach der Auflösung des Geräts nicht in der Lage, zwischen dem Mastix und den «Verschmutzungen» durch Dichtekontrast zu unterscheiden. Durch diesen Sachverhalt entstand die Idee zu einem neuen Untersuchungsverfahren: zur Bildanalyse in einer Schnittansicht des Probekörpers.

Porosimetrie von Asphaltmischgut durch Imprägnierung und Bildanalyse

Dieses Verfahren wird sowohl für labormässig hergestellte als auch für vor Ort entnommene Probekörper angewendet und kann folglich unabhängig vom Alter des Belags durchgeführt werden. Die Bilder können bei neuem Mischgut benutzt werden, um den Grad der jeweiligen Porosität und die Verteilung der Grösse der Poren festzustellen, und gestatten somit eine Einbaukontrolle. Bei älterem Mischgut, das möglicherweise verstopft ist, kann anhand der Bilder die Tiefe der Verstopfungsfrent, die Durchlässigkeit der «Verschmutzungen» und der Anteil der leeren Restporen festgestellt werden. Die Imprägnierung des Gesamtvolumens der kommunizierenden Hohlräume mit Harz, dessen Viskosität höher ist als die Viskosität von Luft, ist eine Garantie dafür, dass Luft in diesen Poren zirkuliert.

Imprägnierungsprotokoll

Im Laufe der ersten Etappe werden die Probekörper mit einem fluoreszierenden Harz imprägniert. Bezüglich der Wahl des Harzes, des fluoreszierenden Pigments und der Imprägnierungsweise wurden zahlreiche Tests durchgeführt, um die

Traditionnellement, la teneur en vides V_m des SDA est calculée par la formule suivante:

$$V_m = 100 \times \frac{\text{MVR} - \text{MVA}}{\text{MVR}} \quad [\% \text{ vol.}]$$

où:

MVA, masse volumique apparente géométrique [kg/m^3]

MVR, masse volumique réelle [kg/m^3]

Cette formule donne une valeur de porosité totale. En acoustique, cependant, la porosité utile est la porosité ouverte qui, dans le cas des enrobés bitumineux, peut être déterminée par:

- la méthode dite des vides communicants décrite dans NFP 98 254-2^[4],
- la porosimétrie au mercure,
- la tomodynamométrie.

Ces trois méthodes ont chacune un ou plusieurs inconvénients. La méthode décrite dans NFP 98 254-2, hormis le volume total des vides communicants, ne fournit ni détails sur la dimension et la distribution des pores, ni information sur l'état de colmatage. La porosimétrie au mercure mesure la distribution de la taille des pores, mais ne livre aucune information sur le colmatage et ne peut s'employer qu'avec des éprouvettes de très petites dimensions (la méthode est uniquement appropriée aux enrobés à grain maximum 4 mm). La tomodynamométrie, quant à elle, fournit une image 3D de l'éprouvette, mais selon la résolution de l'appareil, n'est pas en mesure de faire la différence entre le mastic et les «salissures» par contraste de densité. C'est de ces constats qu'est née l'idée d'une nouvelle méthode d'exploration: l'analyse d'images en coupe de l'échantillon.

Porosimétrie des enrobés par imprégnation et analyse d'images

La méthode s'applique aussi bien aux éprouvettes confectionnées en laboratoire qu'à celles prélevées in situ et peut donc être mise en application quel que soit l'âge du revêtement. Avec de l'enrobé neuf, les images sont exploitables en vue de déterminer le taux de porosité connectée et la distribution de la taille des pores et permet donc un contrôle de la mise en œuvre. Avec de l'enrobé plus ancien, donc possiblement colmaté, les images sont exploitables en vue d'établir la profondeur du front de colmatage, la perméabilité des «salissures» et le taux de pores résiduels vides. L'imprégnation du volume total de vides communicants avec de la résine, dont la viscosité est supérieure à celle de l'air, est une garantie que l'air circule dans ces pores-là.

Protocole d'imprégnation

Au cours de la première étape, les éprouvettes sont imprégnées avec une résine fluorescente. Le choix de la résine, du pigment fluorescent et le mode d'imprégnation ont fait l'objet de nombreux tests afin d'optimiser les différents paramètres. Après durcissement, les éprouvettes sont sciées, puis photographiées. Les photos sont ensuite exploitées par analyse automatique d'images. Sur un enrobé neuf, l'imprégnation est réalisée avec une résine jaune qui pénètre dans l'espace poreux de manière unidirec-

verschiedenen Parameter zu optimieren. Nach der Erhärtung werden die Probekörper gesägt und dann fotografiert. Die Fotos werden dann durch automatische Bildanalyse ausgewertet.

Bei einem neuen Asphaltmischgut erfolgt die Imprägnierung mit einem gelben Harz, das in nur einer Richtung durch die Oberseite des Probekörpers in den porösen Raum dringt, um den Probekörper in seiner gesamten Dicke zu sättigen.

Bei einem vor Ort entnommenen Asphaltmischgut ist nach mehreren Einsatzwochen, -monaten oder -jahren eine doppelte Imprägnierung erforderlich. Die erste Imprägnierung erfolgt wie die oben beschriebene von oben mit einem gelben Harz. Die Poren füllen sich, bis eine etwaige Verstopfungsfront erreicht ist. Nach der Erhärtung des gelben Harzes erfolgt die zweite Imprägnierung durch die Unterseite des Probekörpers mit rotem Harz. Dank dieser doppelten Imprägnierung können die Position und die Dicke der Verstopfungsfront genau bestimmt werden.

Sägen

Für eine einfache Beobachtung des Porenraumes und der Verstopfung ist ein einfacher Schnitt des Probekörpers ausreichend. Falls die gewünschte Information in der Quantifizierung der Dichte der Poren (in mm^2 der Porenoberfläche pro mm^2 der Gesamtoberfläche) und in der Bestimmung ihrer Form oder der Verteilung ihrer Grösse besteht, muss der Probekörper in Scheiben geschnitten werden, um den Umfang der Daten zu vergrössern.

Statistische Berechnungen

Die Aufnahmen der Probekörperscheiben liefern eine Probe mit etwa 20 000 Poren. Die Gesamtinformationen können auch in horizontale Dickenstreifen der Schicht aufgeteilt werden, um Unterschiede in der Textur in Abhängigkeit von der Tiefe festzustellen. Darüber hinaus kann bei einer Reinigung des Belags mithilfe der Bestimmung der Position der Verstopfungsfront insbesondere die Wirksamkeit eines Verfahrens zur «Entstufung» der Hohlräume beurteilt werden.

Fazit

Dieses Untersuchungsverfahren, das von der Fotogrammetrie abgeleitet ist und in unserem Labor entwickelt wurde, gestattet nicht nur die Sichtbarmachung und die Quantifizierung der Offenporigkeit der SDA, insbesondere durch die Verteilung der Porengrösse, sondern auch die Feststellung der Art der «Verschmutzung», die Verfolgung des Vorgangs der Porenfüllung sowie die bessere Erfassung der Entwicklung der Verstopfung. Kurzfristig werden sich die Forschungsarbeiten auf Vergleiche zwischen der Verstopfungsfront und/oder dem Rest der Offenporigkeit und den akustischen Leistungen konzentrieren. Das Verfahren dürfte auch zur Wahl, zur Kontrolle und zur Optimierung der Techniken und der Häufigkeit der Belagreinigung dank vergleichenden Stichproben vor und nach der Reinigung beitragen.

Die Kombination dieses Verfahrens mit akustischen Messungen und die daraus resultierenden Produktverbesserungen dürften es früher oder später gestatten, die besten Kompromisse zwischen mechanischer Haltbarkeit und akustischen Leistungen zu finden.

tionnelle par la face supérieure de l'éprouvette pour la saturer sur la totalité de son épaisseur.

Sur un enrobé prélevé in situ, après plusieurs semaines, mois ou années de service, une double imprégnation est nécessaire. La première a lieu comme précédemment par le haut, avec une résine jaune. Les pores se remplissent jusqu'à atteindre un éventuel front de colmatage. Après durcissement de la résine jaune, la seconde imprégnation se fait par la face inférieure de l'éprouvette, avec de la résine rouge. Grâce à cette double imprégnation, il est possible de définir avec exactitude la position et l'épaisseur du front de colmatage.

Sciage

Pour une simple observation de l'espace poreux et du colmatage, une seule coupe de l'éprouvette est suffisante. Si l'information recherchée consiste à quantifier la densité de pores (en mm^2 de surface de pores par mm^2 de surface totale) et déterminer leur forme ou la distribution de leur taille, il faut découper l'éprouvette en tranches pour multiplier le nombre de données. Une analyse statistique est alors possible.

Calculs statistiques

Les prises de vue des tranches d'éprouvettes fournissent un échantillon d'environ 20 000 pores. Il est également possible de décomposer l'information globale par bandes horizontales dans l'épaisseur de la couche afin de mettre en évidence des variations de texture en fonction de la profondeur. De même, en cas de nettoyage de revêtement, l'étude de la position du front de colmatage permet notamment de juger de l'efficacité d'une méthode à «décolmater» les vides.

Conclusions

Cette méthode d'analyse, dérivée de la photogrammétrie et développée au sein de notre laboratoire, permet non seulement de visualiser et de quantifier la porosité ouverte des SDA, notamment par la distribution de la taille des pores, mais également d'identifier le type de «salissure», de suivre le processus de remplissage des pores et, in fine, de mieux saisir l'évolution du colmatage.

A court terme, les travaux de recherche vont se concentrer sur des comparatifs entre le front de colmatage et/ou le solde de porosité ouverte et les performances acoustiques. La méthode devrait aussi contribuer à choisir, contrôler et optimiser les techniques et les fréquences de nettoyage des revêtements grâce à des échantillonnages comparatifs avant et après nettoyage.

La combinaison de cette méthode avec les mesures acoustiques et les améliorations subséquentes des produits devraient permettre, à terme, d'identifier les meilleurs compromis entre durabilité mécanique et performances acoustiques.

Literatur | Littérature

- [1] Frédéric Steiner, Samuel Probst, Baisse de l'efficacité acoustique des revêtements phono-absorbants: causes, nouvelles méthodes de mesure et solutions, Routes et Trafic n° 11, novembre 2016.
- [2] Loïc Hamayon, Comprendre simplement l'acoustique des bâtiments, Editions Le Moniteur (2010).
- [3] SNR 640436 Enrobés et couches de roulement semi-denses; Spécifications, exigences, conception et exécution.
- [4] NFP 98 254-2 Teneur en vides communicants sur éprouvette cylindrique.

Grundlagen zur Beurteilung der Auswirkungen einer Geschwindigkeit von 30 km/h auf den Lärm

Bases d'évaluation de l'effet d'une vitesse de 30 km/h sur le bruit

Strassenlärmisanierung ist eine Daueraufgabe geworden, die ständige vorausschauende Überlegungen erfordert, um festzustellen, welche Massnahmen sowohl in akustischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht am wirksamsten sind. Die effiziente Bekämpfung des Strassenlärms muss zuallererst durch Massnahmen an der Quelle erfolgen, um die Ausbreitung der Lärmemissionen zu vermeiden. Diese Massnahmen sind vor allem in Ballungsgebieten, Innenstädten und verdichteten Städten zu treffen. Die Geschwindigkeitsreduktion – insbesondere auf 30 km/h – ist eine Massnahme an der Quelle gegen Strassenlärm. Eine kürzlich durchgeführte Studie, die unter der Federführung des VSS veröffentlicht und vom BAFU und dem ASTRA in Auftrag gegeben wurde, bietet erstmals die Grundlagen zur Beurteilung der Lärmauswirkungen einer auf 30 km/h begrenzten Geschwindigkeit.

Das Umweltschutzgesetz der Schweizerischen Eidgenossenschaft und die Lärmschutzverordnung (LSV) verpflichten die Eigentümer von Strassen, Streckenabschnitte zu sanieren, die zu viel Lärm verursachen und in erheblichem Masse zur Überschreitung der Immissionsgrenzwerte (IGW) beitragen. Die Lärmsanierung muss bis im März 2018 sowohl auf den Hauptstrassen als auch auf den übrigen Strassen abgeschlossen werden. Gemäss dem Umweltschutzgesetz (Art. 11, Abs. USG) muss die Lärmbekämpfung in erster Linie an der Quelle erfolgen.

In der Schweiz wohnen ca. 90% der Personen, die einem zu hohen Strassenlärm ausgesetzt sind, in Städten und Agglomerationen, wo jede dritte Person sowohl tagsüber als auch nachts betroffen ist. In Stadtgebieten ist die Lärmbekämpfung an der Quelle noch wichtiger, da der verfügbare Platz begrenzt ist und die Struktur der Stadt es oft nicht ermöglicht, Schutzvorrichtungen, wie Lärmschutzwände, auf dem Ausbreitungsweg zu bauen. Das beste Mittel zur Bekämpfung von Strassenlärm sind somit Massnahmen an der Quelle, wie beispielsweise lärmarme Beläge oder Temporeduktion.



PAR
SOPHIE HOEHN
Dr. Sc. Nat. Biologiste
Cheffe section Bruit routier
Office Fédéral de l'environnement,
OFEV, Division Bruit et RNI

L'assainissement du bruit routier est devenu une tâche permanente qui implique une réflexion constante en amont pour déterminer quelle mesure sera la plus efficace acoustiquement mais aussi économiquement. Lutter efficacement contre le bruit routier doit se faire en priorité par des mesures à la source afin d'éviter la propagation du bruit émis, des mesures qui sont d'autant plus appropriées dans les agglomérations, les centres urbains et les villes densifiées. La réduction de vitesse est une mesure à la source contre le bruit routier, en particulier la vitesse 30 km/h. Une étude récente, publiée sous l'égide de la VSS mais mandatée en collaboration entre l'OFEV et l'OFROU, offre pour la première fois les bases d'évaluation de l'effet sur le bruit d'une vitesse limitée à 30 km/h.

La loi sur la protection de l'environnement de la Confédération suisse et l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) obligent les propriétaires des routes à assainir les tronçons qui causent un bruit excessif et contribuent de manière notable au dépassement des valeurs limites

d'immission (VLI). L'assainissement sonore doit être achevé d'ici mars 2018 sur les routes principales, de même que sur les autres routes. Selon la loi sur la protection de l'environnement (art. 11, al. LPE), la réduction du bruit doit se faire prioritairement à la source.

En Suisse, environ 90% des personnes soumises à un bruit routier excessif vivent dans les villes et les agglomérations où 1 personne sur 3 est concernée jour et nuit. En zone urbaine, la lutte contre le bruit à la source prend encore plus d'importance sachant que la place à disposition est limitée et que la structure même de la ville ne permet souvent pas de construire des protections sur le chemin de propagation comme des parois anti-bruit. La meilleure lutte contre le bruit routier se traduit donc par les mesures à la source, comme des revêtements silencieux ou la réduction de vitesse.

Geschwindigkeitsreduktion auf 30 km/h als Massnahme zur Strassenlärminderung

Laut der Signalisationsverordnung (Artikel 108, Abs. d) kann die Geschwindigkeit abgesenkt werden, wenn dies eine Verringerung der Umweltbelastung, und zwar insbesondere eine Minderung des Strassenlärms, zur Folge hat. Um das Potenzial der Auswirkungen einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h auf den Strassenlärm feststellen zu können, muss ein Modell vorhanden sein, das an eine Situation mit geringer Geschwindigkeit angepasst ist. Zurzeit beruht die Schätzung der möglichen Lärminderung durch Geschwindigkeitsabsenkung oft auf Berechnungen, die mit genormten Modellen durchgeführt werden. Jedoch sind die Strassenlärmemissionsmodelle, wie das StL86+, die in der Schweiz in Kraft sind, oder solche, die im Ausland verwendet werden, nicht oder kaum an diese Geschwindigkeitsbereiche angepasst und berücksichtigen nicht die Besonderheiten der Situationen mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h. Die Lärminderung, die sich durch eine Geschwindigkeitsabsenkung ergeben kann, ist in hohem Masse von bestimmten Einflussgrössen abhängig, die von den üblichen Modellen, die für Geschwindigkeiten von mindestens 50 km/h konzipiert sind, nicht beschrieben werden. Zu diesen Einflussgrössen gehören insbesondere die effektive Geschwindigkeitsverteilung, der vorherrschende Belag auf der Fahrbahn, die Art der Verkehrsberuhigungsmassnahmen, die Fahrweise, die Motorisierung und die Reifen, die im Fahrzeugpark hauptsächlich verwendet werden.

Grundlagen für die Beurteilung der Auswirkungen einer Geschwindigkeit von 30 km/h auf den Lärm

Um allgemein gültige Aussagen über die akustischen Auswirkungen von Geschwindigkeitsabsenkungen treffen zu können, müssen die wichtigsten Einflussgrössen im Bereich der niedrigen Geschwindigkeiten vereinzelt und quantifiziert werden. Deshalb waren bei der Studie die Parameter von Interesse, die für die Emissionsformel verwendet werden, d.h.:

Réduction de vitesse à 30km/h comme mesure contre le bruit routier

La vitesse peut, selon l'Ordonnance sur la signalisation routière (article 108, let. d), être abaissée s'il en résulte une réduction des atteintes à l'environnement, en particulier une réduction du bruit routier.

Afin d'établir le potentiel d'une limitation de vitesse à 30 km/h sur le bruit routier, il est nécessaire d'avoir un modèle adapté à une situation de basse vitesse. Actuellement, l'estimation du potentiel de diminution du bruit des réductions de vitesse se base souvent sur des calculs effectués avec des modèles standardisés. Or, les modèles d'émission de bruit routier tels que StL86+ en vigueur en Suisse, ou ceux utilisés à l'étranger ne sont pas ou peu adaptés à ces domaines de vitesse et ne tiennent pas compte des particularités des situations avec vitesse limitée à 30 km/h. La diminution du bruit que peut entraîner une réduction de la vitesse dépend beaucoup de certaines grandeurs d'influence que les modèles courants, conçus pour des vitesses supérieures ou égales à 50 km/h, ne parviennent pas à décrire. Ces grandeurs d'influence comprennent notamment la distribution effective de la vitesse, le revêtement prédominant sur la chaussée, la nature des mesures de modération du trafic, le comportement de conduite, la motorisation et les pneumatiques qui prévalent dans le parc de véhicules.

Bases d'évaluation de l'effet d'une vitesse de 30 km/h sur le bruit

Pour pouvoir émettre des constats plus généraux sur l'impact acoustique des réductions de vitesse, il est donc nécessaire d'isoler et de quantifier les grandeurs d'influence les plus importantes dans le domaine des basses vitesses. L'étude s'est donc intéressée aux paramètres utilisés par la formule d'émission, soit:

- la vitesse et la description de son influence sur le bruit routier dans le domaine de basses vitesses (<50 km/h), puisqu'il faut considérer séparément ses deux sources

Beispiel zur Abschätzung der Lärmwirkung einer geplanten Tempo-30-Situation gegenüber einer Ausgangssituation mit einer mittleren Geschwindigkeit von 50 km/h

Schritt	Kurzbeschreibung	Beispiel
1	Auswahl der Zielsituation	Zonentyp: Tempo-30-Strecke
2	Bestimmung der Lärmreduktion für die prognostizierte mittlere Zielgeschwindigkeit unter Berücksichtigung des LKW-Anteils	Wirkung bei 30 km/h und 2% LKW-Anteil: -4,0 dB
3	Bei Belagersatz Bestimmung der zusätzlichen Wirkung des Strassenbelags	Zusätzl. Belagswirkung bei Einbau eines Belages mit $KB_{\text{Misch-1}}: 41\%$, d.h. $-1 \text{ dB} * 0,41 \approx -0,4 \text{ dB}$
4	Handhabung Tag/Nacht: falls Verkehrszusammensetzung oder Geschwindigkeiten abweichen, ist eine separate Beurteilung Tag/Nacht vorzunehmen	Wirkung Tempo 30: - Tag: $-4,0 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} = -4,4 \text{ dB}$ - Nacht: bei Bedarf Schritte 1 bis 3 mit angepassten Parametern wiederholen
5	Abschätzen der Wirkung bei nicht Erreichen der Zielgeschwindigkeit	Schritte 1 bis 3 mit angepassten Parametern wiederholen. Wirkung würde bei mittleren Geschwindigkeit von 36 km/h um $1,1 \text{ dB}$ geringer ausfallen ($-2,9 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} = -3,3 \text{ dB}$)

Exemple d'impact acoustique dans une situation où une limitation de vitesse à 30 km/h est envisagée en comparaison avec une situation initiale avec une vitesse moyenne de 50 km/h

Étape	Description succincte	Exemple
1	Choix de la situation cible	Type de zone: Tronçon à 30 km/h
2	Détermination de la réduction de bruit obtenue avec vitesse cible moyenne pronostiquée compte-tenu de la proportion de camions	Impact acoustique à 30 km/h avec 2% de camions: -4,0 dB
3	Détermination de l'impact supplémentaire obtenu avec un remplacement du revêtement routier	Impact acoustique supplémentaire dû au revêtement avec la pose d'un revêtement avec $KB_{\text{Misch-1}}: 41\%$, $c'-à-d. -1 \text{ dB} * 0,41 \approx -0,4 \text{ dB}$
4	Gestion de la différence jour/nuit: en cas d'écart dans la composition du trafic ou la vitesse, évaluer séparément le jour et la nuit	Effet de la limitation de vitesse à 30 km/h: - Jour: $-4,0 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} = -4,4 \text{ dB}$ - Nuit: au besoin, répéter les étapes 1 à 3 en adaptant les paramètres
5	Estimation de l'impact acoustique lorsque la vitesse ciblée n'est pas atteinte	Répéter les étapes 1 à 3 en adaptant les paramètres. L'impact d'une vitesse moyenne de 36 km/h serait inférieur de $1,1 \text{ dB}$ ($-2,9 \text{ dB} - 0,4 \text{ dB} = -3,3 \text{ dB}$)

- die Geschwindigkeit und die Beschreibung ihres Einflusses auf den Strassenlärm im Bereich der niedrigen Geschwindigkeiten (<50 km/h), da die beiden Hauptquellen des Strassenlärms getrennt betrachtet werden müssen, und zwar der Antriebslärm (Motorlärm) und das Rollgeräusch (Lärmemissionen aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Reifen und der Fahrbahnoberfläche, die bei Personenwagen ab 15–25 km/h, bei Lastwagen ab 30–40 km/h vorherrschend sind)
- das Fahrverhalten (Fahrgeschwindigkeiten, Beschleunigung)
- die Berücksichtigung des modernen Fahrzeugparks und seiner Reifen
- die Auswirkungen von Strassenbau- und Strassenanpassungsmassnahmen (Verkehrsberuhigungsmassnahmen)
- der Einfluss des Belags

In Bezug auf das Fahrverhalten ging es darum, die Fahrgeschwindigkeit, den eingelegten Gang und den Beschleunigungsmodus, die in der Realität für Personenwagen in den typischen Hauptsituationen, in denen die Geschwindigkeit auf 30 km/h begrenzt ist, vorherrschend sind, zu bestimmen und in Form von statistischen Daten zu charakterisieren (Abb. 1). In der Schweiz können drei typische Situationen bei 30 km/h auftreten: ein 30 km/h-Streckenabschnitt, d.h. eine Absenkung auf 30 km/h (Signalisierung) ohne Zugehörigkeit zu einer 30 km/h-Zone (im Sinne der Verordnung über 30 km/h-Zonen, SR 741.213.3) und ohne Verkehrsberuhigungsmassnahme. Eine freie 30 km/h-Zone, einschliesslich in eine 30 km/h-Zone einbezogene Streckenabschnitte, jedoch ohne Verkehrsberuhigungsmassnahme. Fahrer haben somit eine freie Sicht auf die Strasse und das Kreuzen ist erleichtert. Und eine schmale 30 km/h-Zone, die eine 30 km/h-Zone mit Anlagen zur Verkehrsberuhigung ist. Fahrer müssen somit in Abhängigkeit von Hindernissen auf der Fahrbahn fahren und das Kreuzen ist schwieriger.

Der Schwerpunkt wurde auf Verkehrsachsen mit einer mittleren bis hohen Verkehrsdichte gelegt (beispielsweise Gemeindestrassen ab einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsmenge DTV von 3000 Fahrzeugen bis zu Kantonsstrassen mit einer DTV von fast 18 000 Fahrzeugen).

Diese statistischen Fahrdaten sind die Grundlage zur Bestimmung der akustischen Auswirkungen in Situationen im Bereich von niedrigen Geschwindigkeiten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die statistischen Daten drei wichtige Aspekte aufgezeigt haben. Erstens kann mit den effektiven gefahrenen Geschwindigkeiten, die bei den statistischen Erhebungen gemessen wurden, eine Geschwindigkeitsverteilung in Abhängigkeit von der Zonenart ermittelt werden (Abb. 2) und die Wirkung eines 30 km/h-

principales, le bruit de propulsion (bruit du moteur) et le bruit de roulement (émissions sonores dues à l'interaction entre les pneumatiques et la surface de la chaussée; dominant dès 15–25 km/h pour les voitures et 30–40 km/h pour les camions).

- le comportement de conduite (vitesses de conduite, accélération)
- la prise en compte du parc de véhicules moderne et de ses pneus
- les effets des mesures de construction et d'aménagement de la chaussée (modération trafic)
- l'influence du revêtement

Concernant le comportement de conduite, il s'agissait de déterminer et de caractériser, sous forme de données statistiques, la vitesse de conduite, le rapport de vitesse sélectionné et le mode d'accélération qui prédominent dans la réalité pour les voitures de tourisme dans les principales situations-types des zones où la vitesse est limitée à 30 km/h (fig. 1). En Suisse, trois situations-types à 30 km/h peuvent se présenter: un tronçon 30 km/h, c'est une réduction à 30 km/h (signalisation) sans appartenance à une zone 30 (au sens de l'Ordonnance sur les zones 30, RS 741.213.3) et sans aménagements sur la chaussée. Une zone 30 km/h dégagée, tronçon inclus dans une zone 30 mais sans aménagements sur la chaussée. L'automobiliste a donc une vue dégagée sur la route et les croisements sont facilités. Et une zone 30 étroite, qui est une zone 30 pourvue d'aménagements visant à modérer le trafic. L'automobiliste doit donc rouler en fonction des obstacles sur la chaussée et les croisements sont plus difficiles.

L'accent a été mis sur les axes routiers présentant une densité de trafic moyenne à forte (par ex. routes communales à partir d'une densité de trafic journalier moyen TJM de 3000 véhicules jusqu'aux routes cantonales dont le TJM atteint près de 18 000 véhicules).

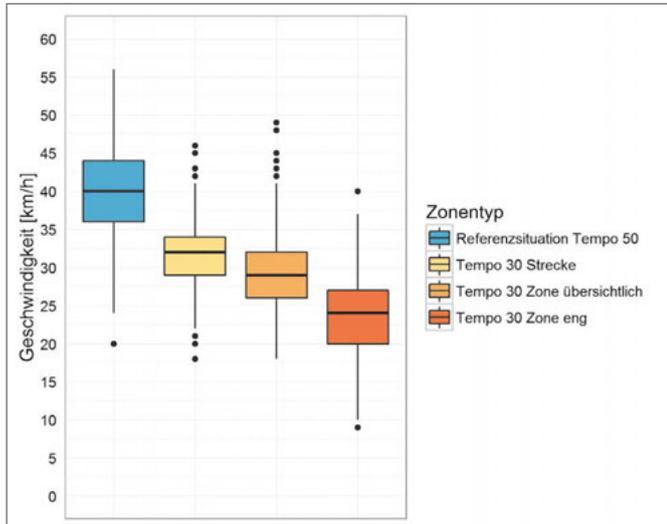
Ces données statistiques de conduite forment la base de la détermination de l'impact acoustique dans les situations du domaine des basses vitesses. Cependant, il est important de souligner que les données statistiques ont mis en évidence trois éléments importants. Premièrement, les vitesses effectives mesurées durant les relevés statistiques permettent de déduire une distribution de la vitesse en fonction du type de zone (fig. 2) et de montrer l'efficacité sur la vitesse d'un tronçon 30 km/h ou d'une zone 30 km/h dégagée ou étroite. Deuxièmement, le mode de conduite (meilleure fluidité) s'optimise pour les mêmes situations-types (fig. 3). Et troisièmement, une comparaison transversale de toutes les situations examinées

Abb. 1: Zonentypen und Messquerschnitte an denen statistische Erhebungen zum Fahrverhalten durchgeführt werden

Zonentyp	Messquerschnitte
Referenzsituation Tempo 50	1 Messquerschnitt
Tempo-30-Strecke	1 Messquerschnitt
Tempo-30-Zone übersichtlich	2 Messquerschnitte: je 1 Messquerschnitt bei mittlerem und hohem Verkehrsaufkommen
Tempo-30-Zone eng	2 Messquerschnitte: je 1 Messquerschnitt an der Massnahme und zwischen den Massnahmen

Figure 1: Types de zones et sections de mesure où des relevés statistiques sur le comportement de conduite ont été effectués

Type de zone	Section de mesure
Situation de référence avec à 50 km/h	1 section de mesure
Tronçon à 30 km/h	1 section de mesure
Zone à 30 km/h dégagée	2 sections de mesure: avec densité moyenne et avec forte densité de trafic
Zone à 30 km/h étroite	2 sections de mesure: à l'emplacement d'une des mesures de modération du trafic et entre deux mesures

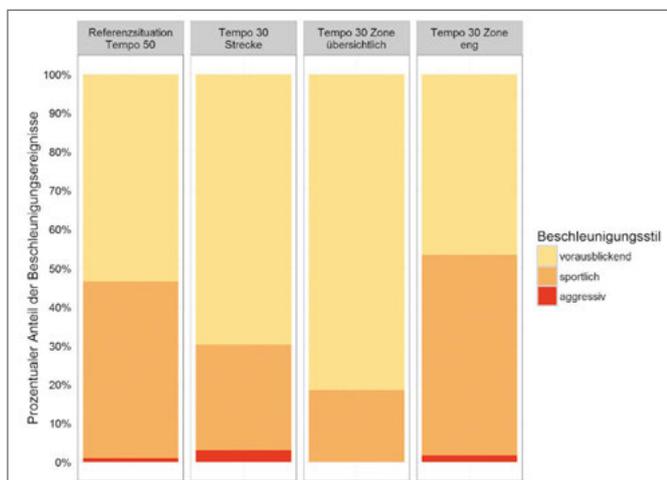


2 | Boxplots zur effektiv gefahrenen Geschwindigkeit pro Zonentyp.
2 | Diagrammes en boîte sur la vitesse de conduite effective par type de zone.

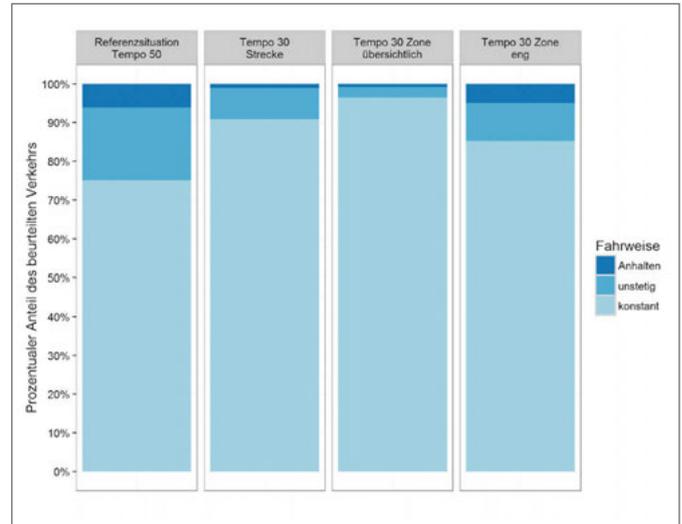
Streckenabschnitts oder einer freien oder schmalen 30 km/h-Zone festgestellt werden. Zweitens optimiert sich die Fahrweise (flüssiger Verkehr) für dieselben typischen Situationen (Abb. 3). Drittens zeigt ein Quervergleich aller untersuchten Situationen, dass der Anteil von sportlichen oder aggressiven Beschleunigungen, die negative akustische Auswirkungen haben, in den freien 30 km/h-Zonen deutlich (etwa 20%) geringer ist (Abb. 4).

Einfluss der Geschwindigkeiten, des Anteils von Lastwagen und des Strassenbelags

Unter Berücksichtigung der massgeblichen Parameter, die sich aus den statistischen Fahrdaten ergeben, zeigt die Studie auch, dass die akustischen Auswirkungen einer Geschwindigkeitsabsenkung von der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit sowie von der Anzahl der Lastwagen, die in der betroffenen Zone bzw. in dem betroffenen Streckenabschnitt fahren, beeinflusst werden. Abbildung 5 zeigt diese Situation für die drei Zonen mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h durch einen Vergleich der prognostizierten Auswirkungen mit einer Situation, in der die Geschwindigkeit $v_{0.50} = 50$ km/h beträgt, wobei diese Situation einen Lastwagenanteil von 2, 4 oder 6% und einen neutralen Belag umfasst (Wert KB 0 dB, entspricht in etwa einem Belag AC 11).



4 | Beschleunigungsstil als prozentualer Anteil der Beschleunigungsereignisse.
4 | Style d'accélération en pourcentage des événements d'accélération.



3 | Fahrweise als prozentualer Anteil des beurteilten Verkehrs.
3 | Mode de conduite en pourcentage du trafic évalué.

montre que la proportion d'événements d'accélération de type sportif ou agressif ayant un impact acoustique négatif est nettement la plus faible (env. 20%) dans les zones 30 dégagées (fig. 4).

Influence des vitesses, de la proportion de camions et du revêtement routier

Tenant compte des paramètres clés issus des données statistiques de conduite, l'étude montre ensuite que l'impact acoustique d'une réduction de la vitesse est influencé par la vitesse de circulation effective ainsi que par la quantité de camion qui circule dans la zone ou le tronçon. La figure 5 précise cette situation pour les trois types de zones à vitesse limitée à 30 km/h en comparant l'effet pronostiqué avec une situation où $v_{0.50} = 50$ km/h, comprenant une proportion de camion de 2, 4 ou 6% et un revêtement neutre (valeur KB 0 dB, correspond à peu près à un revêtement AC 11).

Les tronçons à 30 km/h et les zones à 30 km/h dégagées présentent l'impact acoustique le plus important, en comparaison avec la situation initiale limitée à 50 km/h, avec un potentiel de réduction du bruit de -4.1 dB (proportion de camions de 2%), de -3,4 dB (proportion de camion de 4%) et -2,9 dB (proportion de camion de 6%). Pour les zones à 30 km/h étroites, il faut s'attendre pour la même vitesse à des effets moindres d'environ 1 à 1,5 dB en raison des perturbations du comportement de conduite liées à la présence d'obstacles.

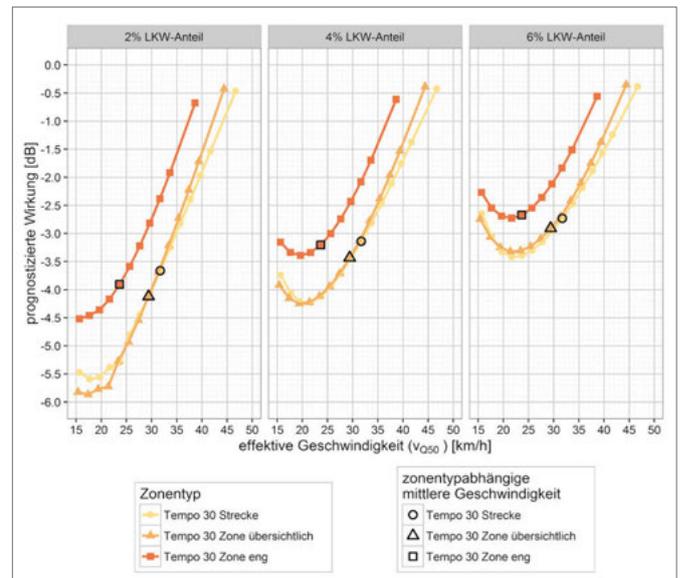
Enfin, la pose d'un nouveau revêtement plus silencieux permet d'accroître l'impact acoustique de la réduction de vitesse. Afin de pouvoir estimer l'efficacité des revêtements silencieux dans le domaine des basses vitesses, la figure 6 montre l'impact supplémentaire obtenu en comparaison avec un revêtement acoustiquement neutre, ceci pour un trafic comprenant une part de 2, 4 et 6% de camions et pour quatre classes de revêtements sélectionnées. Les classes de revêtement sont indiquées par des valeurs caractéristiques s'écartant du modèle d'émission StL86+, et elles se rapportent à chaque fois à la valeur du trafic mixte avec une proportion de 8% de véhicules lourds (N2).

Bei den 30 km/h-Streckenabschnitten und den freien 30 km/h-Zonen sind die akustischen Auswirkungen am stärksten im Vergleich mit der Anfangssituation mit einer Begrenzung auf 50 km/h, mit einem Lärminderungspotenzial von -4,1 dB (Lastwagenanteil 2%), -3,4 dB (Lastwagenanteil 4%) und -2,9 dB (Lastwagenanteil 6%). Bei den schmalen 30 km/h-Zonen sind wegen Störungen des Fahrverhaltens aufgrund des Vorhandenseins von Hindernissen bei gleicher Geschwindigkeit geringere Auswirkungen in Höhe von etwa 1 bis 1,5 dB zu erwarten.

Abschliessend sei erwähnt, dass die Verlegung eines neuen leiseren Belags eine Steigerung der akustischen Auswirkungen der Geschwindigkeitsabsenkung gestattet. Um die Wirksamkeit von lärmarmen Belägen bei niedrigen Geschwindigkeiten schätzen zu können, zeigt die Abbildung 6 die zusätzlichen Auswirkungen, die man im Vergleich zu einem akustisch neutralen Belag erhält, und zwar für einen Verkehr mit einem Lastwagenanteil von 2, 4 und 6% und für vier ausgewählte Belagklassen. Die Belagklassen sind durch Kennwerte angegeben, die vom Emissionsmodell StL86+ abweichen, und beziehen sich in allen Fällen auf den Wert des gemischten Verkehrs mit einem Schwerfahrzeuganteil von 8% (N2).

Fazit: beträchtliche Lärminderung und höhere Zuverlässigkeit der akustischen Auswirkungen

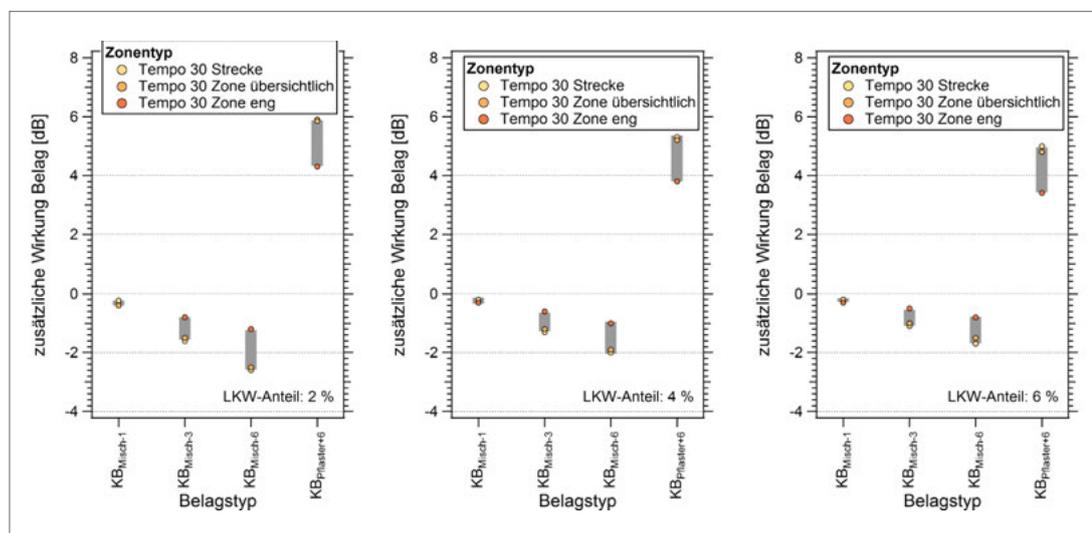
Zur Optimierung der Lärminderung in Zonen mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h konnten mit dieser Studie drei Grundinformationen gewonnen werden. Erstens gestattet eine freie 30km/h-Zone oder ein 30km/h-Streckenabschnitt schon eine beträchtliche Geschwindigkeitsverringern. Zweitens ist es sinnvoll, einen guten Verkehrsfluss unter Vermeidung von unnötigen Anpassungen der Fahrbahn sicherzustellen, durch die laute Beschleunigungs- und Verlangsamungsphasen entstehen. Drittens verringert eine freie 30km/h-Zone «sportliche» oder «aggressive» Beschleunigungsvorgänge, die eine Lärmzunahme bewirken. Ausserdem können die Auswirkungen der effektiven gefahrenen Geschwindigkeit, des Lastwagenanteils und des vorhandenen Belags berücksichtigt werden, um eine zuverlässigere Schätzung der akustischen Auswirkungen der Geschwindigkeitsbegrenzung auf 30 km/h als mit den bislang verfügbaren Modellen zu erzielen (Beispiele siehe Box Seite 40).



5 | Prognostizierte Wirkung in dB bei Temporeduktion nach LKW Anteil.
5 | Impact acoustique pronostiqué de la réduction de la en dB selon la proportion de camions.

Conclusion : Réduction substantielle du bruit et impact acoustique plus fiable

Afin d'optimiser la réduction de bruit dans une zone à 30 km/h, cette étude a permis de mettre en évidence trois informations de base. Tout d'abord une zone 30 km/h dégagée ou un tronçon à 30 km/h permettent déjà de diminuer significativement la vitesse. Ensuite, il est utile d'assurer la fluidité du trafic en évitant des aménagements inutiles sur la chaussée créant des épisodes d'accélération et de décélération bruyants. Finalement une zone 30 km/h dégagée réduit les événements d'accélération du type «sportif» ou «agressif» qui sont des facteurs augmentant le bruit. A cela s'ajoutent les effets de la vitesse effective, de la proportion de camions et du revêtement en place pour arriver à une estimation plus fiable de l'impact acoustique de la limitation de la vitesse à 30 km/h par rapport aux modèles disponibles jusqu'ici (exemple voir Box p. 40).



6 | Zusätzlich zu erwartende lärmreduzierende Wirkung bei verschiedenen Belägen mit unterschiedlichen Belagkennwerten (KB) und einem LKW-Anteil von 2, 4 und 6%.

6 | Impact acoustique supplémentaire prévisible pour plusieurs revêtements possédant différents valeurs caractéristique (KB), avec une proportion de camions de 2, 4 et 6%.

Silent Outlooks

by Gregory Collavini

Leise Perspektiven – Perspectives silencieuses

Auf den ersten Blick ist das Fotografieren von Lärmschutzwänden eine Tätigkeit, die darin besteht, mithilfe von Bildern Assoziationen zu Lärm zu wecken. Wie jedoch Valérie Roten in ihrem Einführungstext zur Arbeit von Gregory Collavini betont, ist dieses scheinbare Paradox vor allem sehr fruchtbar: «Die Kraft der Serie Silent Outlooks orientiert sich an der Beziehung zwischen den Lärmschutzwänden und der Landschaft, an dieser (Poesie der Gegensätze), die sie vermittelt. Diese Zweideutigkeit, dieses Paradox nimmt hier einen grossen Platz ein. Es ist eine Art diese (laute Stille) beim Betrachten dieser Bilder zu spüren. Der Gegenstand Mauer mit seiner starken Symbolik. Die Reinheit der Struktur, die aber zugleich das Zuviel, die Sättigung in Szene setzt. Leben und durchqueren. Leben im anonymen Lebensraum der Autobahn.»

Das subtile Spiel zwischen Optik und Akustik, das der Freiburger Fotograf kreiert, wird ausserdem von der ebenso treffenden wie unerwarteten Wahl betont, als Legende die Lautstärke zu verwenden, die am Ort der Fotoaufnahmen gemessen wurde: Dies ist eine neue Art und Weise, Orte im akustischen Raum zu platzieren, der von den Autobahnen geschaffen wird, oder eine Art der Hierarchie zwischen den unterschiedlichen Stimmungen herzustellen.

Ergänzend zu ihren plastischen Eigenschaften unterstreicht die Arbeit die verschiedenen Arten, in denen Lärmschutzwände die Landschaft umgestalten, indem sie nicht nur akustische Hindernisse schaffen, sondern auch den Raum auf der Grundlage von technischen Anforderungen zeichnen und zerschneiden. Der Platz, den die Wände selbst in jedem Foto einnehmen, ist sehr variabel: In einigen Fällen strukturiert ihr Vorhandensein in intensiver Weise die formelle Komposition des Bildes, in anderen Fällen verschmelzen sie in natürlichen oder künstlichen Elementen, die ihnen dann als Rahmen dienen. Roten: «Seine Bilder stellen unserer Sichtweise Fragen. Sie erkunden unsere Fähigkeit zu vergessen, was sich vor unseren Augen abspielt.» Dadurch entsteht als Echo eine andere Infragestellung, die wir dem ständigen Lärm, der uns umgibt, entgegenbringen müssten, den wir aber letztendlich nicht mehr bemerken.

Als Fazit ist festzuhalten, dass wir, ohne dass uns dies bewusst ist, in einer künstlichen Welt leben, in der ein erheblicher Mangel an leisen Perspektiven besteht.

Jacques Perret

Silent Outlooks (Perspectives silencieuses, Leise Perspektiven, Texte in französischer, englischer und deutscher Sprache), Gregory Collavini, Ed. Favre, 2016, ISBN 978-2-8289-1520-9
www.gregorycollavini.com

A première vue, photographier des murs antibruit revient à se servir d'images pour évoquer des sons. Toutefois, comme le souligne Valérie Roten dans son texte d'introduction du travail de Gregory Collavini, ce paradoxe apparent est surtout très fertile: «La puissance de la série Silent Outlooks tient à la relation que les murs antibruit entretiennent avec le paysage, à cette (poésie des contrastes) qui s'en dégage. L'ambiguïté, le paradoxe y tiennent une place importante. Il y a ce (bruyant silence) des images. L'objet mur avec sa symbolique forte. L'épure des compositions qui, pourtant, mettent en scène l'excès, la saturation. Vivre et traverser. Habiter l'espace anonyme de l'autoroute.»

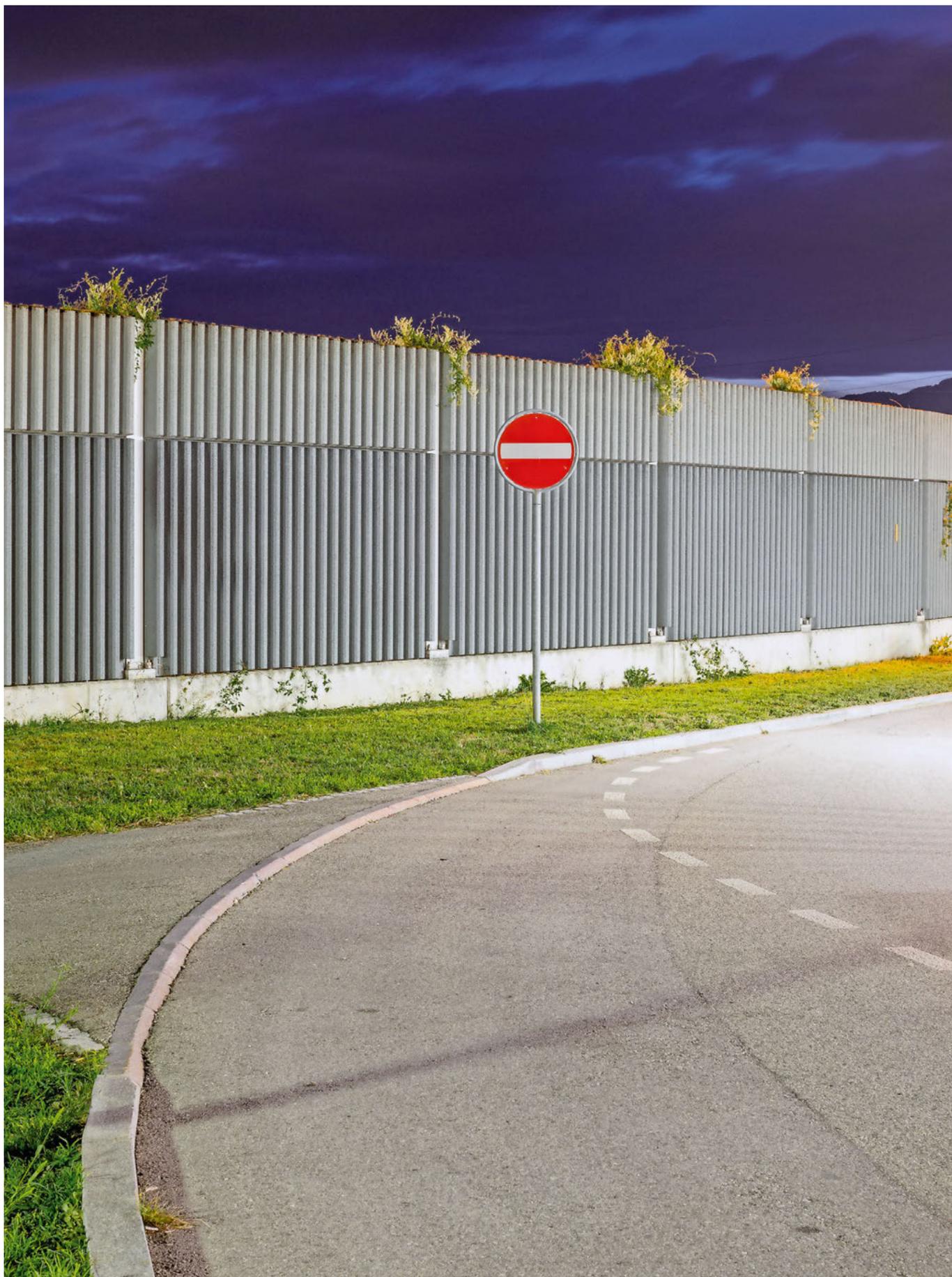
Le jeu subtil entre la vue et le son que crée le photographe fribourgeois est en outre accentué par le choix aussi pertinent qu'inattendu d'utiliser comme légende le volume sonore enregistré sur le lieu même des prises de vue: une manière inédite de situer les lieux dans l'espace sonore généré par les autoroutes, ou encore de créer une forme de hiérarchie entre des atmosphères distinctes.

Ensuite, au-delà de ses qualités plastiques, le travail réalisé autour des murs antibruit souligne les diverses façons dont ils transforment le paysage, en créant non seulement des obstacles sonores, mais aussi en découpant et en dessinant l'espace sur la base d'exigences techniques. La place occupée dans chaque photo par les parois elles-mêmes est très variable: dans certains cas, leurs présences structurent intensément la composition formelle de l'image, dans d'autres, elles se fondent au sein d'éléments naturels ou artificiels qui leur servent alors de cadre. Comme le dit encore Valérie Roten, «ses images questionnent notre regard. Elles interrogent notre capacité à oublier ce que nous avons sous les yeux». Générant en écho un autre questionnement que nous devrions avoir vis-à-vis du bruit perpétuel qui nous entoure, mais que nous finissons par ne plus remarquer.

Avec comme conclusion que, sans plus nous en rendre compte, nous vivons dans un monde artificiel manquant singulièrement de perspectives silencieuses.

Jacques Perret

Silent Outlooks (Perspectives silencieuses, Leise Perspektiven, textes en français, anglais et allemand), Gregory Collavini, Ed. Favre, 2016, ISBN 978-2-8289-1520-9
www.gregorycollavini.com



60 dB Die Lautstärke, die am Ort der Fotoaufnahme gemessen wurde (Foto: Gregory Collavini).
Volume sonore enregistré sur le lieu même de la prise de vue (photo: Gregory Collavini).

51 dB

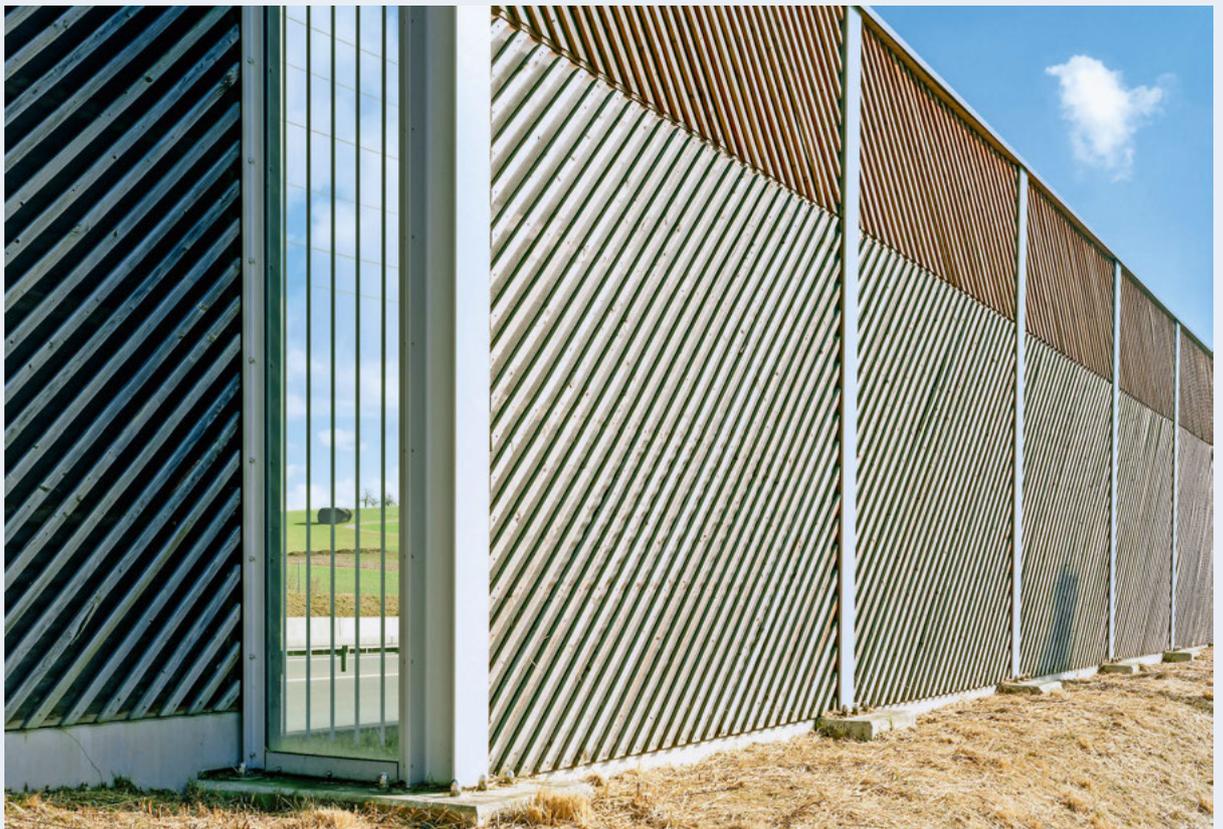


71 dB





54 dB



55 dB

Akustische Dauerhaftigkeit lärmarmer Beläge – Entwicklung eines Prognoseverfahrens

Durabilité acoustique des revêtements peu bruyants – développement d'un processus de prévision

Untersuchungen zeigten, dass die akustische Dauerhaftigkeit eines lärmarmeren Belags vor allem von der Verkehrsbelastung abhängt und weniger von dessen Alter. Bis jetzt ist es nicht möglich, die akustische Dauerhaftigkeit eines lärmarmeren Belags zu prognostizieren. Es müssen dafür Teststrecken gebaut und mit einem aufwendigen Lärmmonitoring überwacht werden, was sehr zeit- und kostenintensiv ist. Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit war es, ein bereits entwickeltes Laborprüfgerät zu validieren, mit welchem die Bestimmung der akustischen Dauerhaftigkeit innerhalb weniger Monate angestrebt wird. Das Rollgeräusch wird dabei mit dem Berechnungsmodell SPERoN ermittelt. Es wurde die akustische Dauerhaftigkeit zweier semi-dichter Mischgutsorten SDA 4 C und SDA 8 B ermittelt und mit in-situ-Messungen verglichen. Es zeigte sich, dass im Labor grundsätzlich die gleiche Entwicklung der akustischen Eigenschaften wie in der Praxis zu beobachten ist. Allerdings entsprachen die erzielten akustischen Veränderungen nicht ganz den ursprünglichen Erwartungen. Zudem war eine sehr hohe Anzahl von Belastungszyklen erforderlich. Der erzielte Zeitraffer-Effekt ist noch zu gering und muss durch weitere Entwicklungen optimiert werden.

Des études ont montré que la durabilité acoustique d'un revêtement peu bruyant dépendait plus de l'intensité du trafic que de son âge. Actuellement, il n'est pas possible de prévoir la durabilité acoustique d'un revêtement peu bruyant. Autrement qu'en construisant des planches d'essai qui nécessitent un monitoring du bruit onéreux sur des périodes relativement longues. L'objectif du présent travail de recherche était de valider un dispositif de contrôle en laboratoire existant déjà qui permette de déterminer la durabilité acoustique en quelques mois. Le bruit de roulement a été déterminé ici avec le modèle de calcul SPERoN. La durabilité acoustique de deux types d'enrobé semi-dense SDA 4 C et SDA 8 B a été évaluée et comparée aux mesures faites in situ. On a observé que dans le laboratoire, le développement des propriétés acoustiques était similaire à celui observé dans la pratique. Toutefois, les modifications acoustiques obtenues ne correspondaient pas totalement aux attentes initiales. De plus, un très grand nombre de cycles de charge ont été nécessaires. L'effet en accéléré obtenu est encore trop faible et doit être optimisé par d'autres développements.

Lärmmindernde Beläge, verlieren leider oft innert weniger Jahre ihre akustischen Eigenschaften. Als Ursache für diesen Verlust werden Veränderungen in der Poren- und Oberflächentextur gesehen. Um möglichst dauerhafte Beläge zu erstellen, ist eine gezielte Optimierung der Mischgut-Rezeptur unumgänglich. Eine solche Optimierung ist auf eine fein modulierbare Laborprüfung angewiesen, mit welcher die akustische Dauerhaftigkeit untersucht werden kann. Das vorliegende Forschungsprojekt^[1] soll eine bereits im Prototyp entwickelte Prüfmaschine anwenden und optimieren. Gelingt es, relevante Aussagen zur akustischen Dauerhaftigkeit zu ermitteln, kann die Entwicklung lärmarmen Beläge wesentlich beschleunigt werden, denn der Einbau von Erprobungsstrecken ist sehr aufwendig und zeitraubend. In vorangegangenen Forschungsarbeiten^[2] zeigte sich, dass die akustische Dauerhaftigkeit in erste Linie von der Anzahl der Überrollungen (Verkehrbelastung) abhängt und nicht von deren Alter (Abb. 1).



VON
DR. CHRISTIAN ANGST
IMP Bautest AG



VON
DR. PHILIP BÜRGISSER
IMP Bautest AG

Malheureusement, les revêtements susceptibles de réduire le bruit perdent bien souvent leurs propriétés acoustiques en quelques années. Cette rapide perte s'explique par les modifica-

tions intervenant dans les pores et la texture de la surface. Une optimisation ciblée des formules est indispensable pour obtenir des revêtements durant le plus longtemps possible. Une telle optimisation exige de disposer d'un essai en laboratoire pouvant être contrôlé avec précision pour permettre d'examiner la durabilité acoustique. Le présent projet de recherche^[1] a pour objectif d'optimiser l'utilisation d'un appareil d'essai déjà développé en prototype. Si l'on réussit à déterminer des résultats pertinents sur la durabilité acoustique, il sera possible d'accélérer substantiellement le développement de revêtements peu bruyants car la réalisation de planches d'essai est très onéreuse et demande beaucoup de temps.

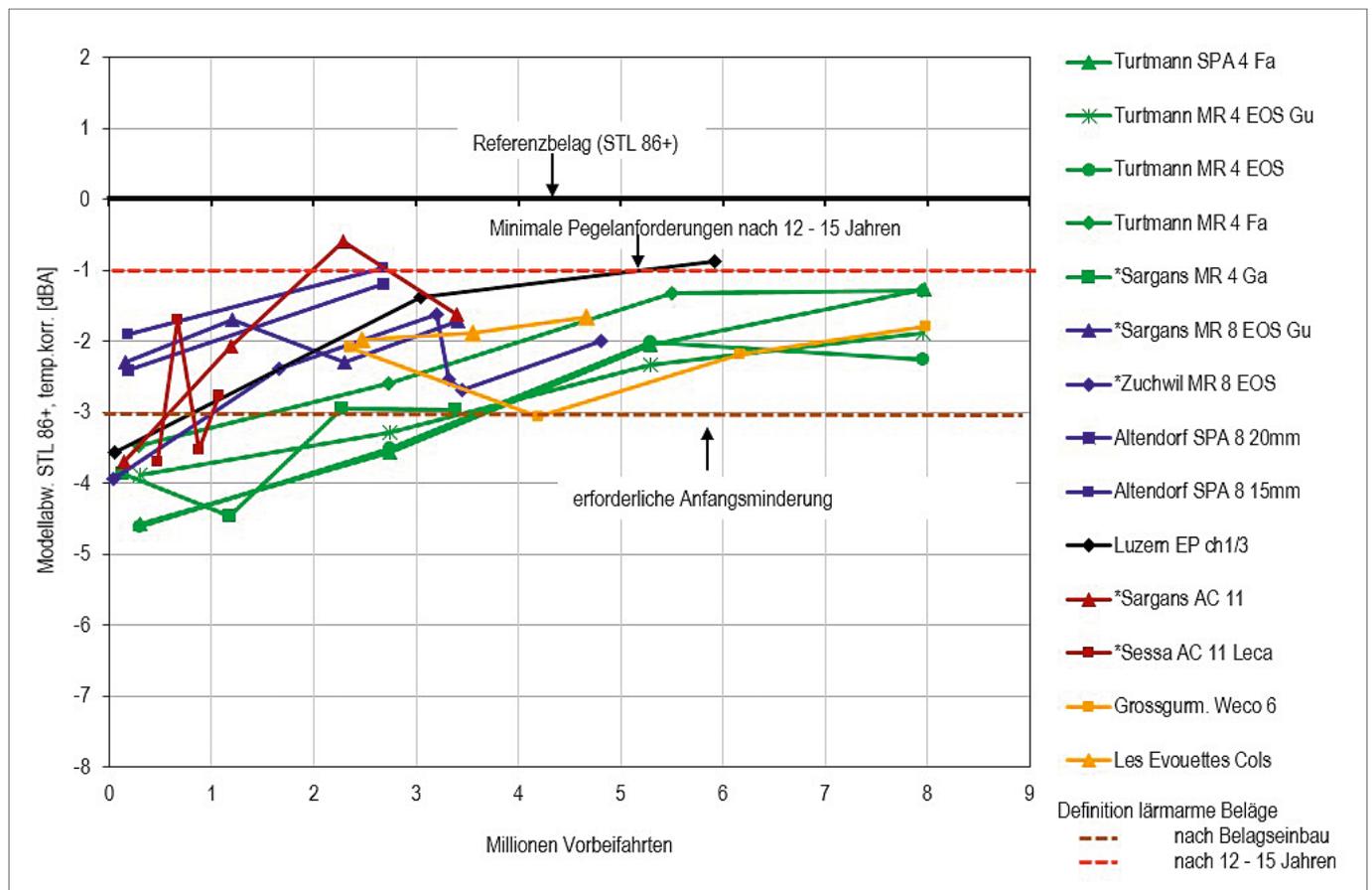
Des travaux de recherche précédents^[2] ont montré que la durabilité acoustique dépendait en première ligne du nombre de passages (intensité du trafic) et non pas de leur ancienneté (fig. 1).

Grundkonzept des IMPACT

Der Prüfstand IMPACT (Abb. 2) beansprucht im Labor hergestellte Prüfkörper durch ein rollendes Rad mit präzise einstell-

Concept de base d'IMPACT

La machine IMPACT (fig. 2) sollicite des éprouvettes fabriquées en laboratoire avec une roue ayant un taux de glissement



1 | Akustische Belagsgüte der SDA-Teststrecken in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung.
1 | Qualité acoustique du revêtement des planches d'essai SDA en fonction de l'intensité du trafic.



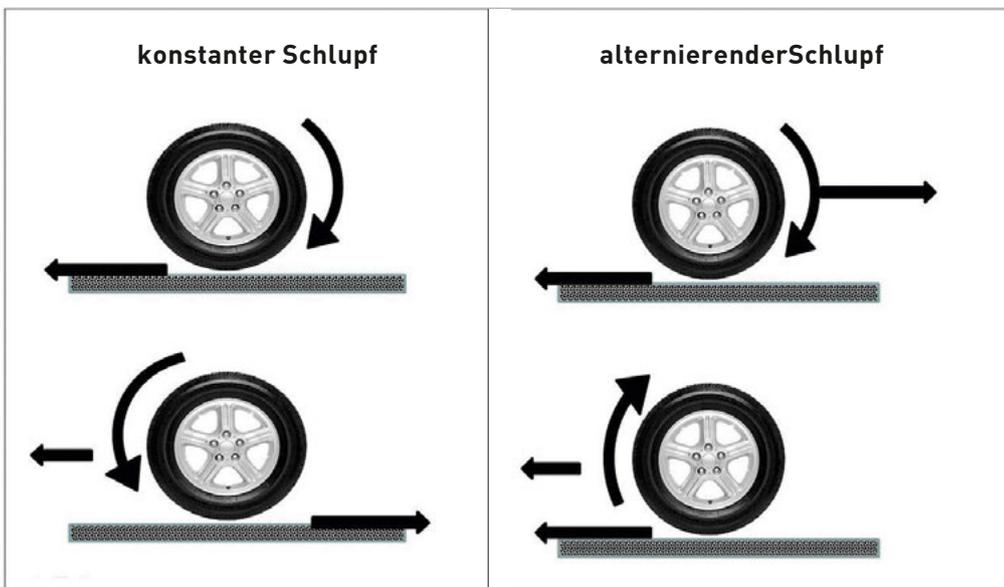
2 | Prüfmachine IMPACT III.
2 | La machine IMPACT III.

barem Schlupf. Der Prüfstand ist durch folgende Eckwerte charakterisiert:

- Temperatur (Oberfläche): 25°C–50°C
- Belastung: PW-Reifen mit einer Auflast von 4000 N.
- Schlupf: Der Schlupf kann zwischen +5% (Beschleunigung) und –5% (Bremsen) stufenlos eingestellt werden. Zur Sicherstellung, dass die aus dem Schlupf resultierenden horizontalen Schubkräfte immer in die gleiche Richtung wirken, wird der Schlupf bei jeder Überrollung umgekehrt (Abb. 3).
- Rollgeschwindigkeit: 0,94 m/s. (~3,4 km/h)
- Reifen: Spezialreifen mit erhöhtem Anteil an Silica-Staub und einer sehr harten Gummimischung
- Länge der Prüfkörper: 1000 mm

réglable. Elle est caractérisée par les valeurs de référence suivantes:

- Température (surface): 25°C–50°C
- Charge: pneus de véhicule particulier avec une charge jusqu'à 4000 N
- Taux de glissement: le taux de glissement peut être réglé en continu entre +5% (accélération) et –5% (freinage). Pour garantir que les forces horizontales résultant du glissement agissent constamment dans le même sens, celui-ci est inversé à chaque passage (fig. 3).
- Vitesse de passage: 0,94 m/s. (~3,4 km/h)
- Pneumatiques: spéciaux, avec part accrue de poussière de silice et un mélange de caoutchouc très dur
- Longueur des éprouvettes: 1000 mm



3 | Prinzip der Steuerung des Schlupfs. Rechts: beim Wechsel der Laufrichtung wird auch die Richtung des Schlupfs gewechselt. Links: konstanter Schlupf.
3 | Principe du pilotage du taux de glissement Droite: lors du changement du sens de la marche, le sens du taux de glissement change également. Gauche: taux de glissement constant

Prüfmethode

Prüfparameter

Im Rahmen einer Parameter-Studie wurden die einzelnen Parameter evaluiert und wie folgt festgelegt:

- Radlast: 4000 N
- Pneu-Druck: 2,3 bar
- Schlupf: 3 % (synchron zur Bewegungsrichtung)
- Oberflächentemperatur: 35 °C

Messverfahren zur Beurteilung der Oberflächeneigenschaften

Die Veränderungen der Oberflächeneigenschaften wurden mit folgenden Kenngrößen evaluiert:

- Luftströmungswiderstand gemäss ISO 9053

Méthode d'essai

Paramètres d'essai

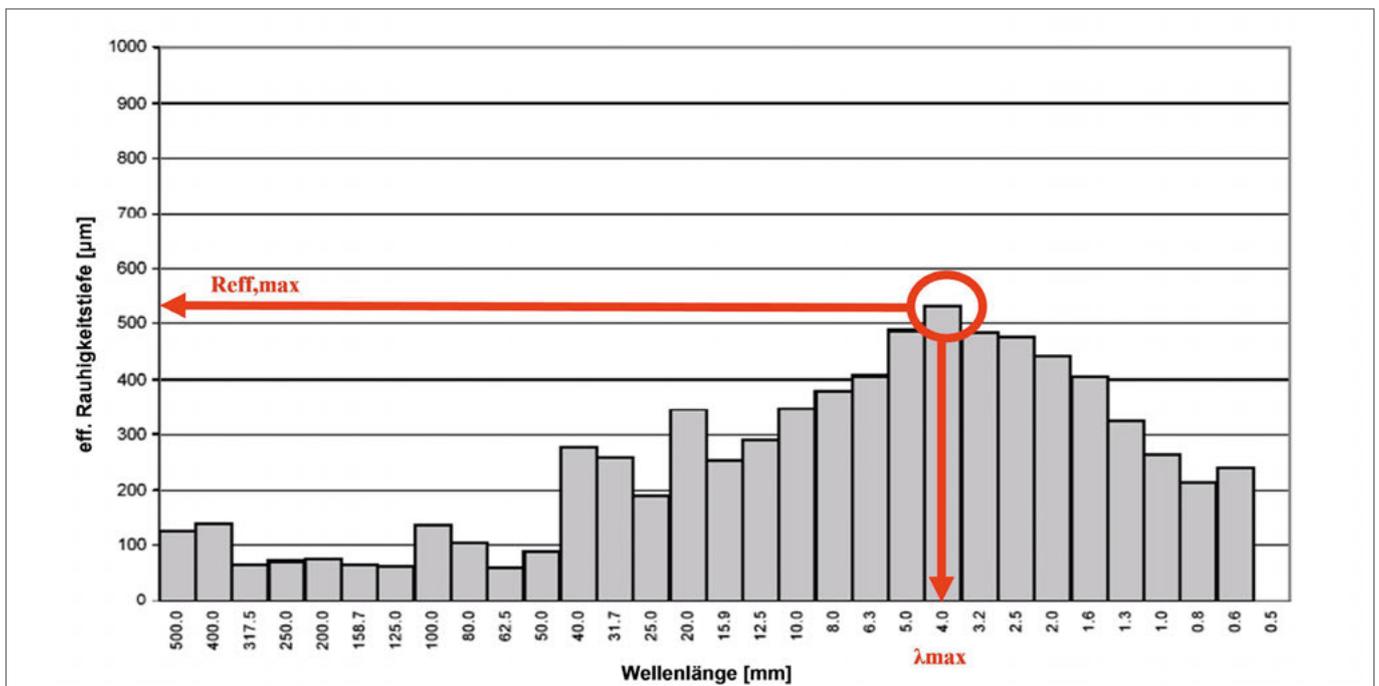
Les différents paramètres ont été fixés comme suit au terme d'une étude paramétrique:

- Charge de roue: 4000 N
- Pression de pneumatique: 2,3 bars
- Taux de glissement: 3 % (synchronisé par rapport au sens du mouvement)
- Température de surface: 35 °C

Evaluation des propriétés de surface

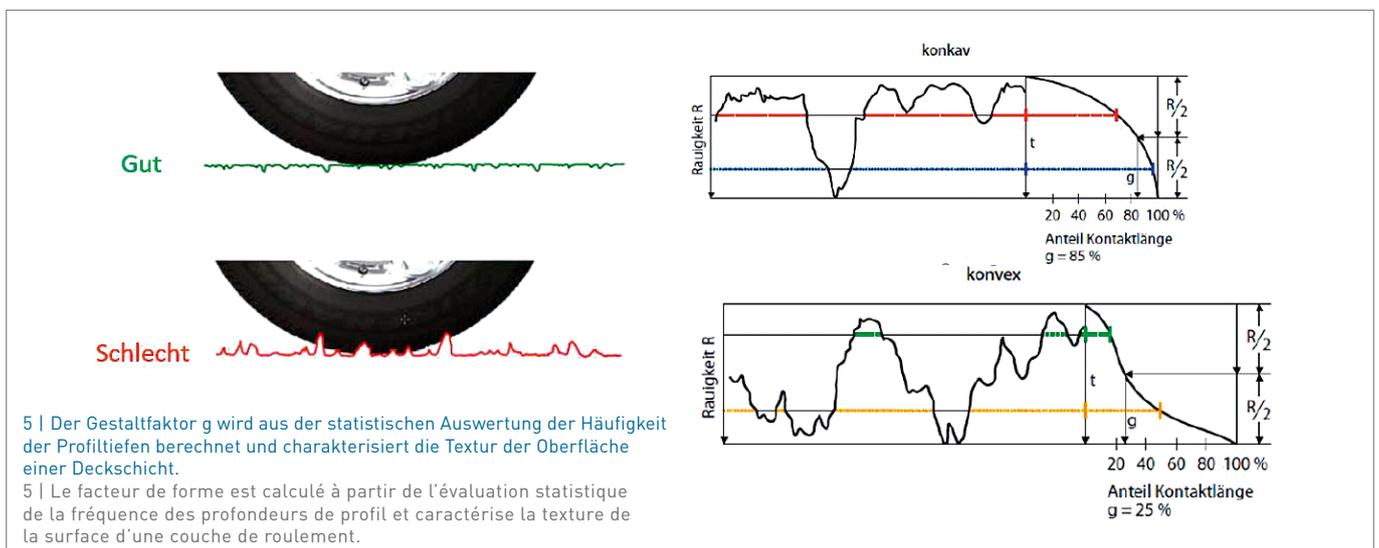
Les modifications des propriétés de surface ont été évaluées avec les grandeurs suivantes:

- Résistance à l'écoulement d'air selon ISO 9053



4 | Halblogarithmische Darstellung eines Texturspektrums mit Einteilung der Wellenlängen in Terzbänder, die Amplitude wird als Rauigkeitstiefe ($R_{\text{eff,max}}$) bezeichnet.

4 | Représentation semi-logarithmique d'un spectre de textures avec graduation des longueurs d'onde en tiers d'octave, l'amplitude est désignée comme profondeur de rugosité ($R_{\text{eff,max}}$).



5 | Der Gestaltfaktor g wird aus der statistischen Auswertung der Häufigkeit der Profiltiefen berechnet und charakterisiert die Textur der Oberfläche einer Deckschicht.

5 | Le facteur de forme est calculé à partir de l'évaluation statistique de la fréquence des profondeurs de profil et caractérise la texture de la surface d'une couche de roulement.

- mittlere Profiltiefe ISO 13473-1
- Lasertexturmessungen mit Spektralanalyse^[3] (Abb. 4)
- Gestaltfaktor g: konkave Formen (Plateau mit Täler) gelten als lärmarm (Abb. 5)
- Berechnung des Rollgeräuschs mittels SPERoN-Programm^[4].

Prüfkörper-Vorbereitung

Die Prüfkörper wurden mit dem Walzsegmentverdichter gemäss SN 670 433 verdichtet. Somit können Oberflächeneigenschaften erzeugt werden, welche denjenigen entsprechen, die auf Baustellen erzielt werden (Abb. 6).

Mischgut	SDA 8 B		SDA 4 C	
	IMPACT	in-situ	IMPACT	in-situ
MPD [mm]	0,90	0,76	0,60	1,05
g [%]	80,0	87,7	81	82,4
λ_{\max} [mm]	12,5	12,5	8,0	6,3
$R_{\text{eff,max}}$ [μm]	214	202	107	130

6 | Vergleich der Texturkennwerte der IMPACT Platten mit in-situ Messungen.
6 | Comparaison des valeurs caractéristiques de texture des plaques IMPACT avec mesures in situ.

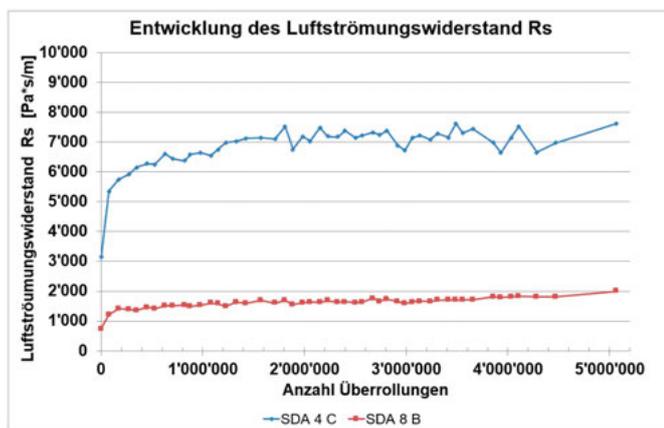
Langzeitversuche

Es wurden die in Abbildung 7 dargestellten Mischgutsorten des Typs SDA verwendet und mit 5 Mio. Überrollungen belastet. Die Bezeichnung der Mischgutsorten basiert auf der «alten» SNR 640 436, wie dies im Projekt der Fall war.

Ergebnisse

Entwicklung des Luftströmungswiderstands

Erfahrungsgemäss ist der Luftströmungswiderstand bei feinen Mischgutsorten grösser als bei gröberen, was auch im IMPACT in der Abbildung 8 festgestellt wurde. Die Zunahme des Luftströmungswiderstandes in Abhängigkeit der Anzahl Überrollungen deckt sich mit den Beobachtungen verschiedener Teststrecken^[5].



8 | Luftströmungswiderstand der Prüfplatten in Abhängigkeit der Anzahl Überrollungen.
8 | Résistance à l'écoulement d'air des plaques d'essai en fonction du nombre de passages.

- Profondeur moyenne de profil selon ISO 13473-1
- Mesures de texture au laser avec analyse spectrale^[3] (fig. 4)
- Facteur de forme g: les formes concaves (plateau avec vallées) sont considérées comme peu bruyantes (fig. 5)
- Calcul du bruit de contact pneumatique/chaussée avec le programme SPERoN^[4].

Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes sont compactées par le compactage utilisant un rouleau en acier (SN 670 433). Ainsi, il est possible de générer des propriétés de surface correspondant à celles obtenues sur les chantiers (fig. 6).

Essais à long terme

Deux enrobés de type SDA (fig. 7) ont été sollicités par 5 millions de charges. La désignation des types d'enrobé se base sur l'«ancienne» SNR 640 436 en vigueur au moment du projet.

Mischgut	Mischgut		Eingebaute Schicht		
	Lös. Bindemittelgehalt [M.-%]	Hohlraumgehalt Marshall [Vol.-%]	Schichtdicke [mm]	Hohlraumgehalt BK [Vol.-%]	Verdichtungsgrad [Vol.-%]
SDA 8 B	6,17	10,0	32	13,5	98,9
SDA 4 C	6,02	19,4	35	18,2	101,0

7 | Kennwerte der beiden verwendeten Mischgutsorten.
7 | Valeurs caractéristiques des deux types d'enrobé utilisés.

Résultats

Evolution de la résistance à l'écoulement de l'air

L'expérience a montré que la résistance à l'écoulement de l'air est supérieure pour les types d'enrobé fin que pour les types gros, ce que IMPACT a également constaté (fig. 8). L'augmentation de la résistance à l'écoulement de l'air en fonction du nombre de passages coïncide avec les observations faites sur différentes planches d'essai^[5].

Evolution du facteur de forme

Le facteur de forme initial des deux éprouvettes était de l'ordre de 80 %. Ce taux relativement élevé est caractéristique de surfaces acoustiquement efficaces. Pour le type SDA 8 B, le facteur de forme est resté plus ou moins constant jusqu'à env. 4 millions de passages pour ensuite baisser relativement vite, à la suite d'arrachements de grains (fig. 9). D'une façon générale, le comportement des deux SDA sur IMPACT correspond à celui observé dans le monitoring du TP3^[5].

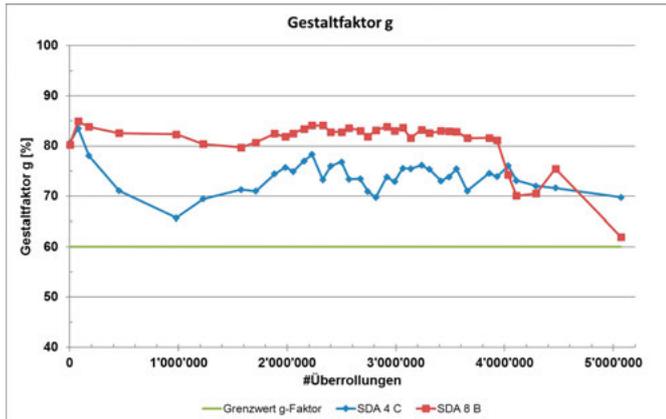
Evolution de la texture

Sandberg^[3] a montré que, sous l'effet du trafic, la profondeur de rugosité effective $R_{\text{eff,max}}$ diminuait alors que la longueur d'onde maximale λ_{\max} correspondante augmentait. Sandberg se basait ici sur le principe de modifications continues de la surface et ne tenait compte de l'apparition subite d'arrachements.

Entwicklung des Gestaltfaktors

Der Gestaltungsfaktor beider Proben liegt zu Beginn der Belastung in einer Größenordnung von 80%. Dieser Wert ist relativ hoch und weist auf akustisch vorteilhafte Oberflächen hin. Beim SDA 8 B blieb der Gestaltfaktor bis ca. 4 Mio. Überrollungen mehr oder weniger konstant, um dann relativ rasch abzufallen, was auf Kornausbrüche zurückzuführen ist (Abb. 9).

Das Verhalten der beiden SDA-Mischgutsorten im IMPACT-Prüfstand entspricht grundsätzlich demjenigen, wie er im Langzeitmonitoring des TP3^[5] festgestellt wurde.



9 | Gestaltfaktor g in Abhängigkeit der Überrollungen; ein Wert > 60% gilt als akustisch günstig.

9 | Facteur de forme g en fonction des passages; une valeur > 60% est considérée comme favorable au niveau acoustique.

Entwicklung der Textur

Sandberg^[3] konnte nachweisen, dass infolge der Verkehrsbelastung die effektive Rautiefe $R_{\text{eff,max}}$ abnimmt, während die zugehörige maximale Wellenlänge λ_{max} zunimmt. Sandberg ging dabei von kontinuierlichen Veränderungen der Oberfläche aus und berücksichtigte das Auftreten von Kornausbrüchen nicht.

Die Rauhtiefe $R_{\text{eff,max}}$ nahm beim SDA 8 B bis zu 1,7 Mio. Überrollungen ab, um dann markant wieder zuzunehmen (Abb. 10). Dieser erneute Anstieg ist auf Kornausbrüche zurückzuführen (Abb. 11). Bei der Probepalette mit SDA 4 C war nur ein markanter Abfall der Rauhtieftiefe bis ca. 100 000 Überrollungen zu beobachten; danach pendelte sich der Wert bei ca. 70 μm ein.

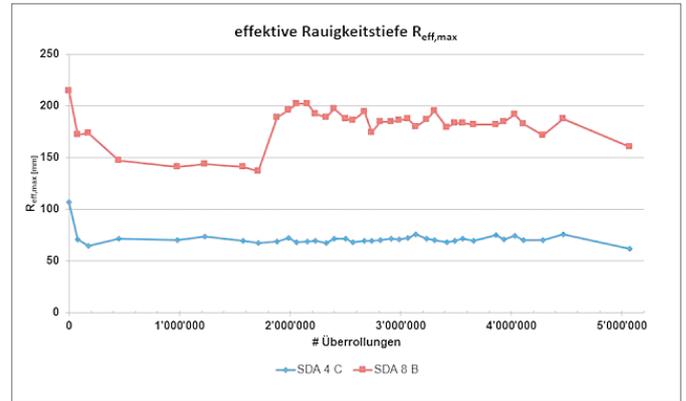
Modellierung des Rollgeräusches

Das Rollgeräusch wurde anhand der SPERoN Software mit einer Präzision von $\pm 0.5 \text{ dB[A]}$ berechnet.

Für den SDA 8 B (Abb. 11) konnte ein statistisch relevanter Unterschied von 2 dB[A] festgestellt werden. Beim SDA 4 C liegt die berechnete Pegeldifferenz im Bereich der Präzision der Methode.

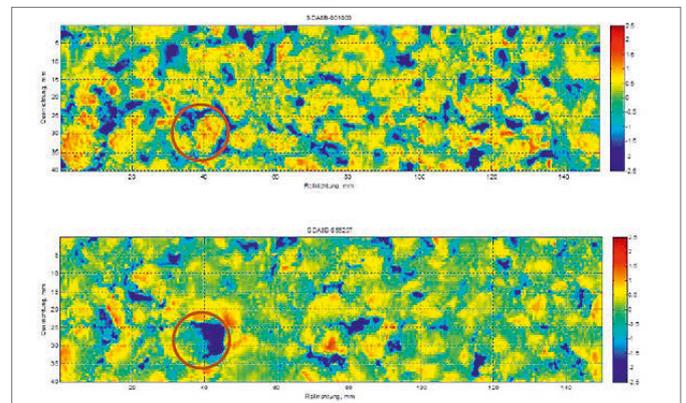
Synthese

Die gewählte Verdichtungsmethode zur Herstellung der Prüfkörper (Walzsegmentverdichter) ergab ähnliche Oberflächeneigenschaften, wie sie bei Verdichtungen auf der Baustelle erreicht werden.



10 | Entwicklung der effektiven Rauhtieftiefe $R_{\text{eff,max}}$ in Abhängigkeit der Überrollungen.

10 | Développement de la profondeur effective de rugosité $R_{\text{eff,max}}$ en fonction des passages.



11 | 3D-Visualisierung des Kornausbruchs beim SDA 8 B. Der markierte Bereich ist bei 1700 Überrollungen mehrheitlich gelb (= Erhöhung), nach 1750000 Überrollungen mehrheitlich blau (= Vertiefung), d.h. es ist ein Kornausbruch entstanden.

11 | Visualisation 3D de l'arrachement de grains pour le type SDA 8 A. La zone marquée est pour 1700 passages en majorité en jaune (= augmentation), après 1750 000 passages en majorité en bleu (= abaissement), c'est-à-dire un arrachement de grains a eu lieu.

La profondeur de rugosité $R_{\text{eff,max}}$ a diminué pour le SDA 8 B jusqu'à 1,7 million de passage et a de nouveau augmenté de façon notable (fig. 10). Cette augmentation est due aux arrachements de grains (fig. 11). Avec la plaque d'essai SDA 4 C, on a observé qu'une baisse sensible de la profondeur de rugosité jusqu'à env. 100 000 passages; ensuite, la valeur se situait à env. 70 μm .

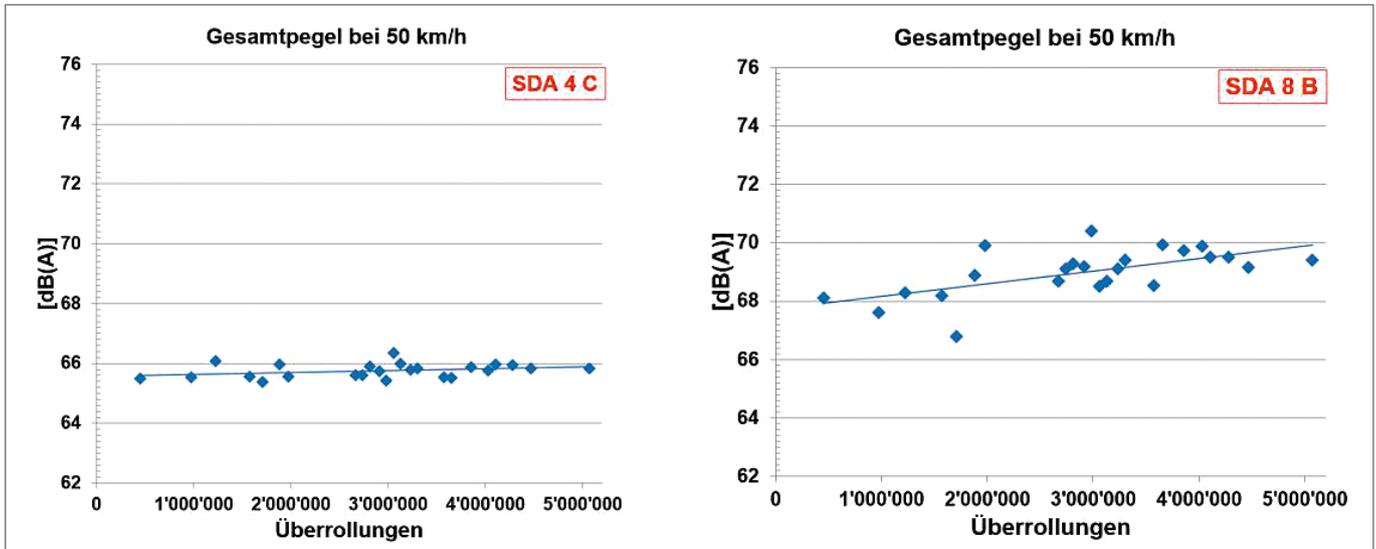
Modélisation du bruit de contact pneumatique/chaussée

Le bruit de contact pneumatique/chaussée a été calculé à l'aide du logiciel SPERoN, dont la précision est de $\pm 0.5 \text{ dB[A]}$.

Pour le SDA 8 D (fig. 11), une différence statistiquement significative de 2 dB[A] a été constatée. Pour le SDA 4 C, la différence calculée correspond à la marge de précision de la méthode.

Synthese

La fabrication des éprouvettes avec le compacteur utilisant un rouleau en acier à plaque a donné des propriétés de surface similaires à celles obtenues lors des compactages sur le chantier.



12 | Entwicklung des Gesamtpegels in Abhängigkeit der Anzahl Überrollungen.
12 | Développement du niveau global en fonction du nombre de passages.

Der Prüfstand IMPACT erzeugt vergleichbare Veränderungen der Eigenschaften, wie sie in der Praxis festgestellt werden. Die Unterschiede konnten durch den Gestaltfaktor, die maximale Rautiefe R_{eff} , die Spektralanalyse λ_{max} sowie den Luftströmungswiderstand und die mittels SPERoN geschätzten Rollgeräusche festgestellt werden.

Beim SDA 8 B konnte eine statistisch relevante Veränderung der akustischen Eigenschaften nachgewiesen werden; beim SDA 4 C blieb die Veränderung innerhalb der Prüffehlertoleranz.

Die ursprünglich erhofften Veränderungen der Oberflächeneigenschaften konnten zwar festgestellt werden, jedoch ist klar festzuhalten, dass der Zeitraffer-Effekt (Faktor 4) noch unbefriedigend ist. Die erforderliche Anzahl Überrollungen ist zurzeit noch deutlich zu hoch.

Gemäss Folgerungen der Begleitkommission sind weitere Untersuchungen erforderlich, in welchen die Prüfparameter weiter zu optimieren sind, um das Verfahren deutlich zu beschleunigen.

IMPACT génère des modifications des propriétés similaires à celles observées dans la pratique. Les différences ont pu être constatées par le facteur de forme, la profondeur de rugosité maximale R_{eff} , l'analyse spectrale λ_{max} ainsi que la résistance à l'écoulement de l'air et le bruit de contact pneumatique/chaussée évalué avec SPERoN.

Une modification significative des propriétés acoustiques a pu être observée sur le SDA 8 B, mais pas sur le SDA 4 C, pour lequel la modification est restée dans la tolérance d'erreur d'essai.

Les modifications espérées des propriétés de surface des éprouvettes ont certes été observées, mais il est clair que l'effet d'accélération (facteur 4) reste insatisfaisant. Le nombre nécessaire de passages est encore nettement trop élevé.

Selon les conclusions de la commission d'accompagnement, d'autres examens visant à optimiser les paramètres de l'essai sont nécessaires pour accélérer la procédure.

Literatur | Bibliographie

- [1] Angst, Ch., Bürgisser, Ph., Beckenbauer, Th., Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmen Beläge, Ittigen: Bundesamt für Strassen (ASTRA), 2016.
- [2] Angst Ch., Beltzung F., Bosshardt D., Ziegler T., Bühlmann E., Lärmarme Strassenbeläge innerorts – Jahresbericht 2010 and earlier anual reports 2003–2009, Swiss Federal Office for the Environment FOEN and Swiss Federal Roads Office FEDRO, Berne <http://www.bafu.admin.ch/ud-1040-d>
- [3] Sandberg, U., Ejsmont, J., TYRE/ROAD NOISE REFERNECE BOOK, First Edition, 2002, ISBN 91-631-2610-9.
- [4] www.speron.net
- [5] Bühlmann, E., Bürgisser, Ph., Angst, Ch., Beckenbauer, Th., Ziegler, T., Forschungspaket Lärmarme Beläge innerorts, Teilprojekt (TP) 3: Langzeitmonitoring 2011–2015, Bundesamt für Umwelt (BAFU). Berichte 2012–2014 <http://www.bafu.admin.ch/laerm/10526/10947/10956/index.html?lang=de>

Innovative Technologien aus dem Ausland

Des technologies innovantes de l'étranger

Lärmarme Strassenbeläge sind vielerorts die bevorzugte Massnahme, um den Strassenverkehrslärm an der Quelle zu bekämpfen. Mit den in der Schweiz eingesetzten semi-dichten Asphalten (SDA) können die Lärmemissionen stark gesenkt werden. Diverse Länder experimentieren allerdings momentan auch mit innovativen Technologien, die über konventionelle lärmarme Asphalte hinausgehen. Der vorliegende Artikel stellt diese innovativen Lösungsansätze vor und diskutiert deren Potenzial zur Anwendung in der Schweiz. Lohnt es sich, in der Schweiz weitere Technologien zu testen?

Viele Länder setzen auf lärmarme Strassenbeläge als bevorzugte Massnahme, um den Strassenverkehrslärm an der Quelle zu bekämpfen. Wie diverse Studien belegen, lassen sich die Lärmemissionen durch den Einsatz lärmarmen Strassenbeläges deutlich senken (z.B. Saurer et al.

2016; Hammer et al. 2015; Bendtsen et al. 2013; Bruitparif 2011; Sandberg 2009; Reichart 2009; Goubert et al. 2007). Dabei sorgen meist eine feine Oberflächentextur und/oder gut miteinander verbundene Hohlräume in der Deckschicht für die lärmreduzierende Wirkung. So werden in der Schweiz vielerorts SDA nach der Norm SNR 640 436 (VSS 2015) eingebaut. Bei den SDA wird bewusst ein Kompromiss zwischen Lärmreduktion und Dauerhaftigkeit des Strassenbelages angestrebt (Abb. 1).

Diverse Länder experimentieren auch mit innovativen Technologien, die über konventionelle Asphalt-Lösungen hinausgehen. Ziel dieses Artikels ist, diejenigen Lösungsansätze vorzustellen, die im Rahmen des Forschungsprojekts EP7 des BAFU/ASTRA (Saurer et al. 2016) als besonders innovativ identifiziert wurden. Zudem wird deren Potenzial für den Einsatz in der Schweiz diskutiert. Dazu wurden aufgrund einer Literaturrecherche Länder mit einer Vorreiterrolle



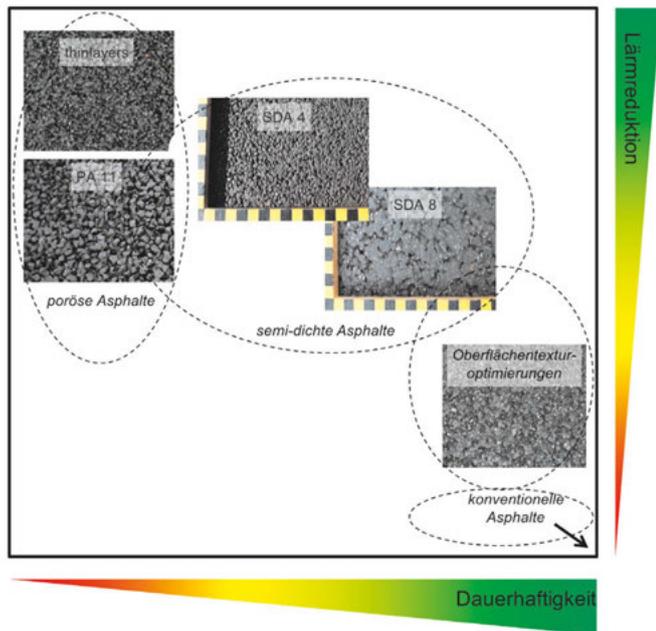
VON
ERIK BÜHLMANN
Dipl. phil. Nat. Geograph, MBA,
Teamleiter Belagsakustik, Leiter
Forschung & Entwicklung bei
Grolimund + Partner AG, Bern

Dans beaucoup d'endroits, les revêtements peu bruyants sont la mesure privilégiée pour lutter à la source contre le bruit du trafic routier. Les enrobés semi-denses (SDA) utilisés en Suisse permettent de réduire fortement les émissions de bruit. Toutefois, certains pays expérimentent actuellement des technologies innovantes autres que des enrobés peu bruyants conventionnels. Cet article présente ces approches novatrices et aborde leur potentiel d'application en Suisse. Est-il intéressant de tester d'autres technologies en Suisse?

De nombreux pays misent sur les revêtements peu bruyants comme mesure privilégiée pour lutter à la source contre le bruit du trafic routier. Diverses études montrent qu'il est possible de baisser nettement les émissions de bruit en recourant à des revêtements peu bruyants

(p.ex. Saurer et al. 2016; Hammer et al. 2015; Bendtsen et al. 2013; Bruitparif 2011; Sandberg 2009; Reichart 2009; Goubert et al. 2007). Il y est admis qu'une fine texture de surface et/ou des vides communicants dans la couche de surface ont un effet réducteur de bruit. Ainsi, dans de nombreux endroits en Suisse, on a recours à des SDA selon la norme SNR 640 436 (VSS 2015). Avec les SDA, on recherche un compromis entre la réduction de bruit et la durabilité du revêtement routier (fig. 1).

Toutefois, certains pays expérimentent aussi des technologies innovantes dépassant le cadre des enrobés peu bruyants conventionnels. Cet article vise à présenter des esquisses de solution qui ont été jugées particulièrement novatrices dans le cadre du projet de recherche EP 7 de l'OFEV/OFROU (Saurer et al. 2016). De plus, leur potentiel d'utilisation en Suisse sera discuté. À cet effet, les pays jouant un rôle précurseur dans le développement des technologies innovantes dans le



1 | Übersicht Hauptgruppen herkömmlicher lärmarmen Strassenbeläge.
1 | Vue d'ensemble des principaux groupes de revêtements peu bruyants conventionnels.

hinsichtlich der Entwicklung von innovativen Technologien im Bereich der lärmarmen Strassenoberflächen identifiziert. Als Grundlage des Projektes dienten zehn ausführliche Interviews, die mit den führenden Experten aus Dänemark, Deutschland, Frankreich, Japan, den Niederlanden, Schweden und den USA durchgeführt wurden.

Untersuchte Technologien

Die Auswahl der Technologien für den Einbezug in die Forschungsarbeit wurden zusammen mit den Experten vorgenommen. Berücksichtigt wurden Technologien, die durch das Forschungsteam interessant für die potenzielle Anwendung in der Schweiz sowie durch den Experten als erfolgsversprechend eingestuft wurden. Bereits in der Schweiz eingesetzte Technologien wurden im Forschungsprojekt explizit nicht untersucht. Für die abschliessende Auswahl von Technologien, die in der Schweiz im Rahmen zukünftiger Projekte getestet oder weiterentwickelt werden sollen, können mehrere unterschiedliche Auswahlkriterien im Vordergrund stehen. So kann der Fokus auf Technologien gelegt werden, die besonders grosse akustische Wirkungen erzielen, deren akustische Dauerhaftigkeit vielversprechend ist oder aber ein besonders günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. In der Bewertung wird für diese drei verschiedenen Aspekte eine Rangliste erstellt (Abb. 2). Der Fokus des vorliegenden Artikels liegt jedoch auf den besonders innovativen Technologien aus Abbildung 2, die über den Ansatz von konventionellen lärmarmen Asphalten hinausgehen.

Innovative Technologien

Im Strassenbau sind Innovationen meist ausserhalb der etablierten Normen zu finden. Deshalb werden auch Innovationen betrachtet und beurteilt, die bisher nur wenig zum Einsatz

domaine de surfaces des routes peu bruyants ont été identifiés sur la base d'une recherche bibliographique. Le projet s'est basé sur dix entretiens réalisés avec des experts reconnus du Danemark, d'Allemagne, de France, du Japon, des Pays-Bas, de Suède et des États-Unis.

Technologies examinées

Conjointement avec les experts, il a été procédé au choix des technologies à intégrer dans le travail de recherche. Il a été tenu compte des technologies classées par l'équipe de recherche comme étant intéressantes pour une application potentielle en Suisse et que les experts ont jugé prometteuses. Les technologies déjà utilisées en Suisse n'ont pas été examinées explicitement dans le projet de recherche. Divers critères de sélection peuvent entrer en ligne de compte pour le choix final de technologies à tester ou à développer en Suisse dans le futur. On peut ainsi se concentrer sur des technologies ayant des impacts acoustiques particulièrement importants, dont la durabilité acoustique est prometteuse ou bien qui présentent un rapport coûts/utilité très favorable. Un classement selon ces trois aspects différents est réalisé grâce à l'évaluation (fig. 2). Cet article se focalise néanmoins sur des technologies particulièrement novatrices figurant à la figure 2 qui dépassent le cadre des revêtements peu bruyants conventionnels.

Technologies novatrices

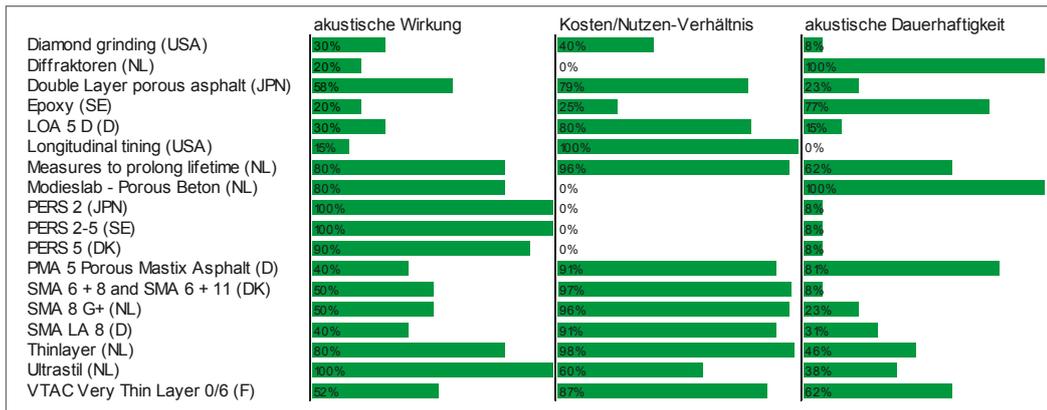
Dans la construction routière, on trouve les innovations la plupart du temps hors des normes établies. C'est pourquoi, on observe et évalue également des innovations qui n'ont été que peu utilisées jusqu'à maintenant ou qui font l'objet de recherches supplémentaires. L'innovation dans le domaine des revêtements peu bruyants peut avoir différents aspects, par exemple l'utilisation de matériaux spéciaux, l'utilisation de méthodes de fabrication particulières, l'application de procédures particulières de traitement de surfaces pour améliorer les propriétés acoustiques ainsi que de nouvelles approches d'aménagement de l'espace routier. Des technologies particulièrement novatrices sont présentées ci-après.

1. Diffracteurs (Pays-Bas)

Les diffracteurs constituent une méthode novatrice de réduction du bruit routier inédite à ce jour. Il ne s'agit pas d'une surface de chaussée mais d'éléments en béton avec des vides qui sont placés à côté de la chaussée (fig. 3). Les diffracteurs dévient le son provoqué par le trafic vers le haut et créent derrière eux une zone où les nuisances sonores sont atténuées. Ils sont utilisés de préférence combinés à des revêtements peu bruyants afin d'augmenter leur efficacité de 2 dB supplémentaires.

2. Produits de prolongation de la durée de vie des enrobés peu bruyants (Pays-Bas)

Aux Pays-Bas, des produits novateurs prolongeant la durée de vie des enrobés peu bruyants sont utilisés depuis 2010,



2 | Übersicht untersuchte Technologien und deren quervergleichenden Bewertung nach drei Hauptaspekten.
2 | Aperçu des technologies examinées et de leur évaluation par recoupement selon trois aspects principaux.

kamen oder Bestandteil weiterer Forschungsanstrengungen sind. Die Innovation bei lärmarmen Strassenbelägen kann verschiedene Aspekte betreffen, beispielsweise die Verwendung spezieller Materialien, der Einsatz besonderer Herstellungsweisen, die Anwendung besonderer Verfahren zur Nachbehandlung von Oberflächen zur Verbesserung der akustischen Eigenschaften sowie neue Ansätze zur Gestaltung des Strassenraumes. Im Folgenden werden die als besonders innovativ eingestuft Technologien vorgestellt.

1. Diffraktoren (Niederlande)

Eine bisher unbekannte innovative Methode zur Reduktion des Strassenlärms stellen die Diffraktoren dar. Bei den Diffraktoren handelt es sich nicht um eine Fahrbahnoberfläche, sondern um Betonelemente mit Hohlräumen, welche neben der Fahrbahn angebracht werden (Abb. 3).

Diffraktoren lenken den durch den Verkehr entstandenen Schall gegen oben ab und kreieren dahinter eine Zone mit verminderter Lärmbelastung. Sie werden am besten in Kombination mit lärmarmen Strassenbelägen eingesetzt, um deren Wirkung um weitere 2 dB zu steigern.

2. Produkte zur Verlängerung der Lebensdauer von lärmarmen Asphalten (Niederlande)

In den Niederlanden kommen innovative Produkte zur Verlängerung der Lebensdauer von lärmarmen Asphalten seit 2010 vor allem präventiv etwa fünf bis sieben Jahre nach Einbau zur Anwendung. Bei den Produkten Pentack und Modimuls handelt es sich um kalte Bitumenemulsionen, die ebenfalls Bitumenverjüngungsmittel enthalten. Das Produkt Modiseal ist dagegen ein warm aufgetragenes polymermodifiziertes Bitumen. Wo erste Kornausbrüche sichtbar werden und die Belagsoberfläche aber noch nicht ernsthaft beschädigt ist, werden die Produkte mit einem Druckgebläse (PA-Beläge) oder einem Sprühbalken (Thinlayer-Beläge) aufgetragen, wo sie durch Negativtexturen (Dellen) und Poren 10 bis 20 mm in die Deckschicht eindringen. Die Lebensdauer der Deckschichten kann in der Folge um zwei bis vier Jahre verlängert werden, ohne dabei negative Auswirkungen auf die Lärminderung der Beläge zu haben.

3. Pore-Elastic-Road-Surfaces PERS (Schweden)

PERS wurden im Rahmen des Europäischen Projektes Persuade (2009–2015) entwickelt. Ziel des durch 12 For-

surtout à titre préventif, environ cinq à sept ans après la pose. Les produits Pentack et Modimuls sont des émulsions bitumeuses froides contenant également des produits de régénération du bitume. Le produit Modiseal est quant à lui un bitume modifié par des polymères appliqué à chaud. Là où les premières pertes de gravillons sont visibles et que la surface de revêtement n'est pas encore sérieusement endommagée, les produits sont appliqués avec une soufflante à pression (revêtements de type PA) ou une rampe de pulvérisation (revêtements à couches fines), où ils pénètrent dans la couche de surface sur 10 à 20 mm par la texture négative (creux) et les pores.

La durée de vie des couches de surface peut ainsi être prolongée de deux à quatre ans sans effets négatifs sur la réduction de bruit des revêtements.



3 | Diffraktoren als ergänzende Lärmschutzmassnahme zum lärmarmen Fahrbahnbelag (Quelle: Hooghwerff 2014).

3 | DiffRACTEURS comme mesure de protection contre le bruit en plus du revêtement de chaussée peu bruyant (source: Hooghwerff 2014).

schungsnehmer durchgeführten Projekts war, eine kosten-effektive poro-elastische Strassenoberfläche mit der Verwendung von 40 bis 60 % Gewichtanteilen alten Pneumaterials zu entwickeln. Die Lärmreduktion wird zusätzlich zu den üblichen Wirkungsmechanismen auch durch die Einbindung von Gummigranulaten, d.h. durch eine Veränderung der mechanischen Impedanz, erreicht. Der akustisch meist-versprechende PERS befindet sich in Schweden, weitere Teststrecken liegen in Belgien, Dänemark, Japan und den Niederlanden.

Im Vergleich zu konventionellen Asphaltbelägen erzielen die PERS eine Lärminderung von 10 dB. Allerdings ist es im Rahmen der bisherigen Testeinbauten nicht gelungen, eine dauerhafte Verschleiss-schicht herzustellen.

Bewertung

Für die endgültige Auswahl von Technologien, die in der Schweiz im Rahmen zukünftiger Projekte getestet oder weiter-entwickelt werden sollen, können mehrere unterschiedliche Auswahlkriterien im Vordergrund stehen. In der querverglei-

3. Pore-Elastic-Road-Surfaces PERS (Suède)

La PERS a été développée dans le cadre du projet européen Persuade (2009–2015). L'objectif du projet réalisé par 12 chargés de projet était de développer une surface de route poroélastique rentable en y utilisant 40 à 60 % de pneumatiques recyclés. En plus des mécanismes d'action habituels, la réduction de bruit s'obtient également en ajoutant des grains de caoutchouc, c'est-à-dire par une modification de l'impédance mécanique. La PERS la plus prometteuse en termes d'acoustique se trouve au Japon, mais il existe d'autres planches d'essai en Belgique, au Danemark, au Japon et aux Pays-Bas.

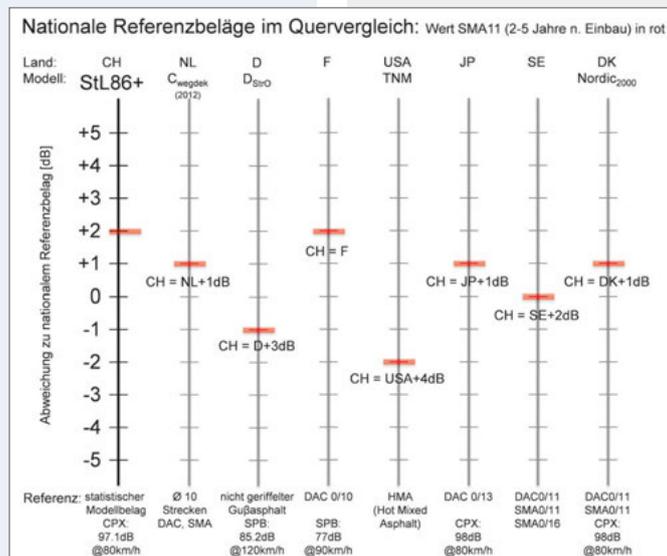
Par rapport aux enrobés conventionnels, les PERS permettent d'obtenir une réduction de bruit de 10 dB. Toutefois, dans le cadre d'installations tests, il n'a jusqu'à présent pas été possible de réaliser une couche d'usure durable.

Évaluation

Différents critères de sélection peuvent entrer en ligne de compte pour le choix définitif de technologies à tester ou à développer en Suisse dans le cadre de projets futurs. Les

Referenzmodelle im Quervergleich

Zur Beschreibung der akustischen Wirkung von Strassenbelägen wird oft der Bezug zu Referenzbelägen und/oder zu nationalen Strassenlärmmissionsmodellen hergestellt. Um Vergleiche zwischen den Daten und Erfahrungen verschiedener Länder zu ermöglichen, müssen die auf nationalen Referenzen basierenden Wirkungen auf eine einheitliche Referenz umgerechnet werden können. Da diesbezüglich in der Regel keine Umrechnungsmodelle existieren, wurde im Rahmen der Studie EP7 (Saurer et al. 2016) eine Vergleichsmatrix erarbeitet, bei der eine ungefähre Umrechnung über den jeweiligen nationalen akustischen Kennwert für SMA 11 ermöglicht wird. In der nebenstehenden Abbildung unten sind die unterschiedlichen nationalen Referenzen einander gegenübergestellt. Ebenfalls eingezeichnet ist der akustische Wert für den SMA-11-Belag im jeweiligen nationalen Modell. Zum Beispiel kann der SMA 11 im Bezug zum Modell, das in der Schweiz verwendet wird, mit einem Wert von +2 dB charakterisiert werden, während im Vergleich zum deutschen Modell ein Wert von -1 dB resultiert. Entsprechend sollte zu Belägen, die in Bezug zum deutschen Modell charakterisiert wurden, ein Zuschlag von 3 dB hinzugerechnet werden, wenn sie im Schweizer Kontext bewertet werden sollen.



Comparaison des modèles de référence

Lorsqu'il s'agit d'évaluer l'effet acoustique des revêtements routiers, on fait souvent référence à des écarts par rapport à un matériau de référence ou à un modèle d'émission. Pour effectuer des comparaisons de données ou échanger des expériences avec d'autres pays, une référence commune permettant de faire le lien avec chacune des références nationales doit impérativement être fixée. C'est ainsi qu'une matrice de comparaison des valeurs utilisées dans différents pays a été établie dans le cadre du projet individuel de recherche EP7 (Saurer et al. 2016) à partir des valeurs définies pour un SMA 11. La figure à côté propose une vue synthétique des références utilisées dans différents pays par rapport aux valeurs retenues en Suisse, avec comme exemple le nombre de

décibels correspondant à un SMA dans les différents pays représentés. A titre d'exemple, alors qu'un SMA 11 sera considéré comme ayant +2 dB par rapport au modèle utilisé en Suisse, il sera considéré comme ayant -1 dB par rapport au modèle utilisé en Allemagne. Autrement dit, une majoration de 3 dB doit être appliquée à un revêtement caractérisé en fonction du modèle allemand pour obtenir sa valeur de référence suisse.

chenden Bewertung des Forschungsprojektes (Saurer et al. 2016) wurden deshalb alle 18 untersuchten Technologien bezüglich verschiedener Aspekte rangiert. Werden die Schweizer SDA-Beläge nach akustischer Leistung, Dauerhaftigkeit und dem Kosten-Nutzen-Verhältnis bewertet, stellt sich heraus, dass der in der Schweiz angestrebte Kompromiss mit den semidichten Asphalten im internationalen Vergleich sehr gut abschneidet. Dennoch können die oben dargestellten drei innovativen Technologien aus folgenden Gründen als vielversprechend eingestuft werden (siehe Tabelle):

	Weshalb in der Schweiz testen?	Negativaspekte/ Risiken
Diffraktoren	+ könnten die Lärminderung von lärmarmen Belägen zusätzlich vergrössern + Lärmreduktion ist dauerhaft	- brauchen viel Platz und sind teuer - könnten ein Verkehrssicherheitsrisiko darstellen
Produkte zur Verlängerung der Lebensdauer	+ könnten die Lebensdauer von SDA-Belägen verlängern	- bestehende Hohlräume könnten teilweise versiegelt werden
PERS	+ sehr hohe Lärmreduktionen wären möglich + die Lärminderung durch mechanische Impedanz ist potenziell dauerhafter als diejenige, die durch Hohlräume erzielt wird	- bisher ist es nicht gelungen, die Haftung der PERS auf der Binderschicht dauerhaft zu gestalten - Herstellung und Einbau sind komplex und teuer

18 technologies examinées dans cadre du projet de recherche EP7 ont été triées selon différents aspects. L'évaluation des revêtements de type SDA Suisse selon leurs performances acoustiques, leur durabilité et leur rapport coûts/utilité a montré que le compromis recherché en Suisse avec les enrobés semi-denses est très bon en comparaison internationale. Il n'en reste pas moins que les trois technologies novatrices présentées ci-dessus peuvent être considérées comme très prometteuses pour les raisons suivantes (voir tableau):

	Pourquoi faire des tests en Suisse?	Aspects négatifs/ risques
Diffractions	+ Ils pourraient augmenter encore plus la réduction de bruit des revêtements peu bruyants + La réduction de bruit est durable	- Ils nécessitent beaucoup de place et sont onéreux - Ils pourraient présenter un risque dans la sécurité routière
Produits de prolongation de la durée de vie	+ Ils pourraient augmenter la durée de vie des revêtements de type SDA	- Les vides existants pourraient en partie se colmater
PERS	+ De très importantes réductions de bruits seraient possibles + La réduction de bruit par impédance mécanique est potentiellement plus durable que celle obtenue par les vides	- Jusqu'à maintenant, on n'a pas réussi à assurer durablement l'adhérence des PERS sur la couche de liaison - La fabrication et réalisation sont complexes et chères

Fazit

Im Rahmen von Experteninterviews wurden drei innovative Technologien identifiziert, die über die herkömmlichen Ansätze von lärmarmen Strassenbelägen hinausgehen und als vielversprechend eingestuft werden können. Aufgrund der Bewertung wird empfohlen, Praxistests durchzuführen, um die Eignung dieser Technologien für den Einsatz in der Schweiz näher zu bestimmen.

Conclusion

Les entretiens réalisés avec des experts ont permis de faire ressortir trois technologies dépassant le cadre des données conventionnelles de revêtements peu bruyants et pouvant être classées comme très prometteuses. Sur la base de l'évaluation, il est recommandé d'effectuer des tests pratiques pour déterminer avec plus de précision si ces technologies sont aptes à être utilisées en Suisse.

Literatur | Bibliographie

- Bendtsen, H., Andersen, B. & Oddershede, J., 2013. Støjdæmpning over lang tid – REPORT 520 (in Danish), Copenhagen, Denmark.
- Bobbink, B., 2014. Op weg naar duurzame Gelderse wegen – Levensduur verlengend onderhoud: Sealen van diverse asfaltdekklagen in Gelderland, Arnhem, NL.
- Bruitparif, 2011. Etat des lieux des performances acoustiques des revêtements de chaussées, Pantin, F.
- Fujita, H., 2012. Construction and performance of Japanese low noise pavements. The Journal of the Acoustical Society of America, 131(4), p.3224.
- Goubert, L. et al., 2007. Performace management of low noise pavements, a decision support guide – Technical report. (November), p.301.
- Hammer, E. et al., 2015. Long-term acoustical performance of low noise road surfaces in urban areas in Switzerland. In Euronoise 2015. Maastricht, pp. 1315-1320.
- Hoogwerff, J., 2014. Diffractions Experimenten en metingen september 2013 Hummelo, Vught.
- Reichart, U., 2009. Lärmindernde Fahrbahnbeläge – Ein Überblick über den Stand der Technik, Dessau-Roßlau, D.
- Sandberg, B.U., 2009. The global experience in using low-noise road surfaces: A benchmark report.
- Saurer, T., Bühlmann, E. & Ziegler, T., 2016. Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP 7: Innovative, lärmarme Beläge für den potenziellen Einsatz in der Schweiz, Bern, Switzerland.
- VSS, 2015. SNR 640 436 – Semidichtes Mischgut und Deckschichten – Festlegung, Anforderungen, Konzeption und Ausführung.

Aus- und Weiterbildung: Kooperation mit der Berner Fachhochschule

«Die CAS bieten praxisnahe Ausbildungen, die auf akademischen Niveau anerkannt sind»

Formation et formation continue: Coopération avec la haute école spécialisée bernoise

«Les CAS proposent des formations pratiques et reconnues au niveau académique»

In Kooperation mit dem VSS startet die Berner Fachhochschule (BFH) im Oktober das erste CAS (Certificate of Advanced Studies) «Strassenverkehrsanlagen und Geotechnik». Weitere CAS sollen demnächst folgen. Mit diesem schweizweit einmaligen Angebot setzt der VSS einen wichtigen Meilenstein in seinem umfassenden Aus- und Weiterbildungsangebot. Studienleiter Nicolas Bueche, Professor für Verkehrswegebau an der BFH, erklärt, wieso es dieses CAS braucht und welche Vorteile sich für die Studierenden aus der Zusammenarbeit mit dem VSS ergeben.

Ende Oktober startet die Berner Fachhochschule (BFH) in Zusammenarbeit mit dem VSS das CAS «Strassenverkehrsanlagen und Geotechnik». Welche Strategie verfolgt die BFH mit diesem CAS?

Die BFH ist eine Institution, die auf dem Gebiet der Geotechnik, der Mobilität und der Verkehrsinfrastruktur tätig ist. Dies betrifft sowohl die Aus- und Weiterbildung als auch die angewandte Forschung. Zurzeit werden intensive Bemühungen unternommen, um ein Materialforschungslabor einzurichten und die Forschungsaktivitäten der VSS-Fachausschüsse sowie internationale Gruppen (FEHRL – Forum European Highway Research Laboratories) zu unterstützen. Die vom VSS gemeinsam mit der BFH verfolgte Ausbildungsstrategie besteht in der Entwicklung eines qualitativ hochwertigen und anerkannten Angebots. Das CAS «Strassenverkehrsanlagen und Geotechnik» ist die erste Komponente davon. Es ist ein Weiterbildungskurs mit mehreren Modulen (Projektierung, Geotechnik, Bemessung, Materialien, Instandhaltungsmanagement). Auf dieses CAS werden weitere folgen, so dass Fachleute ihre Kenntnisse auf bestimmten Gebieten, wie beispielsweise Projektierung, Strassen-sicherheit oder Instandhaltungsmanagement, vertiefen können.

Wieso braucht es dieses CAS?

Das Angebot der verschiedenen CAS bietet praxisnahe Aus-

En coopération avec la VSS, la HESB (Haute école spécialisée bernoise) démarre en octobre le premier CAS (Certificate of Advanced Studies) «Infrastructures routières et géotechnique». D'autres CAS suivront prochainement. Avec cette offre unique en Suisse, la VSS pose un véritable jalon dans son importante offre de formation et formation continue. Nicolas Bueche, directeur des études, professeur en infrastructures de transport à la HESB explique la nécessité de ce CAS et les avantages dont les participants pourront tirer de cette coopération avec la VSS.

Fin octobre, en coopération avec la VSS, la HESB démarre le CAS (Certificate of Advanced Studies) «Infrastructures routières et géotechnique». Quelle stratégie la HESB poursuit-elle avec ce CAS?

La HESB se positionne comme une institution active dans le domaine de la géotechnique, de la mobilité et des infrastructures de transport. Cela concerne aussi bien l'enseignement, la formation continue que la recherche appliquée. Actuellement, des efforts importants sont consentis dans la mise en place d'un laboratoire d'essais sur matériaux ainsi que des activités soutenues dans la recherche et au sein de comités techniques VSS et de groupes internationaux (FEHRL – Forum of European Highway Research Laboratories). La stratégie de formation mise en place conjointement par la VSS et la HESB consiste à développer une offre de qualité et reconnue. Le CAS «infrastructures routières et géotechnique» en est la première composante; une formation avec différents modules étant dispensée (projet, géotechnique, dimensionnement, matériaux, gestion de l'entretien). Ce CAS sera suivi d'autres CAS, permettant ainsi aux participants d'approfondir des domaines spécifiques comme par exemple la sécurité routière ou la gestion de l'entretien.

Pourquoi ce CAS est-il nécessaire?

La mise en place d'une stratégie avec différents CAS a pour

bildungen, die auf akademischen Niveau anerkannt sind (ECTS-Punkte [European Transfer System]) und sowohl für Studierende als auch Branchenfachleute, die sich fortbilden wollen, interessant sind. Die Strategie des VSS und der BFH bietet zudem eine in der Schweiz beispiellose und darüber hinaus strukturierte Ausbildung, die früher oder später als Grundlage für die Einrichtung eines etwaigen MAS (Master of Advanced Studies) dienen kann. Dadurch wird das globale Konzept einer Weiterbildung auf dem Gebiet der Verkehrsanlagen und der Mobilität umgesetzt.

Der Strassenbau fristet an den technischen Hochschulen seit Jahren ein Schattendasein. Dementsprechend fehlen in der Schweiz qualifizierte Fachleute. Kann das CAS diesbezüglich etwas bewirken?

Es besteht erwiesenermassen ein Mangel an Verkehrsingenieuren, die Nachfrage ist viel grösser als das Angebot. Die Durchführung eines solchen CAS kann zweifellos Auswirkungen auf die Ausbildung von Ingenieuren haben. Dies ist jedoch meiner Meinung nach nur eine kleine Komponente der Lösung. Tatsächlich ist es unbedingt erforderlich, dass die Ausbildung von Bauingenieuren – insbesondere von Verkehrsingenieuren – auf allen Ebenen stärker gefördert wird. Gerade dies ist eines der Ziele der Zusammenarbeit zwischen dem VSS und der BFH.

Wie positioniert sich das neue CAS gegenüber Weiterbildungsangeboten anderer Fachhochschulen und der ETH?

Die im Laufe der letzten Jahre bei den ETH beobachteten Tendenzen sind bezüglich der Ausbildung und der Forschung auf dem Gebiet der Verkehrsanlagen nicht gerade ermutigend. Jedoch soll mit diesem Ausbildungsangebot nicht das Wirken an den ETH konkurrenziert oder ersetzt werden. Vielmehr handelt es sich dabei um eine zusätzliche Ausbildung mit einer auf die Praxis ausgerichteten Positionierung. Ausserdem ist festzustellen, dass viele CAS-Ausbilder enge Kontakte zur ETH haben, so dass eine Schulung mit kohärentem Niveau garantiert werden kann.

Sie bieten dieses CAS in Zusammenarbeit mit dem VSS an. Welche Vorteile ergeben sich dadurch für die Studierenden?

Der Hauptvorteil für die Teilnehmenden besteht darin, dass sie von den Stärken beider Institutionen profitieren können. Durch seine Positionierung, sein Ansehen und seine Dynamik kann der VSS eine grosse Mehrheit der nationalen (und auch internationalen) Akteure der Branche ansprechen. Die Teilnehmenden können sich folglich mit qualifizierten Kollegen und Fachleuten austauschen und dadurch ihre beruflichen Kontakte ausweiten. Die BFH ermöglicht eine zweisprachige Ausbildung, deren akademisches Niveau anerkannt ist (ECTS-Punkte). Ausserdem arbeitet diese Institution nach dem Prinzip der ständigen Weiter-



1 | Nicolas Bueche, Leiter Kompetenzbereich Verkehrsinfrastruktur an der Berner Fachhochschule und Präsident der NFK 4.1.

1 | Nicolas Bueche, responsable du domaine de compétences en infrastructures de transport à la haute école spécialisée bernoise et président de la CNR 4.1.

but de proposer des formations pratiques qui soient reconnues au niveau académique (crédits ECTS [European Credit Transfer System]), ce qui les rend attractives tant pour les étudiants que pour les professionnels du domaine souhaitant se perfectionner. Cette stratégie VSS-HESB offre finalement une formation unique en Suisse et davantage structurée qui pourra à terme constituer la base de la mise en place d'un éventuel MAS (Master of Advanced Studies) concrétisant le concept global d'une formation continue dans le domaine des infrastructures de transport et de la mobilité.

Depuis des années, la construction routière végète dans l'ombre dans les hautes écoles techniques. La Suisse manque donc de professionnels qualifiés. Le CAS peut-il apporter quelque chose ici?

Il est démontré que les ingénieurs en transport manquent, l'offre ne satisfaisant pas la demande. La mise en place

d'une telle formation CAS peut indéniablement avoir un impact sur la formation des ingénieurs. Cependant, cela ne constitue selon moi qu'une petite composante de la solution. Il est en effet indispensable que, à tous les niveaux, la formation des ingénieurs civils et plus particulièrement des ingénieurs en transport fasse l'objet d'une promotion accrue et c'est justement un des objectifs de la collaboration VSS-HESB.

Comment le nouveau CAS se positionne-t-il en comparaison de l'offre en formation continue des autres hautes écoles spécialisées et de l'ETH?

Les tendances observées au cours des dernières années au niveau des ETH ne sont pas nécessairement encourageantes pour la formation et la recherche dans le domaine des infrastructures de transport. Cependant, cette offre de formation n'est pas à percevoir comme une volonté de concurrencer ou remplacer ce qui est fait au niveau des ETH. Il s'agit davantage d'une formation complémentaire, avec un positionnement orienté pratique. On relèvera par ailleurs que bon nombre d'enseignants au sein du CAS ont des contacts étroits avec le domaine des ETH, ce qui permet de garantir une formation dont le niveau est cohérent.

Vous proposez ce CAS en coopération avec la VSS. Quels avantages les étudiants peuvent-ils en tirer?

L'avantage principal pour les participants est de pouvoir bénéficier des caractéristiques propres à chacune des institutions. Par son positionnement, sa renommée et son dynamisme, la VSS permet de toucher la grande majorité des acteurs nationaux (voire internationaux) du domaine. Les participants pourront donc échanger avec des collègues et experts qualifiés et ainsi étendre leur réseau professionnel. La HESB permet quant à elle de dispenser une formation bilingue dont le niveau académique est reconnu (crédits ECTS). L'institution a également pour prin-

entwicklung ihres Weiterbildungsangebots nach dem aktuellsten Stand der Forschung, wodurch den Studierenden die neuesten Erkenntnisse vermittelt werden können. Die jüngsten Entwicklungen der BFH im Bereich der Verkehrsanlagen, ihr nationales und internationales Netzwerk (insbesondere das FEHRL) und ihre Erfahrung in der Weiterbildung sind ebenfalls Vorteile, von denen die Teilnehmenden profitieren können.

Alle Module des CAS können auch einzeln belegt werden. Welche Idee steckt dahinter?

Die Module, von denen einige an bestehende Ausbildungen des VSS angelehnt sind, können tatsächlich einzeln belegt werden, und zwar aus zwei Hauptgründen: Einerseits sind einige Teilnehmende Fachleute auf einem bestimmten Gebiet und verfügen bereits über umfassende Kenntnisse der Inhalte, die im CAS vermittelt werden. Folglich kann ein Teilnehmer nach der Prüfung seines Dossiers von einem bestimmten Modul befreit werden. Der zweite Grund besteht darin, dass die Teilnehmenden teilweise nur in bestimmten Themenbereichen eine Weiterbildung absolvieren möchten. Das Angebot ist deshalb sehr breit gefächert, so dass der Bedarf bestens gedeckt werden kann.

Welche Vorkenntnisse und Kompetenzen werden von den Teilnehmenden für dieses CAS erwartet?

Grundsätzlich müssen die Teilnehmer einen Abschluss als Bauingenieur (BSc oder MSc/MSE), als Geotechniker oder eine äquivalente Ausbildung nachweisen können. Die endgültige Zulassung wird durch die Prüfung des Dossiers validiert.

Die BFH legt einen grossen Wert auf den Praxisbezug. Wie werden Sie diesem Anspruch im CAS «Strassenverkehrsanlagen und Geotechnik» gerecht?

Institutionen wie die BFH haben die Aufgabe, Ausbildung und angewandte Forschung anzubieten. Dies ist ein wichtiges Element bei der Auswahl der Mitarbeitenden. Ausserdem sind die verschiedenen am CAS beteiligten Akteure mehrheitlich Fachleute, die auch im privaten oder im öffentlichen Sektor tätig sind. Das CAS ist daher sehr praxisorientiert ausgelegt, berücksichtigt jedoch auch wichtige Aspekte der Lehre und der Forschung.

Die Entwicklungen auf dem Gebiet der Verkehrsinfrastruktur sind in den letzten Jahren rasant vorangeschritten. Eine Tendenz, die sich mit der Digitalisierung wohl noch verstärken wird. Wie berücksichtigt das CAS diese Entwicklung?

Es stimmt, dass die Entwicklungen auf dem Gebiet der Verkehrsinfrastruktur rasant voranschreiten – sowohl im Bereich der Baustoffe und -techniken als auch im Instandhaltungsmanagement und der Mobilität im weiteren Sinne. Dieser Tendenz, die in engem Zusammenhang mit der Digitalisierung steht, wird das CAS durch den Einsatz von Lehrkräften gerecht, die im Bereich der Forschung und der Entwicklung tätig sind und deshalb mit diesen Problematiken konfrontiert sind. Zudem wird diesen Aspekten auch durch Interaktion mit bestimmten Arbeitsgruppen Rechnung getragen.

Interview: Rolf Leeb

Informationen zum CAS:

<http://www.vss.ch/de/aus-und-weiterbildung/>

cipe de faire évoluer continuellement sa formation continue, ceci au gré des recherches, ce qui assure aux participants la prise en compte des dernières tendances. Les développements récents de la HESB au niveau des infrastructures de transport, son réseau national et international (FEHRL notamment) et son expérience dans la formation continue sont autant d'avantages dont les participants pourront bénéficier.

Tous les modules du CAS sont des modules qui peuvent s'effectuer individuellement. Quelle est l'idée qui se cache derrière cela?

Les modules, dont certains sont issus de formations VSS existantes, peuvent effectivement être réalisés de manière individuelle. Il y a deux raisons principales: D'une part, certains participants sont experts dans un domaine donné pour lequel ils possèdent toutes les compétences enseignées dans le CAS. Ainsi, après examen du dossier, un participant peut être exempté d'un module donné. La seconde raison est simplement liée au fait qu'un participant peut présenter un intérêt uniquement pour certains domaines spécifiques dans lesquels il souhaite se perfectionner. L'offre proposée est donc très large, permettant de couvrir au mieux les besoins.

Quelles connaissances préalables et compétences les participants à ce CAS doivent-ils apporter?

De manière générale, les participants doivent avoir une formation d'ingénieur civil (BSc ou MSc/MSE) ou géotechnique, ou doivent alors pouvoir justifier d'une formation équivalente. L'acceptation finale est validée sur la base d'un examen des dossiers.

La HESB accorde une grande importance à l'orientation pratique. Comment voulez-vous répondre à cette exigence dans le CAS «Infrastructures routières et géotechnique»?

Les institutions comme la HESB ont pour rôle de proposer de la formation et recherche appliquée. Cela est un élément important dans le choix des collaborateurs. De plus, les différents intervenants du CAS sont pour la majorité des professionnels actifs également dans le privé ou les administrations, avec donc une composante pratique très marquée ainsi que de l'expérience au niveau de la formation et de la recherche.

Les développements constatés dans le domaine des transports ont été très rapides ces dernières années. Une tendance que la digitalisation renforcera encore. Comment le CAS tient-il compte de ce développement?

Il est correct que le domaine des infrastructures de transport se développe beaucoup, ceci tant au niveau des matériaux et techniques de construction, de la gestion de l'entretien ou de la mobilité au sens large. Cette tendance, intimement liée à la digitalisation, est intégrée dans le CAS par l'acquisition d'enseignants actifs au niveau de la recherche et développement et donc confrontés à ces problématiques. Ces aspects sont également pris en compte par les interactions avec certains groupes de travail spécifiques.

Entretien: Rolf Leeb

Informations sur le CAS:

<http://www.vss.ch/fr/formation-et-formation-continue/>



SISTRA-Fachtagung /

Journée technique SISTRA

15. November 2017, Campus Sursee,

09.00 – 16.00 Uhr

Referate:

Airport Zürich ZRH – Markierungstechnik unter Flugbetriebsbedingungen / *Technique de marquage en conditions d'exploitation aéroportuaire*
Roger Meier, Leiter Betriebsflächen, Airfield maintenance
Flughafen Zürich

Amortisseur de choc – quelles opportunités pour les usagers et les ouvriers ? / **Anpralldämpfer** – *Welche Chancen haben Benutzer und Arbeiter?*
Laurent Tribolet, Chef de la division Entretien Canton de Vaud et directeur de l'Unité territoriale II

CE-Kennzeichnung für Bauprodukte – wie geht es ohne harmonisierte Norm ? / **Le marquage „CE“ pour les produits de construction** – *Qu'en est-il sans norme harmonisée ?*
Andrea Sterling, Dipl. Bauingenieurin, Deutsches Institut für Bautechnik

Eingeschränkte Rettungsgassen – wie kommen Feuerwehr und Rettungsdienste rechtzeitig zum Einsatzort ? / **Couloirs de secours restreints** – *Comment pompiers et services de secours peuvent-ils arriver à temps sur le lieu d'accident ?*
Lt. Roland Keller, Teamleiter Schutz & Rettung Stadt Zürich

Le rôle de l'infrastructure dans un monde avec des véhicules connectés autonomes / *Die Rolle der Infrastruktur in einer Welt mit autonom verbundenen Fahrzeugen*
Rik Nuyittens, President de l'ERF, European Union Road Federation

3 neue SISTRA-Merkblätter – zu Markierungen, Signalen und Ausschreibungen / **3 nouvelles fiches techniques SISTRA** – *sur les marquages, les signaux et les appels d'offres*
Jürg Kägi, Bauingenieur HTL/SIA, Präsident SISTRA

Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme im Schweizerischen Strassennetz / *Mesures de l'efficacité des dispositifs de retenue de véhicules sur le réseau routier suisse*
Wolfgang Schüler, Dipl. Ing. Ingenieurbüro, Niederweningen

Hieb- und stichfest – Hinweise zur Verbesserung von Ausschreibungen bei der Strassenausstattung / **Irréfutable!** – *Indications concernant l'amélioration des appels d'offres d'équipement routier*
Roland Hüsey, Vorstandsmitglied SISTRA, Leiter Fachgruppe Markierung

Les défauts dans le contrat d'entreprise – quelles sont les règles fondamentales ? / **Mängel im Werkvertrag** – *welches sind die grundlegenden Fragen ?*
Pierre Perritaz, Avocat, L'Etude Fribourg/Lausanne

Neue Wege für den Schilderbau – Innovatives Trägermaterial für Verkehrssignale / **Nouvelles solutions pour la construction des panneaux** – *Supports innovants pour les panneaux de signalisation*
Moritz Pieper, Head of Solution Energieing Display, 3A Composites GmbH, Singen D

Alle Vorträge werden simultan auf Französisch resp. auf Deutsch übersetzt.

Une traduction simultanée des exposés en français et en allemand sera assurée.

Tagesprogramm und Anmeldeformular unter www.sistra.ch

Anmeldung bis 3. November 2017 unter Angabe von Firma, Behörde, Name, Vorname und Adresse (bitte je Teilnehmer / Teilnehmerin einzeln) an:

SISTRA, Ringstrasse 1, Postfach, 4601 Olten; FAX: +41 (0) 62 205 20 59 / Mail: sekretariat@sistra.ch

Journée d'Etude de la Route et des Infrastructures

J E R I

MARDI 14 NOVEMBRE 2017 DÈS 8 H

CONFÉRENCE JERI « À L'ATTAQUE DES CHAUSSÉES »

SwissTech Convention Center, EPFL Lausanne
www.confjeri.ch

Programme et présentations:

RC 177, le chemin étroit vers une nouvelle route
Nuria Gorrite, Présidente du Conseil d'Etat vaudois

Gestion hivernale des chaussées, quel avenir ?
Prof. Ruedi Hofer, FHNW, MuttENZ
& Thomas Leuzinger, NSNW, Sissach

Impact du changement climatique sur les chaussées
Dr Christ Van Gurp, Kiwa KOAC, Apeldoorn (Pays-Bas)

**Agressivité du trafic pour les chaussées –
Les atterrisseurs d'avions**

Cyril Fabre, Head of Airfield Pavement, Airbus SAS, Blagnac (France)

**Potentiel et risques liés à l'utilisation de l'asphalte
coulé routier**

Dr Christian Angst, IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen

**Contribution des liants dans la lutte contre les conditions
extrêmes**

Adrian Zippo et Mohammed Ammadi, Shell Bitumen AG, Baar

**Utilisation des matériaux recyclés et problématique
de la concurrence étrangère**

Laurent Dorthe, Gravière de la Claise-aux-Moines SA, Savigny

Renseignements et inscription:

Conférence JERI, c/o Nibuxs sàrl, Ch. du Croset 9, CH-1024 Ecublens
Tél.: +41 21 550 95 32 | secretariat@confjeri.ch | www.confjeri.ch

Coût:

Participation à la journée fr. 300.- (comprenant documentation, pause-café, repas de midi avec boissons)

infralab

Nibuxs

VSS-Seniorentagung 2017

Die Tagung vom 30. August startete mit einer Panne der SBB: Wegen einer Leitungsstörung blieb der Morgenzug Zürich–Neuenburg–Lausanne in Yverdon stecken. Via Handy, SMS und dank Frau Mächler vom VSS-Sekretariat gelang es schliesslich, alle gestrandeten Schäfchen einzufangen und nach Aclens zu Kaffee und Gipfeli zu lotsen.

Es gibt sie noch, die Grossbaustellen «auf der grünen Wiese», wie die neue 5,5 km lange und 75 Mio. Franken teure Kantonsstrasse RC 177 auf der Hochebene hinter Lausanne. Während in der Deutschschweiz praktisch nur noch Tunnel oder «nichts» gebaut wird, zeigten die Verantwortlichen des Kantons Waadt, dass auch eine offene Strecke mit entsprechenden Massnahmen durchaus umweltfreundlich gestaltet und erstellt werden kann. Die neue Strasse schliesst das aufstrebende Industriegebiet Vufflens/Aclens direkt ans Nationalstrassennetz an und entlastet so die umliegenden Dörfer vom Schwerverkehr. Interessante archäolo-

gische Funde wären übrigens bei einem bergmännischen Projekt nie zu Tage getreten.

Nach einer Einführung durch Pierre-Yves Gruaz (Kantonsingenieur) und Samuel Debossens (Projektleiter) ging es per Car ins Gelände. Marschiert werden musste nicht viel, bei dreimaligem Aussteigen erläuterten Jacqueline Decurnex (Kommunikationsbeauftragte) sowie Pierre Bays (Chef Amt Projektierung) und François Petriccioli (Chef Amt Bauleitung) die Projekt-Schwerpunkte: Ein 300 m langer Viadukt über SBB-Geleise und den Fluss Venoge, die Überführung Moulinet-Weg und verschiedenste Umweltmassnahmen. Der Hitze entrinnen konnte man anschliessend beim Apéro im Schatten mit dem feinen Mittagessen im Restaurant «Le Casque d'Or» in Gollion. Erst bei der Abreise zogen erste Wolken auf, und der letzte Sommertag des Jahres verabschiedete sich für die Senioren gerade im richtigen Moment.

Georg Pleisch (Text und Fotos)



1 | Warten auf die Gestrandeten bei Kaffee und Gipfeli in Aclens.



2 | Begrüssung durch Claude Pralong, a. KoKo-Präsident.



3 | Orientierung über die Entlastung der anliegenden Dörfer.



4 | Aufmerksamkeit im Gemeindesaal von Aclens.



5 | Grossbaustelle auf der grünen Wiese.



6 | Die 34 Senioren einmal nicht «mit», sondern «vor» dem Mais.



7 | Die Referenten (v.l.): S. Debossens (Projektleiter RC 177), J. Decurnex (Kommunikationsbeauftragte), P. Bays (Chef Amt Projektierung), P.-Y. Gruaz (Generaldirektor u. Kantonsingenieur Waadt), F. Petriccioli (Chef Amt Bauleitung).



8 | G. Pleisch (a. KoKo-Präsident), R. Suter (a. KI SO), Prof. A.G. Dumont (a. KoKo-Präsident), J. Beauverd (a. VSS-Präsident), Prof. R. Heiertli (a. Stading. Zürich), C. Pralong (a. KoKo-Präsident).



9 | Überführung mit windschief gestalteten Flächen.



10 | Einschnittböschung in verschiedenen Boden- und Gesteinsschichten.



11 | Diskussion über die verschiedenen Umweltschutzmassnahmen.



12 | Wärschaftes Mittagessen im Casque d'Or.



13 | Viadukt über die SBB-Gelise und den Fluss Venoge.

Zusammenfassungen der neu publizierten Forschungsberichte

An dieser Stelle veröffentlichen wir die Zusammenfassungen der neu erschienenen Forschungsberichte (teilweise gekürzt). Die einzelnen Forschungsberichte können Sie unter www.mobilityplatform.ch bestellen.

Résumés des rapports de recherche nouvellement publiés

Ci-après nous publions les résumés des rapports de recherche nouvellement parus (partiellement raccourcis). Vous pouvez commander les rapports de recherche sur www.mobilityplatform.ch.

DE

FORSCHUNGSBERICHT NR. 1605

Geologische und geotechnische Terminologie der Schweizer Molasse

Geotest AG

R. HÄNNI, Dr., Geologe

H. RIS, dipl. Ing. ETH

Forschungsprojekt VSS2010/504 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Die Sedimente der Molasse bilden den Felsuntergrund im Grossteil des Schweizerischen Mittellandes, wo sich zahlreiche Städte und Infrastrukturen befinden. Aus bautechnischer Sicht ist die Molasse deshalb von grossem Interesse.

Molassesedimente wurden in geologisch relativ junger Zeit (vor ca. 30 bis 5 Mio. Jahre) im Vorland der entstehenden Alpen abgelagert. Die Sedimentation fand in unterschiedlichen Bildungsbereichen statt. Zur gleichen Zeit sind deshalb, je nach Ort, verschiedene Gesteine entstanden. Diese wurden von der Alpenfaltung erfasst und insbesondere am Alpenrand und im Juragebirge steilgestellt und verfaltet bzw. übereinander geschoben.

Die geologische Nomenklatur von lithologischen Einheiten in der Molasse hat sich im Laufe der langen Erforschungsgeschichte verändert. Heute ist die Sedimentabfolge der Molasse in Formationen unterteilt, die vom Schweizerischen Komitee für Stratigraphie nach dem Konzept der lithostratigraphischen Einheiten definiert sind.

Diese Bezeichnungen sollten auch in der Praxis konsequent angewandt werden. Insbesondere bei älteren Kartenwerken und geologischen Grundlegendokumenten entspricht die Nomenklatur aber oft nicht den heute gültigen Standards, was zu Unklarheiten führen kann. Zur Erleichterung der korrekten Benennung werden im Bericht über 500 stratigraphische Begriffe einer gültigen lithostratigraphischen Formation zugeordnet.

Die offizielle lithostratigraphische Nomenklatur, wie sie im Bericht dargestellt wird, ist kohärent mit dem im Aufbau begriffenen digitalen geologischen Kartenwerk der Schweiz, das auf einer harmonisierten Legende beruht. Die Begrifflichkeit ist auf ein Minimum reduziert und vereinfacht den Austausch unter Fachleuten.

Es werden vier Lithotypen mit den entsprechenden technischen Eigenschaften beschreiben. Die Formationen werden modellhaft einem Lithotypen zugeordnet. Dies ermöglicht eine grobe geotechnische Charakterisierung der jeweiligen Formation.

Die mechanischen Eigenschaften von Molassefels sind in hohem Masse vom Verwitterungszustand abhängig und mit lithostratigraphischen Bezeichnungen kaum korrelierbar. Im Bericht wird das Vorgehen für eine einheitliche Feldbeschreibung von Molassegesteinen aufgrund bestehender Regelwerke und erdwissenschaftlichen Standards zusammengefasst. Für die vergleichsweise weichen Molassegesteine wird eine gegenüber der Norm verfeinerte Skala zur Bestimmung der Gesteins Härte vorgestellt.

Anzeige



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

**Sicherheit
auf der
ganzen Linie!**

Filialen
Emmenbrücke LU
Niederurnen GL
St. Gallen SG
Cham ZG
Trimmis GR
Oberentfelden AG
Oberglatt ZH

Markierungen + Signalisationen

- Stadt- und Gemeindestrassen
- Kantonsstrassen
- Autobahnen

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

FORSCHUNGSBERICHT NR. 1604

**Flächiges Queren in Ortszentren –
langfristige Wirkung und Zweckmässigkeit**

Ingenieurbüro Ghielmetti

MARCO GHIELMETTI

verkehrsteiner

ROLF STEINER, JAKOB LEITNER

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften zhaw,

Departement Angewandte Psychologie

MARKUS HACKENFORT, SARAH DIENER

Technische Universität Kaiserslautern

HARTMUT TOPP

Forschungsprojekt SVI 2011/023 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung
der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Ortszentren und zentrale Stadtbereiche haben vielseitige Funktionen zu erfüllen. Sie sind Wohn- und Arbeitsort, haben Versorgungsfunktionen, sind identitätsstiftend, dienen als Begegnungs- und Aufenthaltsort, sind häufig aber auch verkehrliche Transiträume. Dementsprechend gross sind die Anforderungen, die an den öffentlichen Strassenraum gestellt werden. Viele Ziele und Quellen beidseits der Strasse (z.B. Einkaufsmöglichkeiten, Postfiliale, Bankomat, Restaurant, usw.) führen zu einem dispersen Querungsbedürfnis der Zufussgehenden. In Bezug auf das Überqueren der Strasse kommen deshalb in solchen Bereichen vermehrt Betriebsregime mit Gestaltungskonzepten zum Einsatz, bei denen Zufussgehenden ein flächiges Queren entlang ihrer Wunschlinien ermöglicht und folglich auf das Anbringen von Fussgängerstreifen verzichtet wird, ohne den Vortritt des fahrenden Verkehrs in Frage zu stellen.

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Beispiele solcher Regimes im In- und Ausland realisiert, die sich überwiegend auch gut bewährt haben. Dass das Prinzip des flächigen Querens in Ortszentren geeignet sein kann, konnte auch bereits im Rahmen des Forschungsprojektes SVI 2002/001 «Fussgängerstreifenlose Ortszentren» (FLOZ 1) nachgewiesen werden. Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wurde nun als zentrale Forschungsfrage untersucht, ob die festgestellten Wirkungen auch langfristig Bestand haben und inwieweit sich diese möglicherweise über die Zeit hinweg verändern.

Die Forschung erfolgte anhand von Fallbeispielen unter Einsatz verkehrstechnischer und verkehrspsychologischer Methoden. Es wurden insgesamt zehn Fallbeispiele ausgewählt, die sich jeweils durch eine erhebliche Zahl von querenden Fussgängern sowie eine relativ hohe Verkehrsbelastung auszeichnen und somit eine entsprechende Häufigkeit von Begegnungen Fussgänger/Fahrzeug erwarten liessen. Drei bereits im Rahmen von FLOZ 1 untersuchte Fallbeispiele wurden neuerlich analysiert und um sieben «neue» Fallbeispiele ergänzt.

Jene Fallbeispiele, welche schon seit zehn Jahren und länger in Betrieb sind, haben langfristig ihre Wirkung beibehalten. Die jüngeren Fallbeispiele weisen beim Vergleich zwischen der Erstuntersuchung kurz nach Inbetriebnahme und der Zweituntersuchung ein bis vier Jahre später keine einheitliche Entwicklung auf. Wenn die Randbedingungen stimmen und die Umgestaltung sorgfältig geplant und implementiert wird, ist flächiges Queren ein zweckmässiges Betriebsregime, das sich auch langfristig bewährt.

Die Originale von PCI

**PCI Repafast[®] – Highspeed-
Reparatur für befahrene
Flächen!**

Mit der PCI Repafast[®]-Familie bieten wir die passenden Produkte für eine schnelle und sichere Instandsetzung befahrener Flächen oder zum Setzen von Schächten – auch bei tiefen Temperaturen und extremen Bedingungen. Das Ergebnis: kurze Instandsetzungszeiten, hohe Planungssicherheit und ein größeres saisonales Zeitfenster.

PCI Bauprodukte AG · Im Tiergarten 7 · 8055 Zürich
Tel. 058 958 21 21 · Fax 058 958 31 22 · pci-ch-info@basf.com

DE

FORSCHUNGSBERICHT NR. 1608

Verkehrslenkung mit Hilfe strassenseitig dargestellter Reisezeitinformationen zur Beeinflussung der Netzauslastung

B+S AG

BERNHARD ALT

URS BIRCHMEIER

REMO SCHWARZ

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

(ZHAW) Dept. Psychologie

MARKUS HACKENFORT

SARAH DIENER

Forschungsprojekt VSS 2011/902 auf Antrag des

Schweizerischen Verbands der Strassen- und

Verkehrsfachleute (VSS)

Das Forschungsprojekt fokussierte auf das Ziel eine standardisierte Reisezeitinformation für den MIV zu erarbeiten, die

1. den Verkehrsteilnehmer in seiner Routenwahl unterstützt und gleichzeitig
2. hilft, die Ziele des Verkehrsmanagements – eine gleichmässige Netzauslastung oder eine Priorisierung des ÖV – umzusetzen.

Anschliessend an einen Expertenworkshop wurde in der Probandenstudie eine Vorauswahl zwischen den verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten der Zeit und den Anzeigeformen erarbeitet. Dabei hat sich gezeigt dass die Anzeige eines direkten Reisezeitvergleichs eine gute Wahl ist. Die unter Berücksichtigung aller Kriterien beste Darstellungsform der Routenempfehlung ist die auf der Nationalstrasse verwendete Darstellungen mit «via» unter Angabe von Zwischenzielen, die einerseits möglicherweise von ihrer bereits bestehenden Bekanntheit profitiert, andererseits aber auch durch ein Verbleiben auf der Autobahn bevorteilt war (dem aktiven Verlassen der Autobahn stellt sich eine gewisse Trägheit des menschlichen Verhaltens entgegen). In der Probandenstudie zeigte sich des Weiteren auf der Kantonsstrasse eine Präferenz für eine Wegweiserdarstellung mit Pfeilen unter Angabe von Zwischenzielen.

Insgesamt kam es während des abschliessenden Feldtests auf den südwestlichen Einfallsachsen nach Baden nur selten

zu deutlichen Zeitvorteilen der Alternativroute über Autobahn und Neuenhoferstrasse im Bereich von 10 Minuten gegenüber der Stammroute über die Mellingerstrasse. Die Lichtsignalanlage am Schulhausplatz bevorzugt jeweils die stärker belastete Achse. Von der A1 aus Richtung Bern wurde hauptsächlich in der Morgenspitze die Alternativroute gewählt. Von der Kantonsstrasse aus Richtung Dättwil wurde die Alternativroute unabhängig vom Tagesverlauf kaum gewählt. Auf der Autobahn liessen sich in der Morgenspitze im März bei hohen Reisezeitdifferenzen der beiden Routen ca. zwischen 5 und 10% der Verkehrsteilnehmer von der Reisezeitanzeige beeinflussen, je nach Tageszeit und Verkehrslage. Auf der Kantonsstrasse konnten im April 2016 ca. zwischen 0 und 2% beeinflusst werden.

Künftige Projekte können von den gemachten Erfahrungen insofern profitieren, als sich die Angabe der Reisezeit der Routenalternativen als beste Variante der Zeitdarstellung herausgestellt hat. Diese Variante ist zudem wenig anfällig für Fehlinterpretationen und scheint sich international durchzusetzen. Somit kann sie in eine Aktualisierung der Richtlinie für Wechseltextanzeigen einfließen.

DE

FORSCHUNGSBERICHT NR. 683

Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit – Fortsetzung des Feldversuchs im Naxbergtunnel

TFB AG, Technik und Forschung im Betonbau, Wildegg

DR. YVES SCHIEGG

DR. FRITZ HUNKELER

D. KELLER (bis 29. Februar 2016 TFB AG)

ungricht Partner GmbH

DR. HEIDI UNGRICHT

Forschungsprojekt AGB 2005/016_OBF auf Antrag der Arbeitsgruppe Brückenforschung (AGB)

Der Versuchsstand im Naxbergtunnel bei Göschenen erlaubt die langfristige Untersuchung von Schädigungsprozessen und Massnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit unter realen Bedingungen. Die zeitliche Entwicklung des Chloridwiderstands als wichtige Inputgrösse für die Modellierung des Chlorideintrags wurde analysiert. Generell stellt

man über die Zeit eine Abnahme des Chloridmigrationskoeffizienten fest, was als «ageing» bezeichnet wird. Die Karbonatisierungstiefe im Tunnel nimmt mit steigender Wandhöhe zu. Am stärksten karbonatisiert waren die Betonplatten mit Flugasche und die hydrophobierten Platten. Durch jährlich auftretende Einzelereignisse werden grössere Mengen Wasser und Tausalz in kurzer Zeit (Tage) bis in Tiefen von über 40 mm transportiert, was den Chloridgehalt im Überdeckungsbeton rasch ansteigen lässt. Bereits nach wenigen Jahren war beim Beton mit CEM I und w/z 0,5 der lochfrassauslösende, kritische Chloridgehalt auf Höhe einer normgemäss überdeckten Bewehrung überschritten.

Auch bei den Betonen mit Hüttensand und Flugasche waren die Chloridgehalte mit dem CEM-I-Beton vergleichbar. Bei sehr dichtem Beton oder der Zugabe von Silikastaub war der Chlorideintrag merklich verlangsamt. Auch zeigt die auf gewissen Betonplatten applizierte Hydrophobierung während der gesamten Beobachtungsperiode von 12 Jahren eine gute Wirksamkeit, d.h. der Chlorideintrag war sehr gering.

Mit der gewählten Instrumentierung der Betonplatten konnte der Zeitpunkt der Initiierung der Korrosion für unterschiedliche Bewehrungsüberdeckungen bestimmt und der kritische Chloridgehalt abgeschätzt werden. Mit Ausnahme der hydrophobierten Betonplatten und des CEM-I-Betons mit w/z 0,35 wurden nach acht Jahren bis in eine Tiefe von 25 bis 30 mm Initiierungen festgestellt.

Der nichtrostende Betonstahl Top12 mit Walzhaut hat gegenüber dem normalen Betonstahl einen etwa doppelt so hohen kritischen Chloridgehalt. Nichtrostende Betonstähle 1.4401 und 1.4462 sind bis heute im passiven Zustand. Die ausgebauten Bewehrungsstäbe zeigten deutliche Lochfrassangriffe und korrodierte Stahloberflächen bis über 70%. Mit der Berechnung des Stahlabtrags aus dem Makroelementstrom kann die reale Korrosionsgeschwindigkeit unterschätzt werden.

Für die CEM-I- und Flugaschen-Betone muss für vergleichbare Exposition mit Korrosionsgeschwindigkeiten von etwa 0,2 bis 0,3 mm/Jahr gerechnet werden. Es hat sich gezeigt, dass eine Verzinsung des Betonstahls keinen Mehrwert darstellt.



Für den Bereich Verkehrsmanagement/Verkehrstechnik suchen wir Sie per 1. März 2018 oder nach Vereinbarung als

Projektleiter / Projektleiterin Lichtsignalanlagen

Ihre Tätigkeiten

- Verkehrsprojekte leiten, schweremässig die Realisierung von Lichtsignalanlagen (LSA) als Bestandteil von Tiefbauprojekten
- Den Gesamtprojektleiter beim Aufbau, Betrieb und bei der Erweiterung des Verkehrsmanagements der Stadt Bern unterstützen
- Die Verkehrsplanung mittels Simulationen und Beurteilungen von Verkehrsknoten bei Optimierungen unterstützen
- Bei der Erarbeitung von Verkehrskonzepten der Verkehrsplanung als Fachspezialist mitwirken

Ihr Profil

- Hochschul- oder Fachhochschulabschluss als Ingenieur/in, vorzugsweise als Verkehrsingenieur/in
- Erfahrung im Projektmanagement idealerweise in Verkehrslösungen / Verkehrsinfrastrukturen
- Fachkenntnisse in der Elektromechanik, Verkehrstechnik und/oder Informatik
- Gesamtheitliches Denken, selbständiges und kundenorientiertes Handeln
- Kontakt- und Kommunikationsfähigkeit

Arbeiten für die Stadt Bern

Lebensqualität: Ein einziges Wort sagt aus, warum es sich für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Stadt Bern jeden Tag lohnt, sich einzusetzen. Für ihre Stadt, für die Menschen, die gerne hier leben.

Die Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün sorgt für einen attraktiven öffentlichen Raum. Das Tiefbauamt ist Werkeigentümer und Bauherr/Betreiber aller städtischen Tiefbauinfrastrukturen.

Gleichstellung und Integration sind uns wichtig. Die Stadt Bern lebt von der Vielfalt ihrer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Ihr Kontakt

Weitere Auskünfte erteilt Ihnen gerne Christian Beiner, Leiter Verkehrsmanagement/Verkehrstechnik, Telefon 031 321 68 12.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.
Tiefbauamt der Stadt Bern, Personal, Postfach, 3001 Bern,
personelles.tab@bern.ch



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement
für Umwelt, Verkehr, Energie
und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FACHSPEZIALIST/FACHSPEZIALISTIN TUNNEL/GEOTECHNIK

80–100% / ITTIGEN

Bewegt die Schweiz.

Im Bereich Standards und Sicherheit der Infrastruktur der Abteilung Strassenetze übernehmen Sie Teilbereiche des Fachgebietes Tunnel/Geotechnik in Eigenverantwortung und unterstützen den Bereich in allen Belangen.

Ihre Aufgaben

- Definieren einheitlicher Vorgaben (Richtlinien und Weisungen) für die Nationalstrassen und Erarbeiten von fachlichen Konzepten für den Fachbereich Tunnel/Geotechnik
- Leiten des Betriebs und der Weiterentwicklung der fachspezifischen Fachapplikation KUBA (Kunstabauten und Tunnel) aus fachlicher Sicht
- Leiten von Arbeitsgruppen und Vertreten des Amtes in nationalen Gremien (z. B. Normierungskommissionen)
- Initiieren und Begleiten von Forschungsarbeiten und Sicherstellen, dass neueste Erkenntnisse und Entwicklungen aus Forschung und Industrie in die Vorgaben einfließen

Ihre Kompetenzen

- Ausbildung als dipl. Bauingenieur/in ETH oder FH mit fundierten Fachkenntnissen und mehrjähriger Berufserfahrung im Tunnelbau und in Geotechnik, vorzugsweise im Strassenbauwesen
- Verfügen über Erfahrung im Projektmanagement und in der Erhaltungsplanung
- Ausgeprägtes analytisches und konzeptionelles Denken mit Freude an der Entwicklung neuer Methoden und an der Zusammenarbeit mit Spezialisten (auch aus anderen Fachgebieten), Interesse an Forschung und Innovation sowie an der praktischen Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse
- Motivierte, offene Persönlichkeit mit Bereitschaft, Wissen und Können innovativ einzusetzen
- Rasche Auffassungsgabe und redaktionelles Geschick, klare mündliche und schriftliche Ausdrucksweise, gute aktive Kenntnisse mindestens einer zweiten Amtssprache und wenn möglich passive Kenntnisse einer dritten Amtssprache

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) ist für den Bau, den Unterhalt und den Betrieb des Nationalstrassennetzes verantwortlich und setzt sich für eine nachhaltige und sichere Mobilität auf der Strasse ein. Es ist Teil des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Als Mitarbeiterin oder Mitarbeiter des ASTRA bewegen Sie die Schweiz. Sie übernehmen Verantwortung in herausfordernden Projekten, die alle Regionen voranbringen und verbinden. Das ASTRA bietet Ihnen die Möglichkeit, in einem modernen Arbeitsumfeld einen wesentlichen Beitrag für die erfolgreiche Entwicklung der Schweiz zu leisten.

Die Bundesverwaltung achtet die unterschiedlichen Biografien ihrer Mitarbeitenden und schätzt deren Vielfalt. Gleichbehandlung genießt höchste Priorität.

Onlinebewerbung unter www.stelle.admin.ch, Ref. Code 31796

Ergänzende Auskünfte erteilt Ihnen gerne Herr Christian Gammeter, Fachbereichsleiter Tunnel/Geotechnik, Tel. 058 463 82 87.

Weitere interessante Stellenangebote der Bundesverwaltung finden Sie unter www.stelle.admin.ch

BlipTrack Bluetooth-Technologie, eingesetzt von Innolutions, verbessert Verkehrsfluss markant

Der Kanton Zürich geht neue Wege in der Erhebung von Verkehrsdaten



Die schnelle und ungehinderte Erreichbarkeit eines gewünschten Zielorts ist der Wunsch jedes Reisenden. Diese Erreichbarkeit hat einen wesentlichen Einfluss auf die individuelle Verkehrsmittel- und Routenwahl. Während im Schienenverkehr die Reisezeiten in Form von Fahrplänen vorliegen, sind sie im Strassenverkehr weniger vorhersehbar. Bedingt durch hohes Verkehrsaufkommen und Staus sind die Reisezeiten auf der Strasse viel grösseren Schwankungen unterworfen und schwerer zu erfassen. Das Reisezeitenmonitoring bezweckt, verlässliche und nachvollziehbare Reisezeiten im Strassenverkehr unabhängig zu erheben und diese für die Verkehrsplanung zu nutzen.

Reisezeitenmonitoring

Die Kenntnis der Reisezeiten im Strassenverkehr ist eine unverzichtbare verkehrsplanerische Grundlage und ein wichtiger Indikator für die Verkehrsqualität auf Strassen. Die Reisezeiten sind wesentlich vom Verkehrsaufkommen abhängig und geben darüber Auskunft, ob der Verkehr «fliesst» oder es zu Staus und Reisezeitverlusten kommt. Die Streuung der Reisezeiten gibt zudem Auskunft über die Zuverlässigkeit des Verkehrssystems «Strasse».

Aus den gewonnenen Daten lassen sich frühzeitig Handlungsempfehlungen für die Verkehrsplanung ableiten. Die ermittelten Reisezeiten werden u.a. für Vergleiche mit dem Öffentlichen Verkehr (hier auf wesentlichen S-Bahn-Achsen) sowie dem Velo herangezogen. Aus dem Vergleich der verschiedenen Zeiten können unter anderem Rückschlüsse auf die Konkurrenzfähigkeit einzelner Verkehrsarten auf bestimmten Strecken gezogen werden. Permanente Messungen erlauben es, die Reisezeiten auch im Verkehrsmanagement zur Verkehrssteuerung zu nutzen. Voraussetzung hierfür ist ein ausreichend dichtes Messnetz. Reduzierte Reisezeiten durch bessere Verkehrsinformationen sollen durch eingesparte Zeit, eine bessere Netzauslastung sowie reduzierten Treibstoffverbrauch und weniger Emissionen letztlich auch volkswirtschaftlichen Nutzen stiften.

Technologie

Die Messung der Reisezeiten geschieht durch die ortsfeste Detektion von Bluetooth/WIFI-Signalen vorbeifahrender Fahrzeuge. Diese Signale können beispielsweise von Freisprechanlagen, mobilen Endgeräten wie Mobilfunktelefonen oder Notebooks stammen. Da nicht jedes Fahrzeug mit einem Bluetooth/WIFI-fähigen Endgerät ausgestattet ist – dagegen einige sicherlich mit mehreren – ist eine Vollerhebung mit dieser Methode nicht realisierbar; dies ist aber bei der Ermittlung von statistisch abgesicherten Reisezeiten auch nicht notwendig. Hier genügt eine Stichprobengrösse von etwa 5 %.

Filteralgorithmen

Die erfassten Fahrten werden anschliessend automatisch durch diverse Algorithmen gefiltert und sortiert. BlipTrack ist in der Lage, Ausreisser zu erkennen und auszufiltern. Unter dem Begriff Ausreisser sind beispielsweise Velos, Fussgänger oder auch Fahrzeuge, die einen Halt eingelegt haben, zu verstehen. Die Filter basieren auf der Berechnung einer «normalen» Reisezeit auf Grundlage der Reisezeiten aller Geräte, die im gleichen Zeitfenster (bezogen auf die Zeit, bei hohem Verkehrsaufkommen, oder die Anzahl der erfassten Geräte) erfasst wurden. Wenn die Reisezeit einzelner Fahrten zu sehr von der «normalen» Reisezeit abweicht, werden diese als «Ausreisser» markiert und bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Da die normale Reisezeit auf der Basis aller anderen Messungen bestimmt wird, reagiert der Filter sehr schnell auf Veränderungen der Reisezeiten, wie beispielsweise bei Stau.



Tracking.

Datenaufbereitung und Datenauswertung

Die Daten der Bluetooth-Sensoren werden mittels GSM/GPRS in regelmässigen Abständen an die Firma BLIP Systems übermittelt. Für die weitergehende Aufbereitung und Auswertung dieser Daten werden die einzelnen Sensoren definierten Haupttrouten zugeordnet.

Bei Haupttrouten ohne mögliche Alternative ist dies relativ einfach, da hierzu nur die IDs der Bluetooth-Sensoren für den Start- und Zielpunkt angegeben werden müssen. Sofern es auch Alternativrouten gibt, müssen auch auf diesen Zwischenmesspunkte eingerichtet werden. Für die Bestimmung der Reisezeit werden schliesslich nur die Fahrten berücksichtigt, die ausschliesslich an den zu einer Haupttroute gehörigen Sensoren erfasst werden.

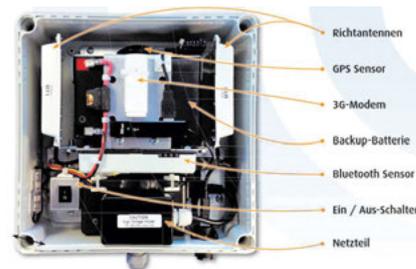
Um zunächst einen Überblick zu erhalten, welche Detektionsraten an einem Querschnitt erzielt werden, wird die Anzahl der detektierten Bluetooth-Geräte mit den Daten von benachbarten Dauerzählstellen verglichen. Von den insgesamt elf Standorten, die sich in der Nähe einer Dauerzählstelle befinden, werden zwei Standorte ausgewählt. Anschliessend erfolgte die Einrichtung der Routen für die anschliessende Auswertung, die Definition der notwendigen Filterkriterien sowie der auszuwertenden Kenngrössen.

Datenschutz

Die Messungen berücksichtigen die gesetzlichen Datenschutzvorgaben vollumfänglich. So werden sie mit einem Zeitstempel sowie dem verschlüsselten Code der eindeutigen MAC-ID (unverwechselbare Hardware-Kennung) versehen. Dadurch ist eine Rückumwandlung der Daten nicht mehr möglich und die Identifikation von einzelnen Personen oder personenbezogenen Daten ist ausgeschlossen.

Weitere Anwendungsgebiete dieser Technologie

Neben Verkehrsmessungen in der Schweiz wird die BlipTrack Lösung bereits erfolgreich für Optimierungsmassnahmen im Strassenverkehr z.B. in Neuseeland, USA, Grossbritannien, Dänemark, Schweden, Norwegen, Kanada und Irland benützt. BlipTrack ist auch in mehr als 25 internationalen Flughäfen implementiert, einschliesslich Genf, New York, Amsterdam, Dublin, Toronto, Mailand, Barcelona und Helsinki. Auch in Häfen, Bahnhöfen und Skigebieten findet die Technologie häufig Anwendung.



Bluetooth Sensor

Projektbeteiligte:

Amt für Verkehr, Kanton Zürich

Das Amt für Verkehr stellt sicher, dass die Bevölkerung und die Wirtschaft des Kantons Zürich auch in Zukunft von einem guten und leistungsfähigen Verkehrsangebot profitieren. Zu den wichtigsten Aufgaben gehören die Umsetzung des Gesamtverkehrskonzeptes und der Agglomerationsprogramme, die strategische Planung der Strasseninfrastrukturen sowie das Verkehrsmanagement.

Kontakt: Dr. Christian Ordon, +41 043 259 26 11;
christian.ordon@vd.zh.ch

BLIP Systems

BLIP Systems ist einer der führenden Anbieter von Datenmanagement- und Analyse-Tools und schafft einfache Lösungen für Entscheidungshilfen von Endverbrauchern. Die in-house entwickelte BlipTrack Lösung besteht aus High-Tech-Sensoren, einer gehosteten Plattform zur Analyse und einer web-basierten Benutzerschnittstelle.

Kontakt: Christian Bugjalsius Carstens, +45 511 685 86;
christian.carstens@blipsystems.com

Innolutions GmbH

Innolutions ist in Villnachern AG beheimatet und misst Fahrzeuge aller Art sowie Fussgänger, Velos, Züge oder sogar Schiffe in der ganzen Schweiz. Die Messdaten werden zu statistischen Zwecken erfasst und nach allen möglichen Kriterien ausgewertet. Sämtliche Leistungen einer Verkehrszählung oder eines Reisezeitenmonitorings bis hin zum abschliessenden Bericht mit aussagekräftigen Auswertungen und den entsprechenden Diagrammen können bei Innolutions bezogen werden, ohne dass Geräte angeschafft, betrieben und unterhalten werden müssen. Gemessen wird stets mit modernstem Equipment. Innolutions – zählen Sie mit uns.

Kontakt: Remo Schiltknecht, +41 56 511 04 00;
remo.schiltknecht@innolutions.ch

Innolutions ist Partner von BLIP Systems in der Schweiz und führt das Projekt im Auftrag des Kantons Zürich durch.

INNOLUTIONS
die Schweizer Lösung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral des routes OFROU

SPÉCIALISTE DES TECHNOLOGIES ENVIRONNEMENTALES

80–100% / ITTIGEN

Faites avancer la Suisse!

Dans le domaine Standards et sécurité de l'infrastructure de la division Réseaux routiers vous prenez la responsabilité de certaines activités du secteur Technologies environnementales et assistez le domaine dans l'ensemble de ses tâches.

Vos tâches

- Définir des prescriptions homogènes pour les routes nationales (directives et instructions) ainsi que des concepts relatifs aux technologies environnementales, en particulier dans le domaine du bruit
- Diriger l'exploitation et le développement technique de banques de données sur l'environnement, en particulier le cadastre sur le bruit
- Organiser des journées de formation sur des sujets environnementaux à l'intention d'ingénieurs
- Prendre l'initiative et assurer le suivi de projets de recherche et veiller à ce que les derniers développements de la recherche et de l'industrie soient intégrés dans les prescriptions

Vos compétences

- Diplôme d'ingénieur ETH en environnement ou en génie rural, ou diplôme de géographe ou de physicien, assorti dans l'idéal d'une formation complémentaire dans les SIG ou la lutte contre le bruit
- Connaissances solides en matière de technologies environnementales, notamment dans la maintenance de banques de données sur l'environnement
- Expérience dans la gestion de projets
- Esprit d'analyse et pensée conceptuelle, plaisir à développer de nouvelles méthodes et à collaborer avec des spécialistes (parfois issus d'autres secteurs), intérêt pour la recherche et l'innovation ainsi que pour la mise en pratique des connaissances
- Vivacité d'esprit, talent rédactionnel, aisance à s'exprimer autant à l'oral qu'à l'écrit, bonne connaissance active d'au moins une deuxième langue officielle et, si possible, une connaissance passive d'une troisième langue officielle

L'Office fédéral des routes (OFROU) est responsable de la construction, de l'entretien et de l'exploitation du réseau des routes nationales et s'engage en faveur d'une mobilité sûre et durable sur l'ensemble du réseau routier. L'OFROU est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

En tant que collaborateur de l'OFROU, vous faites avancer la Suisse. Vous assumez la responsabilité de projets exigeants qui contribuent au développement des différentes régions du pays en les reliant entre elles. L'OFROU vous offre un cadre de travail moderne dans lequel vous contribuerez de manière significative à la bonne marche du pays.

L'administration fédérale est attentive aux différents parcours de vie de ses collaborateurs et collaboratrices et en apprécie la diversité. Elle accorde la plus haute priorité à l'égalité de traitement.

Candidature en ligne sur www.stelle.admin.ch, code de référence 31957

Pour tout renseignement complémentaire, veuillez vous adresser à Madame Marguerite Trocmé, responsable du secteur Environnement, tél. 058 462 93 13.

Vous trouverez d'autres annonces intéressantes de la Confédération à l'adresse suivante: www.emploi.admin.ch



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FACHSPEZIALIST/FACHSPEZIALISTIN UMWELTECHNIK

80–100% / ITTIGEN

Bewegt die Schweiz.

Im Bereich Standards und Sicherheit der Infrastruktur der Abteilung Strassennetze übernehmen Sie Teilbereiche des Fachgebietes Umweltechnik in Eigenverantwortung und unterstützen den Bereich in allen Belangen.

Ihre Aufgaben

- Definieren einheitlicher Vorgaben (Richtlinien und Weisungen) für die Nationalstrassen und Erarbeiten von Konzepten für den Fachbereich Umweltechnik, insbesondere im Fachgebiet Lärm
- Leiten des Betriebs und der fachlichen Weiterentwicklung von Umweltdatenbanken, insbesondere des Lärmkatasters
- Organisation von Weiterbildungsanlässen zu Umwelthemen für Ingenieure
- Initiieren und Begleiten von Forschungsarbeiten und Sicherstellen, dass neuste Erkenntnisse und Entwicklungen aus Forschung und Industrie in die Vorgaben einfließen

Ihre Kompetenzen

- Ausbildung als Dipl. Ing. ETH, Umwelt- bzw. Kulturingenieur oder Dipl. Geograph oder Physiker/in, optimalerweise mit Zusatzausbildung in GIS und/oder Lärmbekämpfung
- Fundiertes Fachwissen in Umweltechnik, insbesondere in der Betreuung von Umweltdatenbanken
- Verfügen über Erfahrung im Projektmanagement
- Ausgeprägtes analytisches und konzeptionelles Denken mit Freude an der Entwicklung neuer Methoden und an der Zusammenarbeit mit Spezialisten (auch aus anderen Fachgebieten), Interesse an Forschung und Innovation sowie an der praktischen Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse
- Rasche Auffassungsgabe und redaktionelles Geschick, klare mündliche und schriftliche Ausdrucksweise, gute aktive Kenntnisse mindestens einer zweiten Amtssprache und wenn möglich passive Kenntnisse einer dritten Amtssprache

Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) ist für den Bau, den Unterhalt und den Betrieb des Nationalstrassennetzes verantwortlich und setzt sich für eine nachhaltige und sichere Mobilität auf der Strasse ein. Es ist Teil des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Als Mitarbeiterin oder Mitarbeiter des ASTRA bewegen Sie die Schweiz. Sie übernehmen Verantwortung in herausfordernden Projekten, die alle Regionen voranbringen und verbinden. Das ASTRA bietet Ihnen die Möglichkeit, in einem modernen Arbeitsumfeld einen wesentlichen Beitrag für die erfolgreiche Entwicklung der Schweiz zu leisten.

Die Bundesverwaltung achtet die unterschiedlichen Biografien ihrer Mitarbeitenden und schätzt deren Vielfalt. Gleichbehandlung geniesst höchste Priorität.

Onlinebewerbung unter www.stelle.admin.ch, Ref. Code 31957

Ergänzende Auskünfte erteilt Ihnen gerne Frau Marguerite Trocmé, Fachbereichsleiterin Umwelt, Tel. 058 462 93 13.

Weitere interessante Stellenangebote der Bundesverwaltung finden Sie unter www.stelle.admin.ch

Wenn das Ihre Tour ist, ...



... dann ist das Ihr Truck:



Der Atego.

Schmale Gassen. Enge Kurven. Und trotzdem entspannt. Durch die tiefgezogenen Front- und Seitenscheiben und die äusserst präzise Schaltung hat der Fahrer stets die beste Sicht und kann durch engste Gassen manövrieren. Mehr Informationen auf www.mercedes-benz.com/atego

Mercedes-Benz

Trucks you can trust

