



Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP 2: Labortechnische Bestimmung der Dauerhaftigkeit lärmarmer Beläge

**Paquet de recherche : Revêtements de routes peu-bruyants
à l'intérieur des localités
EP2 : Détermination de la durabilité des couches d'enrobé
phono-absorbant en laboratoire**

**Research package: Low noise road surfaces in urban
situations
EP2: Laboratory assessment of the durability of low noise
pavements**

**IMP Bautest AG
Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH
Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.**

**Müller-BBM AG Schweiz
Thomas Beckenbauer, Dr.-Ing.**

**Forschungsprojekt ASTRA 2010/011 auf Antrag des Bundesamtes für
Strassen (ASTRA)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Christian Angst, Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH

Projektteam

Philip Bürgisser, Dr. rer. nat., dipl. Erdw.

Thomas Beckenbauer, Dr.-Ing.

Begleitkommission

Präsident

Luzia Seiler

Mitglieder

Sabine Würmli

Hans-Peter Beyeler

Sophie Hoehn

André Magnin

Oliver Jacobi

Benedikt Eberle

Cyril Durussel

Hanspeter Gloor

Nicolas Gouneaud

Martin Bürgi (bis 2014)

Dejan Lukic

Yves Pillonel

KO-Finanzierung des Forschungsprojekts

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Ausgangslage	13
1.2 Ziele des Forschungsprojektes	14
1.3 Organisation und Beteiligte	16
1.4 Grundidee IMPACT	17
1.4.1 Verkehrsüberrollungen	17
1.4.2 Bestimmung des Rollgeräusches im Labor	19
2 IMPACT Maschinen I und II	21
2.1 Erste Erfahrungen mit dem IMPACT I	21
2.2 Funktionsweise IMPACT II	23
2.2.1 Parameterstudien	24
2.2.2 Folgerungen	32
3 IMPACT III	35
3.1 Konzept und Funktionsweise	35
3.2 Zusammenfassung der Geräteentwicklung	36
3.3 Festlegung des Prüfreifens	37
3.3.1 Reifendimension	37
3.3.2 Reifenprofil	39
3.3.3 Herstellung der Prüfreifen	39
3.3.4 Bezeichnung der hergestellten Prüfreifen	41
3.4 Parameterstudie	42
3.4.1 Auflast	42
3.4.2 Reifendruck	43
3.4.3 Schlupf	43
3.4.4 Temperatur	44
3.4.5 Reifenprofil	45
3.4.6 Festlegung der Versuchsparameter	46
3.5 Herstellung und Verdichtung der Probeplatten	46
3.5.1 Festlegung des Standardverfahrens	46
3.5.2 Validierung der Probeplatten	46
4 Bestimmung des Rollgeräusches im Labor	49
5 Validierung des Prognoseverfahrens	51
5.1 Wahl der Deckschichten	51
5.2 Messprogramm	52
5.3 Ergebnisse	52
5.3.1 Luftströmungswiderstand	52
5.3.2 Schallabsorption	55
5.3.3 Texturwerte	55
5.3.4 Visuelle Aufnahme der Probeplatten	61
5.3.5 SPERoN-Modellierung	65
5.4 Zusammenfassung der Validierung	67
5.4.1 Herstellung der Platten	67
5.4.2 Akustische Dauerhaftigkeit	67

6	Folgerung und Ausblick.....	69
6.1	Folgerungen.....	69
6.2	Ausblick.....	70
	Anhänge.....	71
	Glossar.....	75
	Literaturverzeichnis.....	77
	Projektabschluss	79
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	83

Zusammenfassung

Lärmindernde Beläge, welche nach dem Einbau sehr wirksam sind, verlieren leider oft innert weniger Jahre ihre akustischen Eigenschaften. Diese Erkenntnis aus früheren nationalen wie auch internationalen Forschungsarbeiten führte zur Fokussierung der weiteren Forschung auf das Thema der Dauerhaftigkeit der lärmarmen Beläge. Dabei sind sowohl die mechanische wie auch die akustische Dauerhaftigkeit von grosser Bedeutung. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschliesslich mit der akustischen Dauerhaftigkeit.

Als Ursache für den Verlust der akustischen Eigenschaften werden Veränderungen in der Poren- und Oberflächentextur gesehen. Um Strassenoberflächen mit möglichst dauerhaften, akustischen Eigenschaften 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. Eine dafür geeignete Prüfmethode ist zum heutigen Zeitpunkt nicht vorhanden. Das vorliegende Forschungsprojekt soll eine bereits im Prototyp entwickelte Prüfmaschine IMPACT anwenden und die Prüfparameter optimieren. Gelingt es, dank dieser neuen Methode, relevante Aussagen zur akustischen Dauerhaftigkeit eines Belages zu ermitteln, so kann die Entwicklung lärmarmen Strassenbeläge wesentlich beschleunigt werden. Da der Einbau von Erprobungsstrecken sehr aufwändig und kostspielig ist, bietet eine Laboruntersuchung im Zeitraffer grosse Vorteile.

Die Ziele der Arbeit wurden im Rahmen der Ausschreibung wie folgt festgelegt:

- Festlegung der Prüfparameter für die labortechnische Beanspruchung von Platten
- Um das Langzeitverhalten im Zeitraffer zu simulieren, ist die Oberflächenstruktur derart zu beanspruchen, dass weder Spurrinnen noch Abdrücke der Reifen-Profilklötze erzeugt werden. Die Oberfläche des Prüfkörpers soll im Labor praxisnah und vollflächig beansprucht werden, um die gleichen Mechanismen der Veränderungen der Oberfläche nachzubilden, wie sie in der Praxis entstehen.
- Verwendung üblicher oder neuer Laborprüfverfahren. Die Prüfmethode soll mit Mischgutmengen durchführbar sein, welche im Labor mit üblichen Mischern hergestellt werden können. Übliche Labormischer sind in der Lage Chargen von ca. 50 bis 80 kg zu mischen. Für grössere Mengen sind spezielle Mischer erforderlich. Die Verdichtung soll gemäss SN 670 433 mit einer Stahl-Glattmantelwalze erfolgen. Für die eigentliche mechanische Beanspruchung gibt es keine geeigneten Prüfgeräte auf dem Markt.
- Validierung
Die Prüfmethode wird anhand der Begleitung und des Monitorings von Pilotstrecken validiert. Ebenfalls werden Platten aus dem EP1 sowie Prüfkörper (Belagsausschnitte) untersucht, welche aus den Pilotstrecken ausgebaut wurden.

Im Verlauf der Arbeiten musste erkannt werden, dass der zu Beginn eingesetzte Prototyp der Prüfmaschine IMPACT II (**I**nvestigation **M**achine for **P**avement **AC**oustic **T**ic Durability) wesentliche, konstruktive Mängel aufwies, welche dazu führten eine komplett neue Prüfmaschine (IMPACT III) zu bauen. Dies brachte zeitliche Verzögerungen mit geringen Mehrkosten für das Projekt, denn die eigentliche Entwicklung der Prüfmaschine war nicht Gegenstand der Zielsetzung und wurde von IMP finanziert. Erfreulich ist, dass mit dem IMPACT III nun ein Gerät zur Verfügung steht, mit welchem die wesentlichen Parameter nachvollziehbar und präzise variiert werden können. Das Gerät hat in mehreren Mio. Überrollungen seine Zuverlässigkeit und Funktionstauglichkeit unter Beweis gestellt.

Dem verwendeten Prüfreifen kommt eine zentrale Bedeutung zu. Dieser soll nicht nur ein optimales Profil aufweisen, welches zu einer gleichmässigen und vollflächigen Beanspruchung der Prüfkörper-Oberfläche führt, sondern er soll auch dauerhaft verfügbar sein. Es konnte eine Lösung mit einem Reifenhersteller gefunden werden, mit welcher ein geeignetes Reifenprofil in der erforderlichen Dimension in gleichbleibender Gummimischung zur Verfügung steht.

Das in der Reifen-Fahrbahn-Kontaktfläche entstehende Rollgeräusch lässt sich im Labor nicht direkt messen, da die Antriebsmotoren zu laut sind. Eine Abkapselung des Reifens würde konstruktive Massnahmen erfordern, welche die Ausmasse der Prüfmaschine extrem anwachsen liesse. Dies würde zu einer Rundlauf-Anlage mit einem Durchmesser von mehreren Metern führen. Aus diesem Grunde stützt sich die IMPACT-Methode auf die rechnerische Bestimmung der Rollgeräusche, welche aufgrund von physikalischen Messungen an der Belagsoberfläche erfolgt. Zur Berechnung des Rollgeräusches wurde die Software SPERoN [26] ausgewählt. Abklärungen vor Beginn des Forschungsprojektes zeigten, dass eine Anwendung der SPERoN-Software im Labor möglich ist

SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise) ist ein mathematisches Simulationsmodell, welches aus Kennwerte der Oberfläche (Textur, Luftströmungswiderstand, akustische Adsorption und mechanische Impedanz) die akustischen Eigenschaften eines Decksbelages berechnen kann. Dabei greift das Programm auf eine Datenbank mit ca. 30 verschiedenen Reifen, welche bezüglich ihrer dreidimensionalen Profilgeometrie und ihrer struktur-dynamischen Eigenschaften vermessen wurden. So werden im SPERoN-Simulationsmodell nicht nur die Eigenschaften der Fahrbahnoberfläche berücksichtigt, sondern auch die unterschiedlichen Reifen und deren Reaktion auf Unterschiede der Fahrbahnoberfläche. Die bisherigen Anwendungen des Modells basierte auf in situ-Messungen, die für die Anwendung im Labor erforderlichen Anpassungen wurden im Rahmen eines anderen Forschungsprojektes (EP 4) durchgeführt.

Die durchgeführte Parameterstudie umfasste die folgenden Prüfparameter: Reifeninnendruck, Auflast, Reifenprofil, Schlupf und Prüftemperatur. Es wurden zwei Mischgutsorten SDA 4 C und SDA 8B untersucht. Die Veränderungen der Textur der Oberfläche wurden durch Messungen des Luftströmungswiderstandes, der Textur und der akustischen Absorption festgehalten. Dabei wurden im Labor mittels Walz-Segmentverdichter hergestellte Probekörper verwendet

Sowohl die einzelnen Parameter Luftströmungswiderstand und Texturtiefe wie auch die mittels SPERoN berechneten Schallpegel verändern sich in Abhängigkeit der Anzahl Überrollungen in ähnlicher Art und Weise, wie dies in der Praxis beobachtet wurde. Die Entwicklung des Rollgeräusches ist bei der Probeplatte mit dem gröberen Mischgut (SDA 8) deutlich erkennbar, bei der Probeplatte mit dem feinkörnigeren Mischgut (SDA 4) liegt die Zunahme des Schallpegels innerhalb der Messgenauigkeit.

Bei der Beanspruchung von Asphalt-Platten im IMPACT ist grundsätzlich die gleiche Entwicklung der akustischen Eigenschaften wie in der Praxis zu beobachten. Allerdings entsprechen die erzielten akustischen Veränderungen nicht den ursprünglichen Erwartungen, zudem war eine sehr hohe Anzahl Belastungszyklen erforderlich.

Mit dem IMPACT III steht nun ein neues Gerät zur Verfügung, mit welchem die wesentlichen Parameter präzise variiert werden können; es hat in mehreren Millionen Überrollungen seine Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt. Der erzielte Zeitraffer-Effekt ist allerdings noch zu bescheiden und sollte durch weitere Abklärungen unter Berücksichtigung weiterer Alterungsvorgänge (Bewitterung, Temperaturzyklen, UV-Strahlung etc) verbessert werden.

Résumé

Les enrobés phono-absorbants, très efficaces directement après leur pose, perdent malheureusement souvent leurs propriétés acoustiques en quelques années seulement. Fort de ce constat issu de travaux de recherche précédents au niveau national et international, l'attention du présent projet de recherche a été mis sur la durabilité des enrobés phono-absorbants. Dans ce contexte, la durabilité mécanique aussi bien que la durabilité acoustique sont d'une importance cruciale. La présente partie de la recherche ne concerne que la durabilité acoustique des enrobés.

On considère des modifications de la texture des vides et de la surface des enrobés comme étant à l'origine de la dégradation des propriétés phono-absorbantes. Afin d'améliorer la durabilité des propriétés acoustiques des surfaces des routes, une optimisation spécifique de la recette des enrobés est indispensable. Une telle optimisation nécessite des essais en laboratoire finement modulables et qui permettent d'évaluer la durabilité des enrobés. Pour ceci, actuellement, aucune méthode adéquate n'existe encore. L'objectif du présent projet de recherche est l'utilisation d'un prototype de l'appareil « IMPACT » et d'en optimiser les paramètres d'essai. Si cette nouvelle méthode d'essai permettait une évaluation pertinente sur la durabilité acoustique d'un enrobé, elle permettrait d'accélérer considérablement le développement des enrobés phono-absorbants. Considérant les efforts et les coûts nécessaires pour la pose d'une planche d'essai en grandeur nature, un essai laboratoire accéléré a des avantages incontestables.

L'appel d'offre pour le présent travail de recherche a défini les objectifs suivants :

- Déterminer les paramètres d'essai pour la sollicitation de plaques d'essai en laboratoire
- Afin de simuler en accéléré le comportement de la surface à long terme, elles doivent être soumises à une sollicitation mécanique sans former d'ornières ni de traces de profil de pneu. La surface de l'éprouvette doit être soumise en laboratoire à une sollicitation proche de la réalité et se faire en pleine surface afin de reproduire les mêmes mécanismes qui modifient la texture de la surface dans le monde réel.
- Utilisation de méthodes laboratoire usuelles ou nouvelles. La méthode d'essai doit être applicable avec des quantités de matériaux qu'on peut fabriquer en laboratoire avec un malaxeur standard. Les malaxeurs standards de laboratoire permettent de fabriquer des gâchées d'enrobé de 50 à 80kg. Pour des gâchées plus importantes, des malaxeurs spéciaux sont nécessaires. Le compactage de l'enrobé doit se faire à l'aide d'un rouleau en acier selon SN 670 433. Pour la sollicitation mécanique proprement dite, aucun appareillage n'existe sur le marché.
- Validation
La méthode d'essai est validée à l'aide du suivi et du monitoring de planches d'essai. De même, des plaques fabriquées pour le projet EP1, ainsi que des plaques prélevées dans les planches d'essais seront analysées.

Au cours de l'avancement des travaux de recherche il s'est avéré, que l'appareil utilisé au début, le prototype IMPACT II (Investigation Machine for Pavement **AC**ousti**Tic** Durability), présentait des défauts de construction importants. Le développement d'un tout nouvel appareil (IMPACT III) a été nécessaire. Cette adaptation a provoqué un certain retard du projet ainsi que des coûts supplémentaires mineurs. En effet, le développement de l'appareil d'essai ne faisait pas partie du projet de recherche et a été financé par IMP. Il est d'autant plus réjouissant, qu'avec l'IMPACT III, on dispose aujourd'hui d'un appareil permettant de valider les paramètres les plus importants d'une

manière répétable et précise. L'appareil a démontré sa fiabilité et sa fonctionnalité pendant plusieurs millions de passages de roue.

Les caractéristiques du type de pneu utilisé sont cruciales. Il doit avoir non seulement un profil optimal, permettant une sollicitation régulière et sur toute la surface de l'éprouvette, mais il doit être également disponible sur le long terme. Une solution a été trouvée avec un fournisseur, garantissant un profil et des dimensions de pneu appropriés, le tout avec un mélange de gommages constant.

En laboratoire, à cause du bruit des moteurs, le bruit de roulement du pneu ne peut pas être mesuré directement à l'interface de la roue et la surface de la chaussée. Une isolation acoustique de la roue nécessiterait de telles mesures, que les dimensions de l'appareillage seraient démesurées. En effet, une installation circulaire avec un diamètre de roulement de plusieurs mètres serait nécessaire. Pour cette raison, la méthode IMPACT utilise un modèle mathématique pour calculer le bruit de roulement en se basant sur des mesures physiques de la surface de la chaussée. Le bruit de roulement est calculé à l'aide du logiciel SPERoN [26]. Une vérification de l'aptitude avant le début du projet de recherche a confirmé la faisabilité de l'application du logiciel SPERoN en laboratoire.

SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise) est un modèle de simulation mathématique qui permet de calculer les propriétés acoustiques d'une couche de roulement sur la base de mesures des propriétés de surface (texture, résistance à la perméabilité à l'air, absorption acoustique, impédance mécanique). Le logiciel comprend une base de données avec env. 30 différents types de pneu, regroupant les informations concernant leur géométrie de profil en 3 dimensions et leurs caractéristiques structure-dynamiques. Ainsi, le logiciel SPERoN ne prend pas seulement en compte les propriétés de la surface de la couche de roulement, mais également les différents types de pneu et leur comportement en cas de modification des surfaces de chaussée. Jusqu'à présent, l'application du modèle SPERoN se basait sur des mesures in situ. Les adaptations nécessaires pour une utilisation en laboratoire ont été développées dans le projet de recherche EP4.

L'étude des paramètres effectuée comprend les paramètres d'essai les suivants : la pression du pneu, la charge, le profil, le glissement et la température à l'essai. Deux sortes d'enrobés SDA 4C et SDA 8B ont été analysées. L'évolution de la texture de la surface a été analysée par la mesure de la résistance à la perméabilité à l'air, de la texture et de l'absorption acoustique. Les éprouvettes utilisées pour l'étude ont été fabriquées en laboratoire à l'aide de compacteur de plaque.

Les paramètres individuels, tels que la résistance à la perméabilité à l'air et la profondeur de texture, mais également le niveau acoustique calculé par SPERoN, évoluent en fonction du nombre de passages de roue d'une manière similaire aux observations faites dans la réalité. L'évolution du bruit de roulement est clairement observée dans le cas de l'enrobé à grains grossiers (SDA 8), tandis que pour l'enrobé à grains fins (SDA 4), l'augmentation du niveau de bruit reste dans l'ordre de la précision de la méthode.

Dans l'ensemble, on observe la même évolution des propriétés acoustiques lors de la sollicitation des éprouvettes en enrobé à l'aide de l'appareil IMPACT que dans la réalité. Pourtant, l'évolution observée ne correspond pas aux attentes initiales, de plus, un très grand nombre de passages de roue a été nécessaire.

Le nouvel appareil IMPACT III permet de varier avec précision les différents paramètres les plus importants ; il a prouvé sa fiabilité lors de plusieurs millions de cycles de passage de roue. Néanmoins, l'effet d'évolution accéléré étant encore trop faible, des investigations complémentaires seront nécessaires pour l'améliorer, notamment en tenant compte d'autres paramètres de vieillissement (conditions météorologiques, cycles de température, rayonnement UV, etc.).

Summary

Low noise pavements exhibit a very good acoustic performance immediately after their construction, however their acoustic durability is limited to just a few years. Based on the findings of international and national research, further research work has been focused on studying the durability of low noise pavements. The acoustic durability of low noise pavements and the mechanical long-term properties are of major importance. This report solely addresses acoustic durability.

The loss of acoustic qualities can be explained by changes in the pore and surface structures. For the construction of road surfaces with preferable durable acoustic properties, a specific optimisation of the asphalt mix design is essential. Such optimisation depends on a finely modulated laboratory test in which acoustic durability can be examined. A suitable test method does not exist at present. This project will use the already developed prototype of the testing machine IMPACT for the optimisation of the testing parameters. If using this method relevant conclusions can be drawn on the acoustic durability of a pavement it will be possible to speed up the development of low noise pavements significantly. Laying test tracks to study the long-term development of acoustic properties is very time intensive and costly. A speeded up laboratory investigation method would therefore offer many advantages.

The aims of this research project were defined in the framework of the tender as follows:

- Definition of test parameters for loading plates in the lab
- For simulating the long-term behavior in fast motion the surface structure is to be loaded in such a way that neither rutting nor tread block marks are generated. The whole surface of the test specimen should be loaded uniformly and as realistically as possible to simulate the same surface change mechanisms as those that occur in the real world
- Use of conventional or new laboratory test methods. The test method should be carried out with quantities of mix which can be prepared in the laboratory using conventional mixers. With common laboratory mixers it is possible to produce a batch of about 50 to 80 kg. For larger quantities, special mixers are required. Compaction should take place with a steel roller compactor in compliance with SN 670 433. For generating the actual mechanical load there is no suitable test equipment available on the market
- Validation: The testing method is validated by monitoring the pilot tracks. In addition to this, plates from EP1 as well as test plates extracted from the pilot tracks are examined and compared.

During the course of the work it turned out that the IMPACT II prototype (**I**nvestigation **M**achine for **P**avement **A**cous**T**ic Durability) had substantial technical deficiencies. Therefore a completely new test machine - IMPACT III - was built. This new construction led to a delay in the project but caused only minor additional costs as the development of the testing machine was not part of the project and was financed by IMP. A positive result of the new IMPACT III development is that a testing machine is now available that enables a reproducible and precise adjustment of the main parameters. The machine proved its functionality and reliability in several million roll overs.

The properties of the test tyre are most important for the success of the project. The tyre should not only feature an ideal tread pattern for distributing the load over the entire surface of the test specimens, it should also be available on a permanent basis. In cooperation with a tyre manufacturer a test tyre was produced with a special tread pattern featuring the required dimensions and constant rubber properties.

It is not possible to directly measure the noise generated from the interaction between tyre and road surface, as the drive motors are too loud. An encapsulation of the tyre would require structural measures that would increase the dimensions of the testing machine significantly. The encapsulation would lead to a circular test track with a diameter of several metres. The IMPACT method therefore relies on calculations of the physical properties to determine the noise of the tyre on the pavement surface. The software used to calculate the tyre noise was the SPERoN [26]. Evaluations performed prior to the study showed that the SPERoN software can be applied in a laboratory environment.

With the mathematical simulation program SPERoN (Statistical Physical Explanation of Rolling Noise) it is possible to calculate the acoustic properties of a wearing course using the surface parameters (texture, air flow resistance, acoustic absorption and mechanical impedance). In doing so, the program draws information from a database where the mechanical properties such as structural dynamics and three-dimensional profile geometry of 30 different car tyres have been measured. Thus in the SPERoN simulation model not only different asphalt surface properties are considered but also the different tyres and how they react to differences in the pavement surface. Until now the applications of the model were based on in situ measurements, the necessary adjustments for use in the laboratory were carried out in a different research project EP4.

The parameter study considered the following test parameters: tyre pressure, load, tread pattern, wheel spin and test temperature. Two mix types SDA 4 C and SDA 8 B were used for the test trail. The changes in the texture of the surface were determined by measuring air flow resistance, texture and acoustic absorption. Test specimen plates produced in the laboratory using roller sector compactor were used for this purpose.

The individual parameters for air flow resistance and texture depth as well as the noise levels calculated by SPERoN change as a function of the number of roll overs in the same way as observed in reality. The increase in rolling noise is clearly detectable on the test plate with the coarser graded mixture (SDA 8), on the test plate with the finer graded mixture (SDA 4) the increase in the noise level is within the measurement tolerance.

The same development in the acoustic properties of the asphalt plates of IMPACT III is observed as in real life experiments. However, the observed acoustic changes are not those initially expected. Moreover, it was also necessary to carry out a very large number of load cycles.

IMPACT III provides a new piece of equipment with which it is possible to accurately adjust the main parameters. It has proved its worth as a reliable tool during several million roll overs. The achieved fast-motion effect is however still not sufficient and needs to be further optimised by taking additional aging mechanisms into account (weathering conditions, temperature cycles, , UV-irradiation etc.)