



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhalten von Belägen**

**Essai de compression cyclique pour l'évaluation du comportement des chaussées en déformation**

**Cyclic compression test for evaluating the deformation behaviour of pavements**

**IMP Bautest AG; Oberbuchsitzen**

**Dr. Christian Angst**  
**Dr. Françoise Beltzung**

**Forschungsprojekt VSS 2005/504 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Dezember 2014**

**1504**

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum .....</b>	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>7</b>
	<b>Résumé .....</b>	<b>9</b>
	<b>Summary .....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>13</b>
1.1	Ausgangslage .....	13
1.2	Ziel.....	13
1.3	Methodik.....	14
<b>2</b>	<b>Druckschwellversuch gemäss EN-Norm .....</b>	<b>15</b>
2.1	Kriechen .....	15
2.1.1	Kurzbeschreibung .....	15
2.1.2	Statischer Kriechversuch .....	16
2.1.3	Dynamischer Kriechversuch .....	16
2.2	Einaxiales Prüfverfahren .....	17
2.3	Triaxiales Prüfverfahren .....	19
2.3.1	Drei Arten von triaxialen Prüfsystemen nach EN 12697-25 .....	19
2.3.2	Geometrie der Probekörper .....	21
2.3.3	Prüfbedingungen nach EN 13108-20.....	21
<b>3</b>	<b>Verwendete Gerätschaften.....</b>	<b>25</b>
3.1	Universal Prüfmaschine .....	25
3.2	LVDT Taster .....	25
3.3	Triaxzelle .....	25
3.4	Druckluftmembrane .....	26
3.5	Temperaturzunahme in der Zelle und in der Prüfkörpermitte .....	27
3.6	Beschichtung der Stirnflächen .....	29
<b>4</b>	<b>Verwendete Mischgutsorten .....</b>	<b>30</b>
4.1	Asphaltbeton AC .....	30
4.2	ACMR und andere hohlraumreiche Asphalte .....	31
4.3	AC EME.....	31
<b>5</b>	<b>Vorversuche.....</b>	<b>32</b>
5.1	Seitendruck .....	32
5.2	Lastpause.....	33
5.3	Verdichtungsenergie .....	34
<b>6</b>	<b>Versuche mit der Triaxzelle.....</b>	<b>35</b>
6.1	Verdichtungsmethode .....	35
6.2	Schlankheitsgrad.....	36
6.3	Bitumenhärte .....	37
6.4	Reibung zwischen Lastplatte und Stirnfläche .....	38
6.5	Zwischenbilanz.....	45
6.6	Prüftemperatur und Seitendruck .....	45
6.7	Versuche mit optimierten Prüfbedingungen.....	49
6.8	Lastpause.....	50
6.9	Präzision und des Prüfverfahrens .....	51
6.10	Fehlerquellen.....	52

<b>7</b>	<b>Anforderungen .....</b>	<b>54</b>
7.1	Vergleiche Spurrinntest / Triaxversuch.....	54
7.2	Vergleich einaxialer/triaxialer Druckschwellversuch .....	56
7.3	Vorschläge .....	56
7.3.1	Definition des linearen Teils der Kriechkurve .....	56
7.3.2	Qualitätsbeurteilung nach Anforderungskategorien .....	57
7.3.3	Anforderung an den Verdichtungsgrad.....	58
<b>8</b>	<b>Folgerungen .....</b>	<b>59</b>
8.1	Folgerungen für die EN.....	59
8.2	Folgerungen für die SN.....	60
	<b>Anhänge.....</b>	<b>63</b>
	<b>Glossar.....</b>	<b>109</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>110</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>113</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>116</b>

## Zusammenfassung

### Ausgangslage

Die häufigsten Schäden, welche Instandstellungs-Arbeiten von Strassenbelägen notwendig machen, sind Spurrinnen und Risse. Das Risiko von Spurrinnen für die Verkehrssicherheit (Aquaplaning) und das Bestreben die Gebrauchsdauer einer Fahrbahn – trotz zunehmender Verkehrsbeanspruchung – zu verlängern, stellen hohe Anforderungen an die Materialeigenschaften des Asphalttes. Die Spurrinnenbildung ist auf einen ungenügenden Widerstand gegen bleibende Verformung bei sommerlichen Temperaturen zurückzuführen. Zur Beurteilung der Beständigkeit gegen bleibende Verformung von Asphaltbeton gelten in der Schweiz gemäss Erstprüfungsnorm EN 13108-20 [12] sowohl der grosse Spurrinentest nach EN 12697-22 [4] als auch der triaxiale Druckschwellversuch nach EN 12697-25 [5]. In der Schweiz wurde bisher – auf der Basis der langjährigen, praktischen Erfahrungen der ETHL - der Spurrinentest angewendet. Es erwies sich einerseits, dass die Aussagekraft des Spurrinentestes hinsichtlich der Mischgutoptimierung beschränkt ist, andererseits ist dessen Anwendung bei offenporigen und semidichten Belägen nicht optimal. Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem einaxialen Druckschwellversuch bei Standardmischgütern, soll untersucht werden, ob sich der triaxiale Druckschwellversuch grundsätzlich eignen würde, das Verformungsverhalten anzusprechen.

### Ziele

Das Projekt soll Entscheidungsgrundlagen liefern, um Prüfbedingungen für den triaxialen Druckschwellversuch festzulegen. Die präzise umschriebenen Bedingungen müssen dabei innerhalb des Spielraumes der EN 12697-25 [5] und der EN 13108-20 [12] liegen. Es sind zu diesem Zweck an zahlreichen Mischgutsorten die Prüfbedingungen der beiden EN zu hinterfragen.

Als zweites hat die Forschungsarbeit Grundlagen zu erarbeiten, wie die in EN 13108-1 [9] zur Auswahl stehenden Anforderungskategorien anzuwenden sind. Die vorgeschlagenen Richtwerte gehen dann zuhanden der VSS EK 5.01 und fliessen in die Erarbeitung eines revidierten Nationalen Anhangs.

### Ergebnisse

Dass das gewählte Verdichtungsverfahren zur Herstellung der Prüfkörper einen grossen Einfluss auf die Ergebnisse dynamischer Prüfungen an Asphaltprobekörpern hat, ist seit vielen Jahren bekannt. Aus diesem Grund wurden die gebräuchlichsten Labor-Verdichtungsverfahren evaluiert: Marshall (EN 12697-30), Gyrator (EN 12697-31), Walzsegmentverdichter und Gummiradverdichter (beide EN 12697-33). Die EN 12697-25 „Asphalt-Prüfverfahren für Heissasphalt-Teil 25: „Druckschwellversuch“; Prüfverfahren B „Triaxialer Druckschwellversuch“ schreibt ein minimales Verhältnis von Prüfkörperhöhe zu –Durchmesser (Schlankheitsgrad) vor. Es wird ein Verhältnis der Höhe zum Durchmesser von 0.6 für Nenngrossen kleiner oder gleich 16 mm und von 0.8 für Nenngrossen grösser als 16 mm verlangt. Daraus ergeben sich Prüfkörper-Abmessungen, welche am einfachsten mit der Verdichtung in einem Gyrator erreicht werden. Die Anzahl der Umdrehungen wird dabei derart gewählt, dass ein bestimmter Verdichtungsgrad erreicht wird. In einer Untersuchungsreihe wurde aufgezeigt, dass der Verdichtungsgrad einen grossen Einfluss auf die Prüfergebnisse ausübt. Es ist daher erforderlich, den Verdichtungsgrad in einer engen Werte-Spanne einzugrenzen.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde die Schicht zwischen dem Prüfkörper und der Lastplatte der Prüfpresse optimiert. Diese Schicht spielt eine grosse Rolle, denn sie muss verhindern, dass an der Stirnseite des Prüfkörpers Schubkräfte entstehen können. Derartige Schubkräfte führen zu einer Einschnürung des Prüfkörpers und verhindern eine freie Ausdehnung unter zentrischer Auflast. Wir konnten aufzeigen, dass die bis dato in der EN 12697-25 vorgeschlagene Zwischenschicht untauglich ist. Unser Verbesserungsvorschlag wurde in der Revision der entsprechenden Norm von der Kommission CEN TC 227/WG1/TG2 „Testmethods“ aufgenommen.

Es zeigte sich dass die in der Norm EN 13108-20:2006 (und auch in Ausgabe 2013) "Asphaltmischgut-Mischgutanforderungen – Teil 20: Erstprüfung" definierten Prüfparameter (Temperatur, Seiten- und Vertikaldruck) zu wenig differenzieren. Dies wurde untersucht, indem verschiedene AC 11 mit unterschiedlichem Bindemittel geprüft wurden. Trotz sehr unterschiedlicher Bindemittelviskosität (Bitumen 100/150 bis zu PmB C 45/80-50) erfüllten alle Mischgüter die strengsten Anforderungen der EN 13108-1. Auch war die Rangfolge der Ergebnisse nicht plausibel. In einer weiteren Untersuchungsreihe wurden unterschiedliche EME-Beläge (Beläge mit hohem Modul) untersucht. Deren Verformungsverhalten – mit den EN-Prüfparameter bestimmt - war nicht von der Verformung eines AC 11 mit B 100/150 zu unterscheiden.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden neue Prüfparameter evaluiert. Dabei zeigte sich, dass der Seitendruck die Empfindlichkeit der Prüfmethode deutlich beeinflusst. Zu hohe Seitendrücke sind zu vermeiden, denn sie behindern die Ansprache des Verformungsverhaltens im dynamischen Druckschwellversuch. Als optimal erwies sich ein Seitendruck von 50 kPa. Auch bei der Prüf-Temperatur wurde gegenüber der EN-Norm ein abweichender Vorschlag erarbeitet. In Analogie zu den deutschen Prüfbedingungen beim einaxialen Druckschwellversuch wurde eine einheitliche Temperatur für alle Schichten festgelegt.

Im Rahmen der Vernehmlassung zur EN 13108-20 „Erstprüfung“ und EN 12697-25 „Druckschwellversuch“ konnte die Schweiz aufgrund der fundierten Untersuchung die neuen Prüfbedingungen einbringen.

## Résumé

### Situation initiale

Les principaux types de dégradation qui engendrent des travaux de remise en état sont l'orniérage et la fissuration du revêtement. Les risques de sécurité en cas d'ornières et les exigences de durabilité requièrent des enrobés toujours plus performants. L'apparition d'ornières résulte d'une résistance insuffisante à la déformation permanente à des températures élevées durant l'été. D'après l'épreuve de formulation selon EN 13108-20 [12], la résistance à la déformation de bétons bitumineux peut être évaluée en Suisse par l'essai d'orniérage selon EN 12697-22 [4] ou par l'essai de compression triaxial selon EN 12697-25 [5]. Actuellement – basé sur une longue expérience pratique de l'EPFL – l'essai d'orniérage est appliqué en Suisse. Néanmoins, il a été constaté d'une part que la pertinence de l'essai d'orniérage est assez limitée pour l'optimisation des enrobés, et d'autre part, que son application pour des enrobés poreux et semi-denses n'est pas optimale. Suite aux expériences positives avec l'essai de compression cyclique uni-axial sur des enrobés standards, cette recherche doit démontrer si le comportement à la déformation peut être analysée par l'essai de compression cyclique triaxial.

### Objectifs

Le projet de recherche doit fournir les bases qui permettront de définir les conditions d'essai pour l'essai de compression cyclique triaxial. Ces conditions doivent être définies avec précisions et respecter le cadre défini par l'EN 12697-25 [5] et l'EN 12697-20 [12]. Ainsi, les conditions d'essai de ces deux normes EN doivent être réexaminées sous un angle critique pour un grand nombre de sortes d'enrobé différentes.

Le deuxième objectif consiste à établir les bases pour le choix des catégories d'exigences définies dans l'EN 13108-1 [9]. Les valeurs de référence proposées sont soumises à la VSS EK 5.01 et prises en compte lors de la révision de l'annexe nationale.

### Résultats

Il est connu depuis longtemps que la méthode de compactage des éprouvettes a une influence importante sur les résultats des essais dynamiques. Pour cette raison, les méthodes de compactage au laboratoire les plus courantes ont été évaluées: Marshall (EN 12697-30), presse à compactage giratoire (EN 12697-31), compacteur de plaque par roue équipée de pneumatique et rouleau en acier (EN 12697-33). La norme EN 12697-25 "Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 25 : Essai de compression cyclique" définit un rapport minimal entre la hauteur et le diamètre des éprouvettes à tester. Le rapport requis est de 0.6 pour les enrobés dont le grain maximal est inférieur ou égal à 16mm et de 0.8 pour les enrobés dont le grain maximal est supérieur à 16mm. Il en résulte des dimensions d'éprouvette qui sont obtenues le plus facilement par un compactage à la presse à compactage giratoire. Le nombre de girations est choisi de façon à obtenir un degré de compactage prédéfini. Dans une série d'essais il a été démontré que le degré de compactage influence de manière déterminante les résultats d'essai. Il est ainsi nécessaire de définir une plage de valeurs étroite pour le degré de compactage des éprouvettes.

Dans la deuxième partie, la couche intermédiaire entre l'éprouvette et les pistons de chargement de la presse a été optimisée. Cette couche est très importante, car elle est censée empêcher l'apparition d'efforts tranchants à l'extrémité de l'éprouvette. Ces efforts tranchants peuvent provoquer un rétrécissement de l'éprouvette et empêcher une dilatation libre sous la force centrale. Il a pu être démontré que la couche intermédiaire proposée par la norme EN 12697-25 actuelle est inadaptée. Les améliorations issues du présent projet de recherche ont été intégrées dans la révision de la norme d'essai par la commission CEN TC 227/WG1/TG2 "Méthodes d'essai".

Le projet a également démontré que les conditions d'essai (température, contrainte latérale et verticale) définies par l'EN 13108-20:2006 (et la version 2013) "Mélanges bitumineux – Spécifications des matériaux – Partie 20: Epreuve de formulation" ne sont pas assez discriminantes. Ce fait a été démontré par une série d'essais sur des enrobés en AC

11 N avec différents types de liant. Bien que les viscosités des liants soient très différentes (B100/150 à PmB 45/80-50 C), tous les enrobés se sont avérés conformes aux exigences les plus sévères de l'EN 13108. De plus, l'ordre des performances des enrobés n'était pas plausible. Dans une autre série d'essais, des enrobés de type AC EME (enrobé à module élevé) ont été analysés. Leur comportement à la déformation – analysé selon les paramètres de la norme EN – ne se distingue pas de celui d'un enrobé AC 11 avec un liant B100/150.

Par la suite, des nouvelles conditions d'essai ont été évaluées. Il a été montré que la contrainte de confinement latérale influence fortement la sensibilité de la méthode. Des contraintes latérales trop élevées empêchent le comportement correct à la déformation lors de l'essai de compression cyclique. Une contrainte de confinement latérale de 50 kPa s'est avérée optimale. La température de l'essai proposée sur la base des résultats de la recherche diffère également par rapport à celle définie par la norme EN. Par analogie aux conditions d'essais allemandes relatives à l'essai de compression cyclique uni-axial, une température unique a été définie pour toutes les couches d'enrobé. Dans le cadre de la consultation de l'EN 13108-20 "Epreuve de formulation" et l'EN 12697-25 "Essai de compression cyclique", la Suisse a pu faire intégrer ces nouvelles conditions d'essais basées sur une solide expérience.

## Summary

### Starting situation

Major damages in roads that require immediate reconstruction primarily originate from ruts and cracks. Rut is also a main cause of traffic incidents. Improvements in the material used in road construction are therefore necessary to minimise the development of rut. New material is also required to improve the longevity of the roads with increased traffic.

Rut is caused by insufficient resistance to creep during hot temperature periods in summer. The large size wheel tracking test (described in EN 12697-22 [4]) and the triaxial cyclic compression test (described in EN 12697-25 [5]) can be used to evaluate the resistance of asphalt to creep. In Europe both tests are used as described in the standard for type testing EN 13108-20 [12]. Because ETH Lausanne has long practical experience with the wheel tracking test, this is the test mainly used in Switzerland. However, it has been shown that the results of the wheel tracking test are not sensitive to small differences in bituminous mixtures. The wheel track tests are also of limited use for open porous asphalt and semi dense asphalts. As uniaxial cyclic compression tests for standard mixtures yield very positive results, it stands to reason that triaxial compression tests will yield good results for deformation tests of asphalt.

### Aims

The objective of this project is to provide guidelines to narrow down conditions for the triaxial cyclic compression test. The precise conditions must be within the limits given by the standards EN 12697-25 [5] and EN 13108-20 [12]. Therefore a variety of conditions for the different standard asphalt mixtures are investigated.

The second aim is to develop the basis for how to use the different categories of requirements described in EN 13108-1 [9]. The work will suggest reference values which then will be used by the VSS EK 5.01 for a revised national appendix for the standard.

### Results

The compaction process used to produce test specimens is known to have a large influence on dynamic test results. Therefore an evaluation of the common laboratory compaction methods was conducted: (1) Marshall (described in EN 12697-30), (2) gyratory compactor (described in EN 12697-31), (3) Smooth steel roller and a wheel compactor with pneumatic tyres (both described in EN 12697-33). The test method in section B of EN 12697-25 "Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 25: Cyclic compression test" describes a minimal height to diameter ratio. The ratio is defined as 0.6 for a specific nominal grain size smaller than 16 mm. For grain sizes bigger than 16 mm a ratio of 0.8 is used. The simplest way to produce the required dimensions is by using the Gyratory compactor. The number of turns is defined by the desired compaction degree. A test series revealed that the compaction degree has a high influence on the results. It is therefore important to limit the compaction degree in a narrow band.

A further advancement involved the optimisation of the layer between the test specimen and the load plate of the press machine. This layer is important because it prevents the development of shear stress on the face of the test specimen. Shear stress causes a constriction of the specimen and prevents a free expansion under a centred imposed load. The results of this study show that the layer proposed in EN 12697-25 is not suitable.

This recommendation has been accepted by the CEN Task Group TC 227/WG1/TG2 "Testing methods" and is now part of the standard.