



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

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



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)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Christian Angst

Mitglieder

Dr. Françoise Beltzung

Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Bau- und Geotechnik

Begleitkommission

Präsident

Max Seeberger

Mitglieder

Thomas Arn

Luzia Seiler

Hansjörg Byland

Blaise Graf

Antragsteller

Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS

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 Ziel	13
1.3 Methodik	14
2 Druckschwellversuch gemäss EN-Norm	15
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
3 Verwendete Gerätschaften	25
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
4 Verwendete Mischgutsorten	30
4.1 Asphaltbeton AC	30
4.2 ACMR und andere hohlraumreiche Asphalte	31
4.3 AC EME	31
5 Vorversuche	32
5.1 Seitendruck	32
5.2 Lastpause	33
5.3 Verdichtungsenergie	34
6 Versuche mit der Triaxzelle	35
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

7	Anforderungen	54
7.1	Vergleiche Spurrinnentest / 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
8	Folgerungen	59
8.1	Folgerungen für die EN	59
8.2	Folgerungen für die SN	60
	Anhänge.....	63
	Glossar.....	109
	Literaturverzeichnis.....	110
	Projektabschluss	113
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	116

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 Asphaltes. 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.

1 Einleitung

1.1 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 Asphaltes.

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 Asphaltes. 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 Spurrinntest nach EN 12697-22 [4] als auch der triaxiale Druckschwellversuch nach EN 12697-25 [5].

Bis zum heutigen Tage hat sich in der Schweiz der Druckschwellversuch im Rahmen der Erstprüfung nicht durchgesetzt. Während im VSS Normenwerk die Situation bezüglich des Spurrinntests geregelt ist und das Prüfverfahren schon in mehreren Laboren angewandt wird, ist noch offen, wie der triaxiale Druckschwellversuch umzusetzen ist. Insbesondere fehlen verbindliche Anforderungen und eine grundlegende Evaluation der Prüfbedingungen die aus der Tabelle D.2 der EN 13108-20 [12] zu entnehmen sind.

Das vorliegende Forschungsprojekt weist keine Überschneidungen zum Projekt VSS 2006/503 *Performance orientierte Mischgutanforderungen* auf. Die untersuchten Verformungen in beiden Projekte sind grundlegend unterschiedlich. Beim Projekt VSS 2006/503 wird der Asphaltbeton im elastischen Bereich beansprucht um die Eigenschaften Steifigkeit und Ermüdung zu charakterisieren. Derartige Beanspruchungen wirken fast ausschliesslich auf die molekulare Kohäsion innerhalb des Bindemittelfilms. Wenn höhere Spannungen eine plastische Verformung verursachen, so wie es beim Kriechen der Fall ist, dann greifen andere Mechanismen u. a. Brüche der intermolekularen Bindungen oder gegenseitiges Verschieben der Körner. Für ein gegebenes Mischgut ist deshalb keine Korrelation zwischen den Ergebnisse von Steifigkeit und Druckschwellversuch zu erwarten.

1.2 Ziel

Der triaxiale Druckschwellversuch ist ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Beständigkeit von Asphalt gegen bleibende Verformung. Durch eine sinus-förmige, zyklische Belastung bei einer Temperatur oberhalb von 40 °C wird die Verformung eines Probekörpers in Abhängigkeit der Anzahl an Belastungszyklen aufgezeichnet. Diese Kriechkurve ermöglicht es die Spurrinnenbildung vorherzusagen. Dadurch beschafft man sich die Möglichkeit, ein Mischgut auszuwählen, das auf Verkehrsbelastung und -zunahme abgestimmt ist. Generell erhöht eine sorgfältige Planung der Dauerhaftigkeit die Verfügbarkeit des Strassennetzes und reduziert somit die Anzahl Baustellen.

Das Projekt soll die Entscheidungsgrundlagen liefern, um Prüfbedingungen für den triaxialen Druckschwellversuch festzulegen. Die präzise umschriebenen Bedingungen müssen 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 ein.

1.3 Methodik

Die Forschungsarbeit gliedert sich in drei Teile. Es wird zuerst die in EN 12607-25 [5] vorgeschriebene Prüfeinrichtung begutachtet. Im 2. Teil werden die Prüfbedingungen nach EN 13108-20 [12] evaluiert. Dies führt dann zum dritten Teil, in welchem Anforderungen für Asphaltbeton festgelegt werden.

Prüfeinrichtung

- Zum Aufbau des Seitendruckes ist ein Gerät mit Anwendung eines Teilvakuums oder einer Druckzelle erforderlich. In beiden Fällen muss der Probekörper in geeigneter Weise vom umgebenden Medium getrennt werden. Die dafür notwendige Membrane muss bei gegebener Temperatur und Druckdifferenz während mehreren Stunden luftdicht bleiben. Die Eignung verschiedener Membranen wurde untersucht.
- Der Versuch darf erst nach Erreichen der gewünschten Temperatur gestartet werden. Eine geeignete Temperaturkonditionierung von Prüfkörper und Zelle wird festgelegt.
- Laut EN 12697-25 [5] ist die Reibung zwischen Stirnflächen und Lastplatten zu minimieren. Eine entsprechende Methode wird in der Norm vorgeschlagen. Diese wurde hinsichtlich Tauglichkeit und Praxisnähe überprüft.

Prüfbedingungen

- Die EN 13108-20 [12] (Tabelle C.1) enthält 27 Verdichtungsvarianten. Es scheint sinnvoll diese zahlreichen Möglichkeiten einzuschränken und Schwerpunkte zu bilden, so dass im Schweizer Nationalen Anhang nur noch eine oder zwei Varianten für Laborverdichtung übrigbleiben. Auch der Verdichtungsgrad muss in Form eines oberen und unteren Grenzwertes festgelegt werden.
- Die EN 13108-20 [12] (Tabelle D.2) enthält die eigentlichen Prüfbedingungen. Es werden die Prüftemperatur, der Seitendruck, die Amplitude der Axiallast und die Impulsfrequenz festgelegt. Diese wurden zu Beginn der Arbeit angewendet bis wir feststellen mussten, dass diese Prüfbedingungen ungeeignet sind. In einer zweiten Phase der Arbeit wurde auf diese Prüfbedingungen teilweise verzichtet und es wurden eigene Prüfbedingungen eingeführt.
- Die EN 12697-25 [5] legt die Auswertungsmethode fest. Als Messergebnis gilt die Kriechrate, d. h. die Steigung der Kriechkurve in ihrem quasi-linearen Abschnitt. Es wird aber nicht erklärt wie dieser quasi-lineare Kurvenabschnitt zu wählen ist, was einen grossen Interpretationsspielraum zulässt. Die Definition des "quasilinearen Bereichs" hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis (Kriechrate). Deshalb braucht es für die Erarbeitung eines Nationalen Anhangs zur EN 12697-25 [5] eine abgrenzende Definition.
- Des Weiteren wurden Präzisionsdaten ermittelt.

Anforderungen

- Die EN 13108-1 [9] (Tabelle 24) enthält die möglichen Anforderungskategorien für die Kriechrate. Richtwerte für Anforderungen werden auf der Basis zahlreicher Prüfungen und einiger Vergleiche mit der Spurrinnentiefe festgelegt.

2 Druckschwellversuch gemäss EN-Norm

2.1 Kriechen

2.1.1 Kurzbeschreibung

Asphalte sind weder rein elastische Materialien für die das Hook'sche Gesetz gilt, noch viskose Flüssigkeiten die dem Newton'sche Gesetz folgen. Asphalte kombinieren beide Eigenschaften je nach Dauer der einwirkenden Last und Temperatur. Für eine kurze Lasteinwirkung bei tiefen Temperaturen bleibt die Verformung proportional zur Last und mit der Entlastung kehrt der Prüfkörper sofort in seine ursprüngliche Form wieder zurück. Wenn aber das Material bei höheren Temperaturen langsam belastet wird, verhält es sich wie eine viskose Flüssigkeit. Die Verformung ist proportional zur Last und zugleich völlig irreversibel. Bei Belastungsgeschwindigkeiten und Temperaturen im mittleren Bereich besitzen Asphalte Eigenschaften die sich zwischen den beiden erwähnten Extremen befinden.

Unter Kriechen wird die zeitlich zunehmende, irreversible Verformung eines Festkörpers unter Einwirkung einer konstanten Last verstanden. In der Regel, wird Kriechen bei allen Materialien festgestellt. Bei Asphalt ist Kriechen eine Ursache des viskosen Verhaltens des Bindemittels und zugleich der irreversiblen Umlagerung des Gesteinsskelettes.

Das Kriechverhalten eines Prüfkörpers wird auf Grund seiner Kriechkurve ermittelt. Die Kriechverformung verläuft in drei Stufen (Abb. 1), wobei eine oder mehrere Stufen entfallen können. Ausschlaggebend für den Verlauf einer Kriechkurve ist die Höhe der konstanten Last, bezogen auf die Zug- oder Druckfestigkeit des Materials, und die Prüftemperatur, bezogen auf seine Schmelztemperatur. Zum Bruch kommt es meistens dann, wenn die konstante Last sich der Festigkeit des Materials nähert.

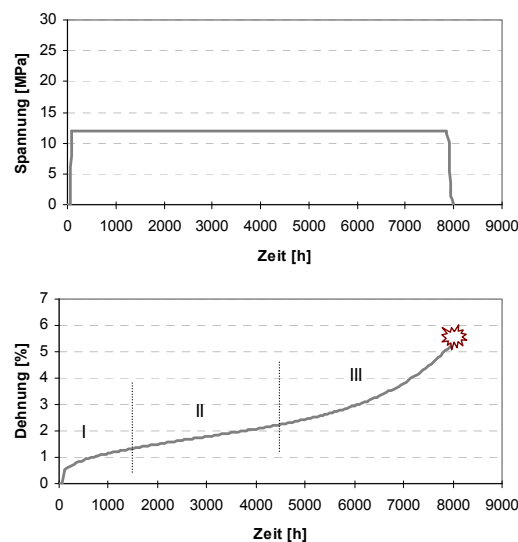


Abb. 1 Konstante Last und typische 3-stufige Kriechkurve. Stufe I, der Anstieg der Kurve nimmt im Laufe der Zeit ab (Konsolidierung). Stufe II, der Anstieg ist quasikonstant und falls Stufe 3 folgt, hat die Kurve einen Wendepunkt. Stufe III, der Anstieg nimmt zu und die Verformung führt zum Bruch.

Die Kriechgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Temperatur zu. Schon kleine Temperaturunterschiede haben grosse Auswirkungen auf die Kriechgeschwindigkeit.

2.1.2 Statischer Kriechversuch

Der Probekörper wird mit einer statischen Last beaufschlagt. Die zeitlich verzögerte Verformung wird gemessen und in bleibende und reversible Verformung aufgeteilt. Der einaxiale, statische Kriechversuch wurde im Zeitraum 1970-1990 zur Beurteilung von Walzasphalt angewendet [HUS79]. Beispiele für heute noch verwendete, statische Kriechversuche sind die Prüfmethode EN 12697-20 [2] und 12697-21 [3]. Diese beiden Eindringversuche an Gussasphalt dauern typischerweise 1 Stunde bei einer Prüftemperatur von 40 °C.

Der statische Versuch reflektiert die typische Belastung einer Strasse nicht. Der rollende Verkehr erzeugt eine zyklische Belastung. Der Unterschied liegt darin, dass die Lasteinwirkung sehr kurz ist, sich aber mit Lastpausen wiederholt. Längere Lasteinwirkungen, wie zum Beispiel an Kreuzungen, Bushaltestellen, usw., verursachen deutlich höhere bleibende Verformung als ein rollender Verkehr. Es wurde aus diesem Grund ein dynamischer Kriechversuch für Asphalt entwickelt [HUS 83].

2.1.3 Dynamischer Kriechversuch

Der Probekörper wird mit einer zyklischen Last beaufschlagt, meistens eine Druckbelastung. Jeder Zyklus erzeugt eine Verformung, welche sich in einen elastischen reversiblen und einen zeitabhängigen irreversiblen Anteil unterteilen lässt. Die irreversible Verformung ist umso kleiner, je höher die Belastungsfrequenz ist. Während der Prüfung wird die Änderung der Höhe des Probekörpers (Summe der irreversiblen Anteile) gemessen. Daraus wird die Gesamtaxialverformung ε_N des Probekörpers als Funktion der Anzahl Belastungszyklen N bestimmt. Die Ergebnisse werden in einer Kriechkurve dargestellt. Beispiele für dynamische Kriechversuche sind die Prüfmethode TP A-StB [16] und EN 12697-25 [5]. In der Praxis sorgt eine kleine Unterlast dafür, dass während der Prüfung die Belastung nie auf null geht. Ausserdem sind je nach Prüfvorschrift Lastpausen vorgesehen.

Gegenüber einem Spurrinnentest hat der Kriechtest den Vorteil einer homogenen und einfachen Beanspruchung des Probekörpers. Die gemessene Kriechgeschwindigkeit der Stufe II kann zum Beispiel als Parameter für die numerische Simulation der Spurrinnenbildung eingesetzt werden. Zudem können Bohrkerne aus Strassen im Druckschwellversuch untersucht werden, was ein weiterer Vorteil gegenüber dem Spurrinnentest ist.

Rechteckige- oder sinusförmige Impulse, aneinander folgend oder mit einer Lastpause, bilden die zyklische Belastung. Meist wird statt einer Sinus-Funktion eine Haversine-Funktion bevorzugt. Mathematisch lässt sie sich wie folgt beschreiben:

$$\text{haversin}(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{1 - \cos(\theta)}{2} \quad (1)$$

In der Norm EN 12697-25 [5] wird eine Pseudo-Haversine-Funktion vorgeschlagen. Sie hat die Formel

$$\sigma_a(t) = \sigma_v(1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t)) \quad (2)$$

wobei

- $\sigma_a(t)$ = zyklischer Axialdruck als Funktion der Zeit in kPa
- σ_v = Amplitude der Funktion in kPa
- f = Frequenz in Hz
- t = Zeit in s

Eine graphische Veranschaulichung der drei Funktionen zeigt Abb. 2. Die Funktionen haversin und $1+\sin$ sind stets positiv. Dieses Vorzeichen deutet darauf hin, dass prinzipiell immer eine reine Druckbeanspruchung vorhanden ist.

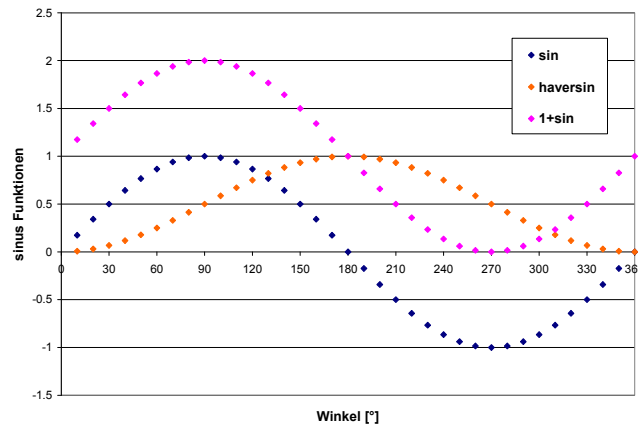


Abb. 2 Grafische Darstellung der Funktionen $\sin(\theta)$, $\sin^2(\theta/2)$ und $1+\sin(\theta)$.

Wird ein viskoelastisches Material sinusförmig beansprucht, entsteht zwischen der Spannung und der Dehnung eine zeitliche Verzögerung. Liegt eine vorgegebene Spannung σ vor, hat die Dehnung ε die Formel

$$\varepsilon_a(t) = \varepsilon_v (1 + \sin(2\Pi \cdot f \cdot t - \varphi)) \quad (3)$$

wobei

- $\varepsilon_a(t)$ = zyklische Dehnung als Funktion der Zeit
- ε_v = Amplitude
- f = Frequenz in Hz
- t = Zeit in s
- φ = Phasenverschiebungswinkel

Die zyklische Beanspruchung des Materials erzeugt Wärme. Mit zunehmender Anzahl Zyklen steigt deshalb die Temperatur im Prüfkörper. Die Wärme ist umso höher je größer der Phasenverschiebungswinkel ist.

2.2 Einaxiales Prüfverfahren

Der Druckschwellversuch ist in Deutschland seit 1999 in der Technischen Prüfvorschrift für Asphalt im Strassenbau [16] beschrieben und ist zudem heute auf der europäischen Ebene in der EN 12697-25 [5] geregelt. Die in der vorliegenden Arbeit verwendete Methode stützt sich weitgehend auf das Deutsche Verfahren.

Bei dieser Prüfung wird ein zylindrischer Probekörper bei konstanter Temperatur einer haversine Axialbelastung ausgesetzt. Während des Versuchs werden die irreversiblen Verformungen registriert. Für die Auswertung wird die Dehnungsrate im Wendepunkt der Impulskriechkurve ermittelt. Der Stempel und der Probekörper haben denselben Durchmesser, im Allgemeinen sind das 100 oder 150 mm. Der Probekörper muss eine Höhe von 60 mm oder 100 mm haben (Schlankheitsgrad = 1.5). Die temperierte Versuchskammer wird auf 50°C eingestellt, die Probekörper werden während 2.5 Std bei 50°C vorgewärmt. Kraft und Verformung werden zeitgleich erfasst.

Als Proben dienen Marshall-Probekörper, Gyrator-Probekörper oder Bohrkerne aus der Strasse oder aus im Labor hergestellten Platten. Der Probekörper wird an seinen Stirnflächen senkrecht zur Zylinderachse, planparallel geschliffen. Zur Herabsetzung der Reibung werden die Stirnflächen mit Silikonfett beschichtet und mit Graphitflocken bestreut. Den Prüfungen sind folgende Parameter zugrunde zu legen:

- Prüftemperatur $T = 50\text{ °C}$
- Unterspannung $\sigma_u = 0.025\text{ N/mm}^2$
- Oberspannung $\sigma_o = 0.20\text{ N/mm}^2$ für AC und 0.35 N/mm^2 für ACMR und SMA
- Impulsdauer = 0.2 s
- Lastpause = 1.5 s

Die Prüfung gilt als beendet, wenn mehr als 10000 Lastzyklen erreicht werden oder eine Dehnung von 40 ‰ überschritten wird.

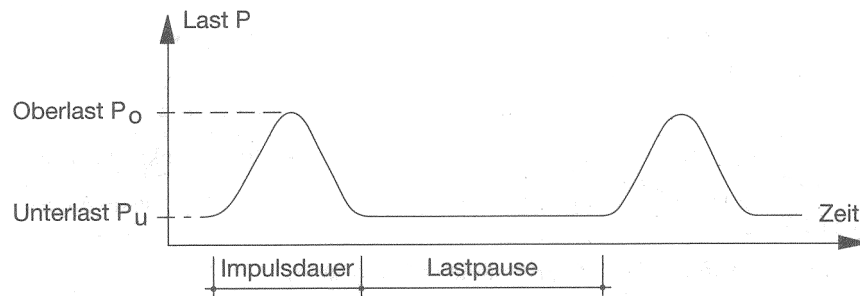


Abb. 3 Last-Zeit-Verlauf des einaxialen Druckschwellversuches nach [16]

Der Kurvenverlauf wird mathematisch mit dem Approximationsansatz

$$\varepsilon(n) = \varepsilon_0 + an^k + b(\exp(cn) - 1) \quad (4)$$

ausgewertet. Wobei, die Koeffizienten a , b , c sich iterativ durch Regressionsrechnung bestimmen lassen. Damit können die gesuchten Merkmalgrößen n_w , ε_w und ε_w^* mathematisch ermittelt werden.

- n_w = Lastimpulszahl im Wendepunkt [-]
- ε_w = Dehnung im Wendepunkt [‰]
- ε_w^* = Dehnungsrate im Wendepunkt [‰/10⁴n]

In Abb. 4 sind zwei Kurvenverläufe schematisch dargestellt. Die Kriechkurve mit Wendepunkt übersteigt die Dehnungsgrenze von 40 ‰ nach 4600 Zyklen. Die Steigung am Wendepunkt beträgt in diesem Beispiel 51 ‰/10⁴Zyklen. An der Kriechkurve ohne Wendepunkt wird die Steigung bei 10000 Zyklen berechnet. Sie beträgt hier 2 ‰/10⁴Zyklen.

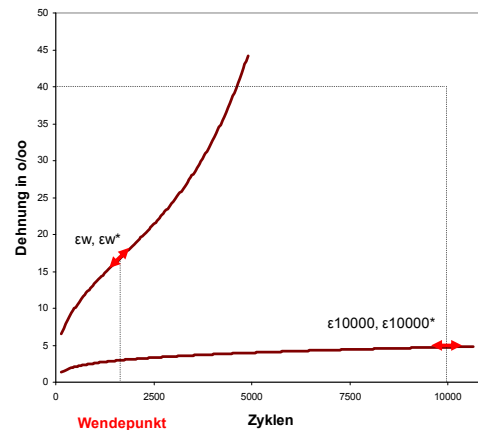


Abb. 4 Kriechkurven für ein sehr weiches (mit Wendepunkt) und ein sehr hartes Material (ohne Wendepunkt bis 10000 Zyklen).

Die Anforderungen an die Dehnungsrate wurden empirisch festgesetzt. Aus der grossen Anzahl durchgeführter Prüfungen haben wir für unterschiedliche Mischgutsorten die Anforderungen, welche in der Tab. 1 aufgeführt sind festgelegt [ANG06]. Je nach Grösstkorn werden die kleinen Prüfkörper mit Marshall ($< 11 \text{ mm}$) oder die grossen ($\geq 16 \text{ mm}$) in einem Gyrator verdichtet.

Tab. 1 Anforderungen an die Steigung im Wendepunkt oder nach 10000 Zyklen [%/10⁴ Zyklen]

Mischgut	Prüfkörper	Erfüllt wenn ϵ_n^*
SMA	Marshall	≤ 35
	Bohrkern	≤ 100
ACMR	Marshall	≤ 35
	Bohrkern	≤ 100
AC EME	Gyrator	≤ 20
	Bohrkern	≤ 30
AC S	Marshall	≤ 35
	Bohrkern	≤ 80
AC H	Marshall	≤ 20
	Bohrkern	≤ 60
AC B/T S	Gyrator	≤ 35
	Bohrkern	≤ 40
AC B/T H	Gyrator	≤ 20
	Bohrkern	≤ 30

Die Oberspannung für Deckschichten AC S und AC H beträgt $0,20 \text{ N/mm}^2$. Hochleistungsdeckschichten wie ACMR und SMA, sowie Tragschichten werden mit einer Oberlast von $0,35 \text{ N/mm}^2$ belastet. Der einaxiale Druckschwellversuch wird kraftgesteuert gefahren. Die Wärme, die durch das viskoelastische Verhalten des Materials entsteht, wird aufgrund der Temperaturregulierung der Prüfkammer abgeführt und entsprechend vernachlässigt.

2.3 Triaxiales Prüfverfahren

2.3.1 Drei Arten von triaxialen Prüfsystemen nach EN 12697-25

Der Probekörper wird einem seitlichen Druck zur Behinderung der Querdehnung (Stützdruck) und einer zyklischen Axialbelastung ausgesetzt.

Das Prüfverfahren A beschreibt ein pseudo-triaxiales Prüfsystem. Es wird kein externer Seitendruck erzeugt. Die Behinderung der Querdehnung entsteht alleine durch die Wahl einer oberen Lastplatte mit einem Durchmesser von 100 mm , welche kleiner ist als der Prüfkörper mit einem Durchmesser von 150 mm . Aus dieser Prüfanordnung ergibt sich ein 25 mm breiter äusserer Ring, der den inneren, belasteten Zylinder sozusagen stützt.

Das Prüfverfahren B sieht einen externen Stützdruck vor. Dieser Stützdruck wird entweder durch Teilvakuum oder durch komprimierte Flüssigkeit oder Luft aufgebracht. In diesem Fall der Überlagerung ergibt sich der Gesamtaxialdruck σ_A zu

$$\sigma_A(t) = \sigma_c + \sigma_a(t) = \sigma_c + \sigma_v(1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t)) \quad (5)$$

wobei

- $\sigma_A(t)$ = Gesamtaxialdruck als Funktion der Zeit in kPa
- σ_c = Seitendruck in kPa
- $\sigma_a(t)$ = zyklischer Axialdruck als Funktion der Zeit in kPa
- $\sigma_v(t)$ = Amplitude der Funktion in kPa
- f = Frequenz in Hz
- t = Zeit in s

In dieser Gleichung sieht man den konstanten Seitendruck σ_c der rund um den Probekörper und auf seiner oberen Stirnfläche einwirkt (der Index c steht für *confining*), und die zyklische Axiallast $\sigma_a(t)$ aus Gl. 3. Ein Überblick ist aus Abb. 5 zu entnehmen. Die Norm hat keine Lastpausen festgelegt und lässt sogar offen, ob Pausen erfolgen sollen. Sie beschreibt zwei Arten von Impulsen: ein Haversine-Impuls-Druck (Gl. 6) und ein Blockimpuls-Druck. In dieser Arbeit angewendet, wird nur der Haversine-Impuls, da er die Belastung einer Strasse durch ein rollendes Rad praxisnaher abbildet als eine Block-Belastung. Zudem ist es versuchstechnisch nahezu unmöglich rechteckige Impulsformen zu fahren, ohne dass am Anfang und am Ende des Impulses die Last nicht überschwingt.

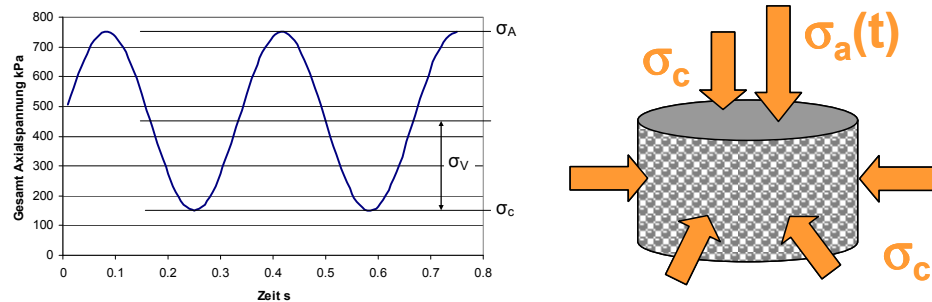


Abb. 5 Links, Funktion $\sigma_A(t)$ ohne Lastpause. In diesem Beispiel: $\sigma_c = 150$ kPa, $\sigma_v = 300$ kPa und $f = 3$ Hz. Rechts, Darstellung der auf den Prüfkörper wirkenden Belastungen.

Der Aufbau von σ_c mittels Teilvakuum (Abb. 6 links) unterliegt einer physikalischen Grenze. Ausgehend von einem Atmosphärendruck von 970 hPa ist mit dem Vakuumverfahren ein theoretischer, maximaler Seitendruck von nur 97 kPa zu erreichen. In der Praxis liegt dieser Wert etwas tiefer, weil das vollständige Vakuum nicht erreicht werden kann.

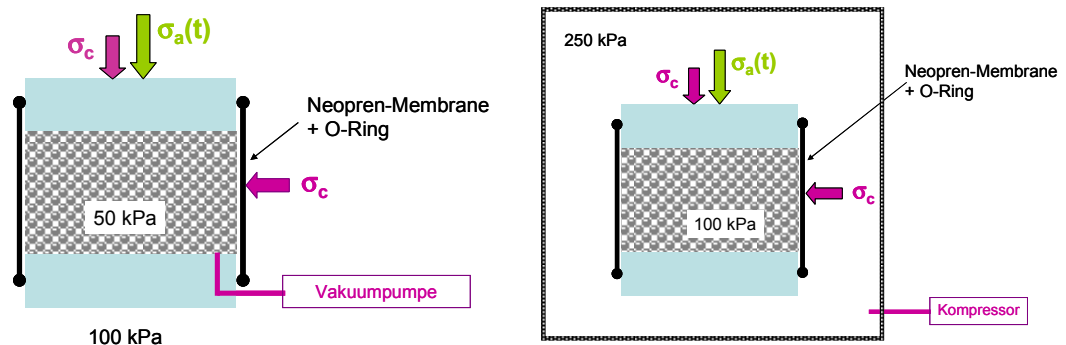


Abb. 6 Links, Teilvakuumssystem mit $\sigma_c = 50$ kPa. Rechts, Luftdruckzelle mit $\sigma_c = 150$ kPa.

Das Verfahren mit einer Hochdruckzelle (Abb. 6 rechts) bietet deutlich mehr Möglichkeiten. In der Praxis ist der maximale Druck vom vorhandenen Kompressor und von der Konstruktion der Zelle abhängig.

Das Triax-Prüfsystem wird nicht nur bei Asphalt, sondern auch bei ungebundenen Fundationsmaterialien angewendet. Gemäss EN 13286-7 [7] wird der Stützdruck entweder zyklisch und in Phase mit der Axialspannung oder konstant aufgebracht. Der Versuch dient der Untersuchung des elastischen (Elastizitätsmodul) und des plastischen (Axialdehnung als Funktion der Zyklenzahl) Verformungsverhaltens.

2.3.2 Geometrie der Probekörper

Die Geometrie der Probekörper ist in EN 12697-25 [5] und EN 13108-20 [12] definiert. Die Probekörper müssen die Form eines Zylinders haben. Die Stirnflächen müssen parallel zueinander und senkrecht zur Zylinderachse sein. Die Mindestmasse sind von der maximalen Korngrösse abhängig. Die spezifizierten Masse sind aus Tab. 2 ersichtlich.

Tab. 2 Masse der Probekörper

Maximale Korngrösse	Mindestmasse EN 12697-25	Anforderung EN 13108-20
≤ 16 mm	Ø 50 mm	Ø 100 mm
	H 50 mm	H 60 mm
> 16 mm	Ø 75 mm	Ø 100 mm
	H 75 mm	H 80 mm

In der Norm für Erstprüfungen EN 13108-20 [12] wird ein Schlankheitsgrad (Verhältnis der Höhe zum Durchmesser) von 0,6 für Grösstkörner kleiner oder gleich 16 und 0,8 für Grösstkörner grösser 16 vorgeschrieben.

2.3.3 Prüfbedingungen nach EN 13108-20

Verdichtungsmethoden

Sämtliche Verdichtungsmethoden sind für die Erstprüfung erlaubt: Schlagverdichter, Gyratorverdichter, Vibrationsverdichter, Walzenverdichter, Plattenverdichter, Bohrkerne aus der Strasse. Dennoch muss ein Verfahren und entweder die Verdichtungsenergie, der Verdichtungsgrad oder der Hohlraumgehalt ausgewählt werden. Ein Überblick all dieser Möglichkeiten ist in der Tabelle C.1 der EN 13108-20 [12] zusammengefasst.

Tab. 3 Ausgewählte Verdichtungsverfahren (aus EN 13108-20 [12])

C 1.17	Schlagverdichter	EN 12697-30	-	$P_L - P_U$	-
C 1.18	Gyrator-Verdichter	EN 12697-31	-	$P_L - P_U$	-
C 1.19	Vibrationsverdichter	EN 12697-32	-	$P_L - P_U$	-
C 1.20	Walzenverdichter	EN 12697-33	-	$P_L - P_U$	-
C 1.21	Bohrkerne aus Versuchsbereichen		-	$P_L - P_U$	-

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Prüfkörper gemäss Verfahren C.1.17 bis C.1.21 mit einem festgelegten Verdichtungsgrad hergestellt. Die Bezugsraumdicke ρ_{Bezug} wurde mit dem Marshall-Verfahren C.1.2 ermittelt, die Probekörperaumdicke ρ_{PK} nach EN 12697-6 [1] und Tabelle B.1 der EN 13108-20 [12]. Der Verdichtungsgrad P wird folgendermassen ausgedrückt:

$$P = \frac{\rho_{\text{PK}}}{\rho_{\text{Bezug}}} \cdot 100 \quad (6)$$

Der geforderte Verdichtungsgrad wird in Form der oberen P_U (upper) und unteren Grenzwerte P_L (low) festgelegt. Der Bereich zwischen P_U und P_L muss 2 % betragen, eine Bedingung die in der Norm EN 13108-1 [9] präzisiert wird. In dieser Arbeit wurden $P_U=100.5\%$ und $P_L=98.5\%$ ausgewählt.

Prüfbedingungen

Im Anhang D der EN 13108-20 [12] sind die Prüfbedingungen für die Bestimmung der Beständigkeit gegen bleibende Verformungen definiert. Der Versuch muss bei triaxialer Druckbeanspruchung gemäss EN 12697-25 B [5] durchgeführt werden.

Tab. 4 Prüfbedingungen gemäss EN 13108-20, Anhang D.7

Schicht	Prüf-temperatur [°C]	σ_c [kPa]	σ_v [kPa]	Frequenz [Hz]
Deckschicht	50	150	300	3
Tragschicht	40	50	200	3

Aus den Prüfbedingungen der Tab. 4 und der Gl. 6 ergeben sich die anzuwendenden Belastungen welche in Tab. 5 zusammengefasst sind.

Tab. 5 Prüfbedingungen gemäss EN 13108-20, Anhang D.7

Schicht	Gleichung (6)	Prüf-temperatur [°C]	Oberspannung [kPa]	Unterspannung [kPa]
Deckschicht	$\sigma_A(t) = 150 + 300(1 + \sin(2\pi \cdot 3 \cdot t))$	50	750	150
Tragschicht	$\sigma_A(t) = 50 + 200(1 + \sin(2\pi \cdot 3 \cdot t))$	40	450	50

Im Vergleich zu den Prüfbedingungen, welche für den einaxialen Druckschwellversuch gemäss TP A-StB [16] angewendet werden, sind in der EN 13108-20 [12] erhebliche Unterschiede entstanden.

- Die Prüftemperaturen betragen je nach Schicht 40°C oder 50°C anstatt 50°C für alle Mischgutsorten.
- Die niedrigere Beanspruchung gilt generell für Tragschichten; anstatt für Asphalt für normale Beanspruchungen.
- Die höhere Beanspruchung gilt generell für Deckschichten anstatt für Asphalt für besondere Beanspruchungen.

Für einen Prüfkörper mit Durchmesser 100 mm wurden die Spannungen aus Tab. 4 in Lasten umgerechnet.

Tab. 6 Prüfbedingungen nach EN 13108-20, Anhang D.7

Schicht	Oberlast [kN]	Unterlast [kN]	Vorbelastung [kN]
Deckschicht	4.71	0.12	0.12
Tragschicht	3.14	0.07	0.07

Auswertung in Kriechkategorien

Für die Beurteilung der Beständigkeit gegen bleibende Verformung hat die EN 13108-1 [9] insgesamt 17 Kategorien unterschiedlicher, maximal zulässiger Kriechgeschwindigkeiten festgelegt. Die Kategorien erstrecken sich von einer Kriechgeschwindigkeit von 0,2 $\mu\text{m/m/Zyklus}$ bis zu 16 $\mu\text{m/m/Zyklus}$. In einer 17. Kategorie wird keine Anforderung (No Requirement) festgelegt. Die Anforderungskategorien sind in Abb. 7 aufgeführt.

Kriechgeschwindigkeit f_c $\mu\text{m/m/n}$	Kategorie $f_{c\text{max}}$
0,2	$f_{c\text{max}} 0,2$
0,4	$f_{c\text{max}} 0,4$
0,6	$f_{c\text{max}} 0,6$
0,8	$f_{c\text{max}} 0,8$
1,0	$f_{c\text{max}} 1$
1,2	$f_{c\text{max}} 1,2$
1,4	$f_{c\text{max}} 1,4$
1,6	$f_{c\text{max}} 1,6$
2	$f_{c\text{max}} 2$
4	$f_{c\text{max}} 4$
6	$f_{c\text{max}} 6$
8	$f_{c\text{max}} 8$
10	$f_{c\text{max}} 10$
12	$f_{c\text{max}} 12$
14	$f_{c\text{max}} 14$
16	$f_{c\text{max}} 16$
Keine Anforderung	$f_{c\text{max}} \text{NR}$

Abb. 7 Kategorien zur Beurteilung des Widerstandes gegen bleibende Verformungen gemäss EN 13108-1 [5].

Die Kriechgeschwindigkeit wird im linearen Abschnitt der Kriechkurve (Stufe II) ermittelt. In der Norm EN 12697-25:2005 [5], Ziffer 5.6.2.1, steht: «Die Kriechrate f_c ist im quasi-linearen Teil der Kriechkurve zu bestimmen.». In der CEN TC227 WG1 TG2 wurde versucht, diesen linearen Teil zu definieren. Eine zusätzliche Anmerkung wurde vorgeschlagen: «The linear part of the creep curve can be taken as those points which deviate by a maximum of 2 % from a proposed linear equation. All such data points should be included in the analysis». Im Rahmen dieser Arbeit wird der lineare Abschnitt standardmässig zwischen den Zyklen 3000 und 10000 festgelegt. Dies entspricht annähernd der Anforderung der maximalen Abweichung von $\pm 2\%$. Eine genauere Betrachtung zeigt jedoch Fälle in denen die 2% Regel im Abschnitt 3000-10000 nicht eingehalten wird. Ein Beispiel dafür ist in der Abb. 8 dargestellt.

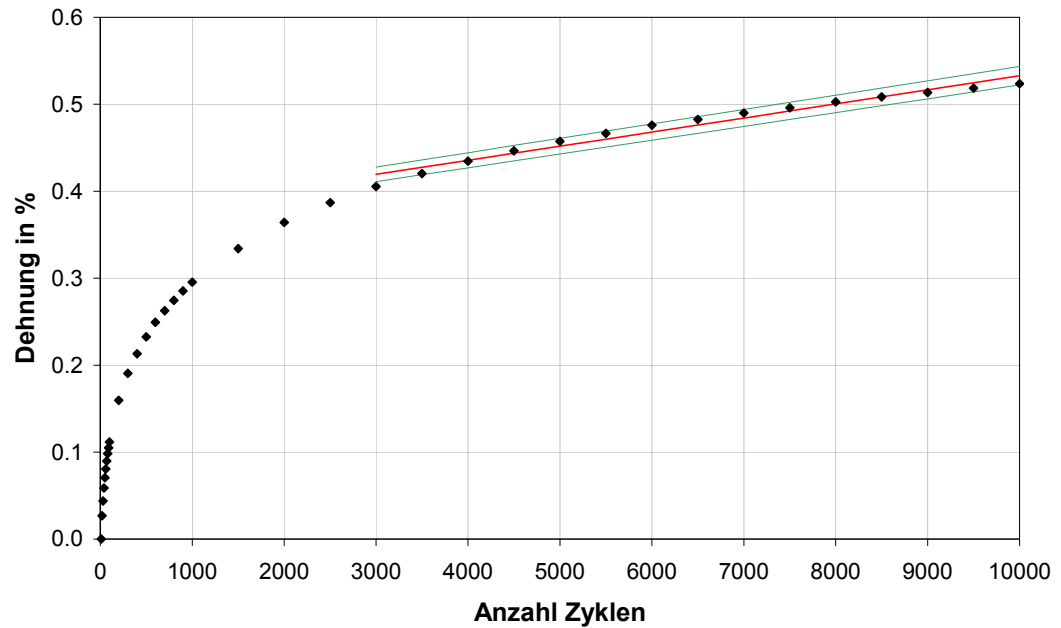


Abb. 8 Beispiel einer Kriechkurve mit einer Dehnung nach 10000 Zyklen von $\varepsilon = 0.52 \%$ und einer Kriechrate von $f_c = 0.16 \mu\text{m}/\text{m}/\text{Zyklus}$. Rote Linie: Regressionsgerade zwischen 3000 und 10000 Zyklen ($y = 0.00001621 \cdot x + 0.37080996$). Grüne Linien: $y \pm \Delta y$ mit $\Delta y = 2\%$.

In der Abb. 8 ist die Auswertung auf der Basis einer maximalen Abweichung von $\pm 2\%$ graphisch dargestellt. In diesem Beispiel wird gezeigt, dass der Messpunkt bei 3000 Zyklen ausserhalb und alle weiteren Messpunkte innerhalb des zulässigen Bereiches von $\pm 2\%$ liegen. Eine Regressionsgerade die mit der zulässigen Abweichung von $\pm 2\%$ konform wäre, ist in diesem Beispiel erst zwischen 3500 und 10000 Zyklen möglich.

Die Berechnung der Kriechgeschwindigkeit f_c in $\mu\text{m}/\text{m}/\text{Zyklus}$ beruht auf Dehnungswerte ε in $\%$. Infolge der für die Kriechgeschwindigkeit festgelegten Einheit von $\mu\text{m}/\text{m}$ ergibt sich - ausgehend von den Dehnungswerten ε in $\%$ - ein Faktor von 10^4 :

$$1\% = 0.01 \text{ m/m} = 10'000 \mu\text{m}/\text{m} = 10^4 \mu\text{m}/\text{m}$$

$$f_c = \frac{\varepsilon_{10000} - \varepsilon_{3000}}{7000} \cdot 10^4 \quad (7)$$

3 Verwendete Gerätschaften

3.1 Universal Prüfmaschine

Die verwendete Universalprüfmaschine ist ein Typ REL 2041 von Roell Amsler (heute Zwick Roell). Sie ist in der Lage kraft- oder weggesteuert eine zyklische Sinusfunktion mit einer Höchsthfrequenz von 1000 Hz zu erzeugen. Die Datenerfassungsrate liegt bei 10 kHz. Die Regelung ist mit einstellbaren P-I-D-Anteilen fein steuerbar. Sie ist mit einem MOOG 4 Liter Servoventil G761 und mit einer 20 kN Druckmessdose der Genauigkeitsklasse 0.2 bestückt (die relative Anzeigeabweichung ist kleiner 0.2 %). Die geforderte Kraft wird im Laufe der Prüfung innerhalb von 2 % eingehalten.

3.2 LVDT Taster

Die Höhe des Prüfkörpers verändert sich im Verlauf des Versuches. Zwei Micro-Epsilon DTA-5G-CA lineare, induktive Wegsensoren (Messbereich ± 5 mm) messen die Verformung. Die Wegsensoren haben eine Auflösung von 0.10 μm und entsprechen der Genauigkeitsklasse 0.1 bis 0.2.

Die Wegsensoren sind am Deckel (top plate) der Triaxzelle befestigt. Die Messungen erfolgen auf der oberen Lastplatte wobei die Wegsensoren einander gegenüber auf einer Durchmesserlinie angeordnet sind. Die Ablesungen erfolgen nach 10, 20, ..., 100, 200, ..., 1000, 1500, 2000, 2500, ..., 10000 Zyklen. Dies sind insgesamt 36 Ablesungen. Jede Datenerfassung dauert 0.1 Sekunden und besteht aus 10 Datenpunkten die zu Beginn eines Impulses erfasst werden. Daraus wird jeweils das Minimum berücksichtigt.

3.3 Triaxzelle

Die Triaxzelle ist eine automatisierte Luftdruckzelle die für einen Arbeitsdruck von maximal 300 kPa konzipiert wurde. Sie besteht aus einem Sockel und einer Deckplatte die durch drei Stahlpeiler verbunden sind. Ein mobiler Plexiglas Zylinder schliesst die Zelle. Der Aufbau ist in Abb. 9 ersichtlich. Die Deckplatte ist mit mehreren Durchgängen versehen: für die zentrale Belastungsstange, das Thermoelement, den Manometer, die Entlüftung und die beiden Wegsensoren. Der Druck in der Zelle wird durch ein analoges Druckreduzierventil geregelt. Die Einstellgenauigkeit beträgt ± 2 mbar.



Abb. 9 Triaxzelle von oben: Druckluftzelle mit Manometer und Thermoelement. Neben der zentrierten Stange, zwei Durchgänge für die LVDT Wegsensoren.

3.4 Druckluftmembrane

Der Prüfkörper in der Luftdruckzelle ist mit einer Membrane umhüllt. Diese sollte möglichst luftdicht sein, um keinen Innendruck im Prüfkörper zu erzeugen. Mit einer Latex-Membrane konnte diese Anforderung nicht erreicht werden. Begünstigt durch den Luftdruckunterschied konnte in allen möglichen technischen Varianten die Luft die Membrane durchqueren. Demzufolge wurde der effektive Seitendruck im Laufe des Versuches immer kleiner und nach dem Entlüften der Zelle war die Membrane von Innen aufgeblasen. Wie Tab. 7 zeigt, wurden mehrere Lieferanten (verschlüsselt aufgeführt) und mehrere Dicken geprüft.

Tab. 7 Druckverlust mit Latex-Membranen

Lieferant	Dicke [mm]	Augenschein	Bemerkung
C.I.	0.3...0.4	3 von 10 neue Membranen haben sichtbaren Löcher	Schon nach 2 Minuten undicht
C.GB	0.34...0.51	Keine sichtbaren Löcher	Seitendruckverlust nach 15 min.
P.F	0.45...0.62	Keine sichtbaren Löcher	Seitendruckverlust nach 30 min.
P.F	2 x 0.5		Seitendruckverlust nach 45 min.
C.GB	1.0...1.3	Keine sichtbaren Löcher	Seitendruckverlust nach 50 min.

Es wurde allgemein festgestellt, dass die Latex-Membranen - egal wie dick - luftdurchlässig sind. Obwohl die Dicke oder die Doppeleinpackung das Eintreten der Luft verlangsamt, ist die sich ergebende Permeabilität für den Druckschwellversuch immer noch zu hoch. Die Prüfung dauert eine Stunde. Während dieser Zeitspanne darf der relative Seitendruckabfall infolge von Permeabilität der Membrane 0.05 bar nicht überschreiten.

Es wurde Neopren in Betracht gezogen. Neopren verfügt über eine tiefere relative Luftpermeabilität [18] als natürlicher Kautschuk und ist gegen Kohlenwasserstoffe beständig (Öl, Benzin, Silikonfett). Bei Piercan wurde eine Neopren-Membrane mit einer Wanddicke von 1.0 ± 0.1 mm bestellt.

Ergebnis mit einer Neopren-Membrane

Muffen aus Neopren haben den Drucktest bei Raumtemperatur und Drücken von 2666 und 2950 mbar bestanden: es wurde kein Aufblasen nach der Entspannung beobachtet. Die Muffen haben den Test auch bei $T = 50\text{ °C}$ und $p = 2500$ mbar bestanden. Neopren besitzt Permeabilitätseigenschaften welche für den Versuch gemäss EN 12697-25 [5] geeignet sind.

3.5 Temperaturzunahme in der Zelle und in der Prüfkörpermitte

Die Temperierung des Prüfkörpers erfolgt indem er in die Triaxzelle eingebaut wird und die gesamte Zelle im Klimaschrank der Prüfpresse temperiert wird. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass nicht nur der Prüfkörper auf Prüftemperatur gebracht werden muss, sondern auch die Luft innerhalb der Zelle. Vorallem aber muss die gesamte Zelle beim Beginn der Prüfung die Prüftemperatur erreicht haben, um Verfälschungen der Ergebnisse infolge Veränderungen der Masse der Zelle infolge Temperatursausdehnungen zu vermeiden. Die Luft in der Zelle braucht ungefähr 4 Stunden bis sie durch Wärmestrahlung die Prüftemperatur von 50 °C erreicht hat. Dies unabhängig davon, wie hoch die Ausgangstemperatur innerhalb der Zelle auch ist (Abb. 10). Diese Messungen zeigen die Notwendigkeit einer gewissen Übersteuerung um die Zieltemperatur innerhalb einer vernünftigen Zeitspanne erreichen zu können. Der von einem Körper abgestrahlte Wärmestrom verhält sich proportional zur 4. Potenz seiner Temperatur ($dQ/dt \approx T^4$). Daher die grosse Wirkung einer relativ geringen Temperaturerhöhung der abstrahlenden Innenwand der Kammer.

Die Temperaturzunahme in der Prüfkörpermitte (Prüfkörper in der Zelle prüfgerecht eingebaut und von der 1 mm dicken Neopren Muffe umhüllt) wurde für die Zieltemperaturen 40 °C, 50 °C und 60 °C gemessen. Ein Asphalt-Prüfkörper wurde bis in seiner Mitte gebohrt, um die Temperatur mittels ESCORT iLog Datenlogger zu registrieren. Weder die Zelle noch der Prüfkörper erreichen die gewünschte Temperatur in einer vernünftigen Zeitspanne. In der Abb. 10 sind die Temperatur-Entwicklungen der Luft bei unterschiedlicher Ausgangstemperatur dargestellt.

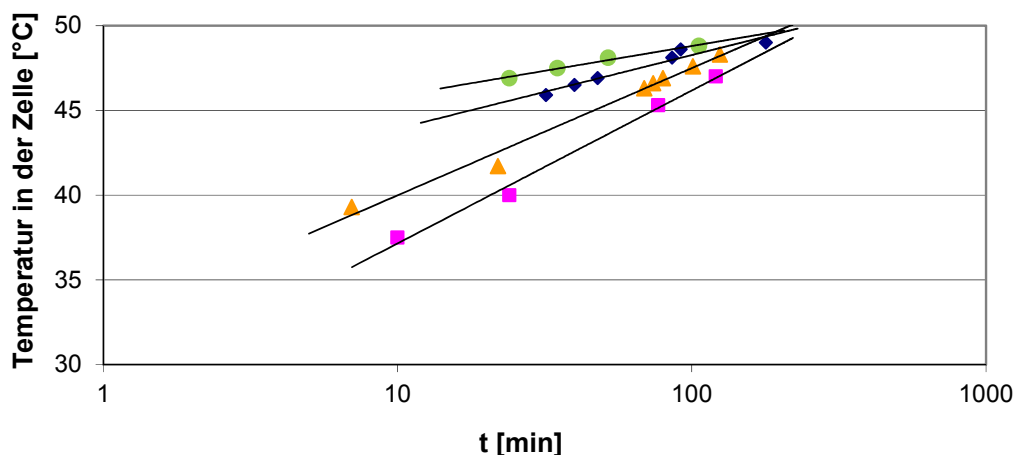


Abb. 10 Temperaturzunahme der Luft in der Zelle in Abhängigkeit der Zeit. Die Temperatur der Kammer in welcher die Zelle stand, betrug 50 °C. Die Ausgangstemperatur in der Zelle variierte von 28 bis 43 °C.

Eine geringe Übersteuerung der Temperatur der Kammer um 0.4 °C (Tab. 8) führte zum Ergebnis, dass die Soll-Temperatur von 50.0 °C im Prüfkörper nach mehr als 4 Stunden nicht erreicht wurde. Die Temperaturzunahme ist dermassen verlangsamt, dass der Prüfkörper die gewünschte Temperatur nicht innert nützlicher Frist erreichen kann.

Tab. 8 Temperatur im Prüfkörper bei einer Kammertemperatur von 50.4 °C

Minuten	1	245	285
Temperatur im Prüfkörper [°C]	33.9	47.4	47.4

Um die Aufwärmphase zu beschleunigen wurde eine Temperaturübersteuerung angewendet. Je nach Soll-Temperatur betrug die Übersteuerung 2, 3, oder 4 °C. Die Soll-Temperaturen 40 und 50 °C sind in der Norm 13108-20 definierte Prüfparameter. Die Soll-Temperatur 60 °C wurde zusätzlich untersucht.

Tab. 9 Temperatur im Prüfkörper nach Übersteuerung der Soll-Temperatur

Solltemperatur: 40 °C		Lufttemperatur der Kammer: 42.0 °C	
Minuten	1	142	180
Temperatur im Prüfkörper [°C]	27.2	40.0	40.4
Solltemperatur: 40 °C		Lufttemperatur der Kammer: 43.0 °C	
Minuten	1	85	120
Temperatur im Prüfkörper [°C]	27.6	40.0	41.0
Solltemperatur: 50 °C		Lufttemperatur der Kammer: 52.0 °C	
Minuten	1	244	∞
Temperatur im Prüfkörper [°C]	28.2	49.8	50.1
Solltemperatur: 50 °C		Lufttemperatur der Kammer: 53.0 °C	
Minuten	1	118	∞
Temperatur im Prüfkörper [°C]	33.6	50.1	51.3
Solltemperatur: 60 °C		Lufttemperatur der Kammer: 64.0 °C	
Minuten	1	120	240
Temperatur im Prüfkörper [°C]	29.8	51.2	60.0

Aus dieser Messreihe lässt sich folgendes schliessen.

- Um den Probekörper innert 2 Stunden auf 40 ± 1 °C zu erwärmen, braucht es schätzungsweise eine Temperaturübersteuerung von 2.5°C.
- Um den Probekörper innert 2 Stunden auf 50 ± 1 °C zu erwärmen, braucht es eine Temperaturübersteuerung von 3°C.
- Um den Probekörper innert 4 Stunden auf 60 ± 1 °C zu erwärmen, braucht es eine Temperaturübersteuerung von 4°C.

3.6 Beschichtung der Stirnflächen

Um die Reibung zwischen den Lastplatten und dem Probekörper zu minimieren, müssen einerseits die Stirnflächen glatt und eben und andererseits mit einem geeigneten Beschichtungssystem versehen sein. Aus Normen und Literatur werden verschiedenste Beschichtungssysteme erwähnt. Einige davon sind in der Tab. 10 aufgeführt.

Tab. 10 Beschichtungssysteme zur Minimierung der Reibung Prüfkörper/Lastplatte

Beschrieb	Quelle
Silikonfett	EN 12697-25 A [5]
Glyzerin mit Talkum	EN 12697-25 A [5]
Membran-Schmiermittel-Membran z.B. Gummimembran-Silikonfett-Gummimembran	EN 12697-25 B [5]
Silikonfett mit Graphitflocken	FGSV TP A-StB Einaxialer Druckschwellversuch [16]
Teflonfolie	P. Renken, S. Büchler, Optimierung des Triaxialversuchs, BAST Bericht, Heft S 39 [REN05]

Es wurden einige der vorgenannte Beschichtungssysteme evaluiert indem sie mit einem Prüfkörper ohne Zwischenschicht verglichen wurden. Diese Prüfserie zeigt die Wirkung der Beschichtung auf die horizontale Reibung und ist im Kapitel 6.4 beschrieben.

4 Verwendete Mischgutsorten

4.1 Asphaltbeton AC

Die untersuchten Asphaltbetonsorten sind in der Tab. 11 aufgelistet. Das Kapitel in welchem die Ergebnisse des einen oder anderen Mischgutes dargestellt sind, ist in dieser Tabelle auch angegeben. Die Mischgutuntersuchungen (MGU) sind separat im Anhang I.1 aufgeführt.

Tab. 11 Mischgut AC

Mischgut	IMP-Probennummer	MGU	Kapitel
AC T 11 N	08-05365	keine	5.1
AC T 11 N	08-05653	keine	5.2
AC T 16 S	11-02248	11-02248-001	6.6
AC T 22 S	12-03171	12-01165-001	6.7 & 7.1
AC B 16 S	11-04875	11-04875-001	6.7 & 6.8
AC B 16 S	12-04769	12-04769	7.2
AC 8 S	11-01101	10-02700-001	6.3 & 6.9
AC 8 S	12-04480	12-04480-001	6.9 & 7.1
AC 8 N	10-04184	10-04184-001	6.3 & 6.9
AC 11 S	11-00340	11-00340-001	6.3
AC 11 S	10-03043	10-03043-019	6.3
AC 11 S	10-04446	10-04446-001	6.3
AC 11 S	10-03000	10-03000-002	6.3
AC 11 S	11-02428	11-02428-002	6.1
AC 11 S	10-02343	10-02343-001	6.6
AC 11 S	11-05548	11-05548-001	6.4 & 6.7 & 6.8
AC 11 N	11-00340	11-00340-002	6.3
AC 11 N	11-01135	11-01135-001	6.4 & 6.6
AC 11 N	11-02428	11-02428-001	6.1
AC 11 L	10-05828	10-05828-001	6.1 & 6.3
AC 11 L	12-01690	12-01690-001	6.4
AC 11 LAVOC	11-05546	OFFORECY200	6.7 & 6.8
AC 16 N	12-05484	12-05484-001	6.9 & 7.1

4.2 ACMR und andere hohlraumreiche Asphalte

Die untersuchten Mischgutsorten ACMR sind in der Tab. 12 aufgeführt. Das Kapitel in welchem das Mischgut verwendet wurde, ist in dieser Tabelle auch angegeben. Die Mischgutuntersuchung (MGU) ist separat im Anhang I.2 aufgeführt.

Tab. 12 Mischgut ACMR

Mischgut	IMP-Probennummer	MGU	Kapitel
ACMR 8	09-03285	09-03285-001	5.3
ACMR 8	11-03665	11-03665-001	6.7 & 6.8
PERRPHONE 4	12-03171	12-01529-001	6.7 & 7.1
LNA 8 B	12-03171	12-01602-001	6.7 & 7.1

4.3 AC EME

Die untersuchten Mischgutsorten AC EME sind in der Tab. 13 aufgeführt. Das Kapitel in welchem das Mischgut verwendet wurde, ist in dieser Tabelle auch angegeben. Die Mischgutuntersuchungen (MGU) sind separat im Anhang I.3 aufgeführt.

Tab. 13 Mischgut AC EME

Mischgut	IMP-Probennummer	MGU	Kapitel
AC EME 22 C2	09-02998	09-03076-001	5.3 & 6.1 & 6.2 & 6.4 & 6.9
AC EME 22 C2	11-00596	BLH 01.002.11	6.7 & 6.8

5 Vorversuche

5.1 Seitendruck

Triaxzellen werden auch für Prüfungen an ungebundenen Gesteinskörnungen angewendet. Ein belgischer Prüfbericht [GRE08] legt den Einfluss des Seitendruckes auf die Steifigkeit der Probe dar. Der Seitendruck wird schrittweise von 20 bis zu 150 kPa erhöht (Abb. 11). Eine Erhöhung des Seitendruckes bewirkt eine Zunahme der Steifigkeit des ungebundenen Korngemisches.

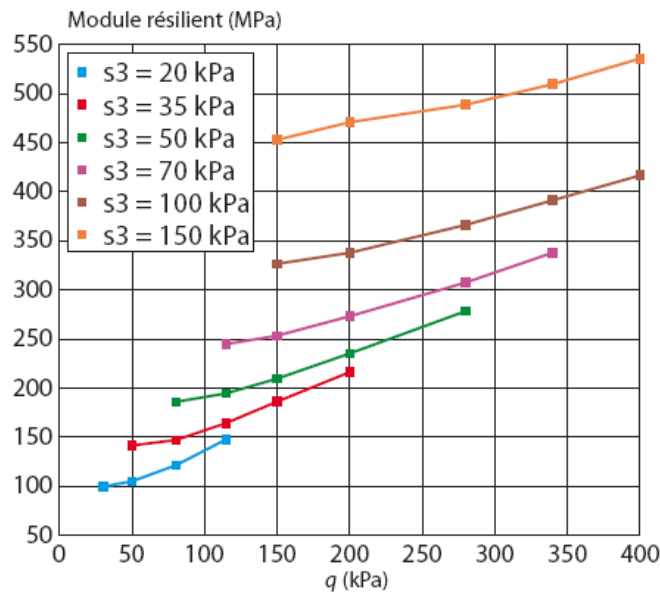


Abb. 11 Elastizitätsmodul in Abhängigkeit der Axiallast q und des Seitendruckes s_3 .

Die theoretische Grundlage lässt sich aus dem Mohr-Coulombschen Bruchkriterium ableiten. Der Seitendruck erhöht die innere Kohäsion, und somit auch die Spannung, bei welcher plastische Verformungen eintreten [TER 61].

Wird dieses Erkenntnis auf ein gebundenes Gemisch übertragen, so kann davon ausgegangen werden, dass der Seitendruck den Widerstand gegen bleibende Verformung erhöht. Eine Prüferie mit einem AC T 11 N bestätigt die Theorie. Tab. 14 zeigt das Prüfergebnis. Die angegebene Kriechrate ist der Mittelwert von drei Messungen.

Tab. 14 Kriechrate versus Seitendruck

Seitendruck σ_c [kPa]	Amplitude σ_v [kPa]	Oberspannung [kPa]	Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]
0	200	400	0.169
50	200	450	0.096
100	200	500	0.065

Die Kriechrate nimmt mit steigendem Seitendruck deutlich ab. Die grösste Abnahme (0.07 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$) erfolgt zwischen der Prüfung ohne Seitendruck und mit $\sigma_c = 50$ kPa. Zwischen dem Seitendruck von 50 kPa und 100 kPa beträgt die Abnahme der Kriechrate nur noch 0.03 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$. Ein ähnliches Ergebnis ist in Abb. 12 zu sehen.

5.2 Lastpause

Mit einem Mischgut AC T 11 N (Nr. 08-05653) wurde der Einfluss der Lastpause untersucht. Die Prüfkörper wurden mittels Marshallverdichtung gemäss [6] verdichtet. Die Parameter des Haversine-Impulses sind in der Tab. 15 beschrieben. Ansonsten wurde der Versuch mit einem Seitendruck von 50 kPa, einer Amplitude von 200 kPa und einer Prüftemperatur von 40 °C durchgeführt.

Tab. 15 Lastbedingungen mit/ohne Lastpausen

	Last [s]	Pause [s]	Frequenz [Hz]
Ohne Lastpause	0.33	0.0	3
Mit Lastpause	0.4	0.6	1

Die Dauer des einzelnen Lastimpulses beider Prüfbedingungen sind annähernd gleich, so dass vorwiegend die Lastpause von 0.6 s die beiden Versuche unterscheidet. Während der Lastpausen kann ein Teil der zeitabhängigen, reversiblen Verformung zurückgebildet werden, so dass nach jedem Impuls das Ausmass der Verformung reduziert ist. Dementsprechend ist auch eine Reduktion der gesamten Kriechverformung zu erwarten. Die Ergebnisse zeigen aber eine andere Tendenz. Die Dehnung nach 10000 Zyklen beträgt im Schnitt 0.44 ± 0.03 % ohne Lastpausen und 0.50 ± 0.02 % mit Lastpausen. In Abb. 12 ist dasselbe Ergebnis nach Berechnung der Kriechrate zwischen 3000 und 10000 Zyklen dargestellt.

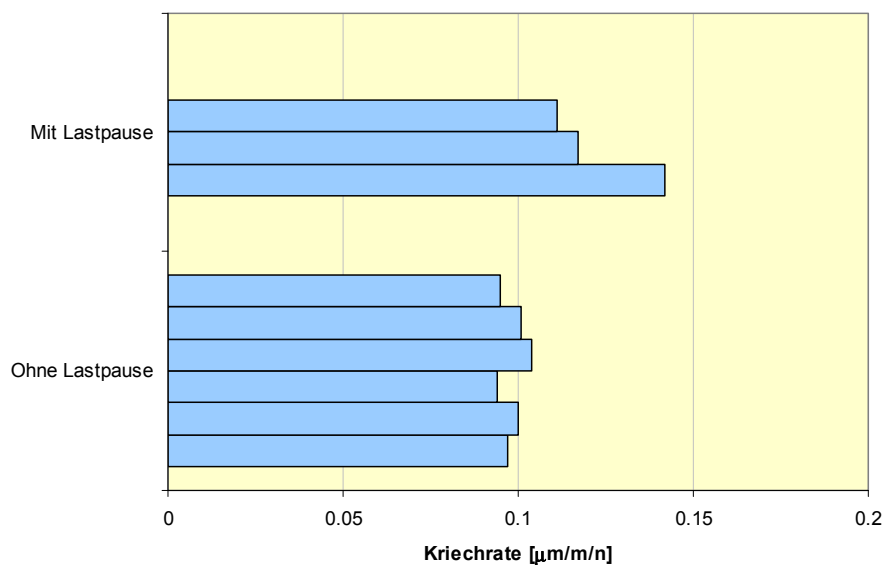


Abb. 12 Kriechrate in Abhängigkeit der Lastbedingungen; die Lastpause beträgt 0.6 s.

Die Lastpause scheint sich auf das Verformungsverhalten derart auszuwirken, dass die Werte für Dehnung und Kriechrate etwas grösser werden. Der Unterschied scheint nicht relevant zu sein. Trotz der stichprobenweisen Untersuchung des Einflusses der Lastpause wurde in der weiteren Arbeit auf die Lastpause verzichtet. Die Dauer der Prüfung wird durch Lastpausen um ein Dreifaches verlängert. Dieser Entscheid wurde nicht zuletzt aus praktischen Gründen gefällt. Zudem lässt die EN 12697-25 die Wahl mit/ohne Lastpause offen.

5.3 Verdichtungsenergie

Bei der Prüfkörperherstellung mit einer definierten Anzahl Schläge (Marshall), ist die Verdichtungsenergie konstant. Bei der Gyrator-Verdichtung nach EN 12697-31 [7] hingegen, wird solange verdichtet, bis ein bestimmter Verdichtungsgrad erreicht ist. Die Anzahl Umdrehungen um eine definierte Höhe zu erreichen, wird in erheblichem Mass von der Mischgutzusammensetzung der einzelnen Proben beeinflusst (vorausgesetzt die Einwage sei identisch).

Der Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Kriechrate ist in der Abb. 13 für zwei verschiedene Mischgutsorten dargestellt. Ganz offensichtlich besteht eine optimale Verdichtungsenergie mit einer minimalen Kriechrate. Dass ungenügend verdichtete Asphalte zu Deformationen neigen, wird auch in der Praxis festgestellt.

Überverdichtete Asphalte kommen bei Deck- und Binderschichten sehr selten vor, da diese Schichten infolge der raschen Abkühlung oft kaum überverdichtet werden können. Im Unterschied dazu erfolgt die Verdichtung im Labor bei konstant hoher Temperatur in-
nert kurzer Zeit. So gesehen ist der Abfall des Verformungswiderstandes (Zunahme der Kriechrate) für die Praxis von sekundärer Bedeutung.

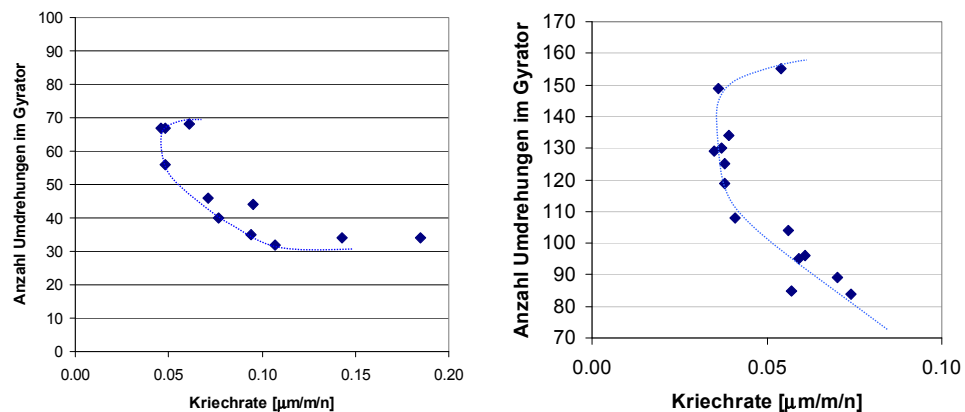


Abb. 13 Kriechrate in Abhängigkeit der Verdichtungsenergie. Links: AC EME 22, Rechts: ACMR 8

6 Versuche mit der Triaxzelle

6.1 Verdichtungsmethode

Die Verdichtungswirkung hängt ausser von der Temperatur in starkem Masse von der Verdichtungsmethode ab [ANG82]. Die Abhängigkeit der Kriechrate von der Verdichtungsmethode wird am Beispiel eines AC EME 22 C2 quantitativ erfasst. Es werden dabei drei Laborverdichtungsmethoden und eine Verdichtung auf der Baustelle betrachtet. In der Tab. 16 sind Angaben zu den Methoden und den Verdichtungskennwerten gegeben.

Tab. 16 Herstellung von Prüfkörpern aus AC EME 22 C2 und deren Verdichtungsgrade

	Marshall- Prüfkörper	Gyrator- Prüfkörper	Bohrkerne aus im Labor verdichteten Platten ¹⁾	Bohrkerne aus der Fahrbahn
Anzahl Prüfkörper	6	6	6	2
Mittlerer Verdichtungsgrad [%]	100.0	100.2	100.2	100.3

¹⁾ Walzsegmentverdichter

Die Abb. 14 zeigt die Kriechrate von 4 Prüfkörperserien mit gleichem Verdichtungsgrad, welche sich einzig durch die Verdichtungsmethode unterscheiden. Das Mischgut ist ein AC EME 22 C2 mit einem Bindemittel 15/20, welches 2009 auf einer Schweizer Nationalstrasse eingebaut wurde. Bei der Prüfkörperhöhe musste eine Abweichung von der EN [5] zugelassen werden, da die Bohrkerne aus dem Objekt keine grössere Prüfkörperhöhe ermöglichen. Zudem beträgt die Prüfkörperhöhe der Marshall-Probekörper 60 mm. Alle Prüfkörper wurden auf eine Höhe von 60 mm zugeschnitten und geschliffen.

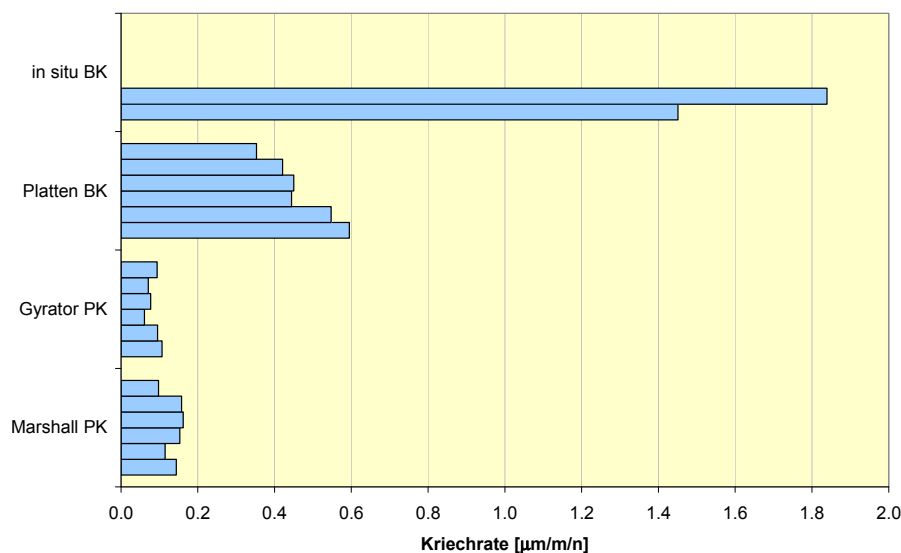


Abb. 14 Kriechrate eines AC EME 22 C2 bei verschiedenen Verdichtungsmethoden

Im Vergleich zu Prüfkörper mit einer ausgeschalteten Mantelfläche zeigen Bohrkerne einen deutlich tieferen Verformungswiderstand. Dieser bekannte Zusammenhang ist darauf zurückzuführen, dass die Körner im Randbereich der Prüfkörper, welche in einer Stahlform verdichtet werden, während der Verdichtung nicht ausweichen können.

Ferner kann in diesem Beispiel (Abb. 14), in erster Näherung die Streuung der Kriechrate von Marshall- und Gyrator-Prüfkörper geschätzt werden: Mittelwert und Standardabweichung der Kriechrate von $f_{c\text{Marshall}} = 0.14 \pm 0.03 \mu\text{m/m/n}$ und $f_{c\text{Gyrator}} = 0.08 \pm 0.02 \mu\text{m/m/n}$. In einer weiteren Untersuchung wurden zwei verschiedene Laborverdichtungsmethoden zur Herstellung von Platten miteinander verglichen:

- Walzsegment-Verdichter
- Gummirad-Verdichter

Beide Verfahren sind in der Norm EN 12697-33 [8] beschrieben.

Tab. 17 Kriechrate in $\mu\text{m/m/n}$ 3-er Serie verschiedener Mischgute AC 11 bei unterschiedlicher Verdichtungsmethode (Mittelwerte von 3 Prüfkörpern)

Typ	Bindemittel	Gyrator-Prüfkörper	Bohrkerne aus Walzsegment-Platten	Bohrkerne aus Gummiradplatten
N	70/100	0.18	0.32	0.31
L	160/220	0.17	0.23	0.17
H	10/20	0.07	0.26	0.13

Generell kann festgehalten werden, dass sich die Bohrkerne aus im Labor hergestellten Platten analog verhalten. Die beiden Labor-Verdichtungs-Methoden Walzsegmentverdichter und Gummirad-Verdichter [8] führen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Sehr unbefriedigend ist allerdings, dass die Kriechrate keine Abhängigkeit von der verwendeten Bitumensorte zeigt. Obwohl ein AC 11 Mischgut mit einer extrem harten Bitumensorte (10/20) erstellt wurde, liegt dessen Kriechrate (bei der Bohrkerne) in der gleichen Größenordnung wie beim Mischgut mit einem sehr weichen Bitumen (160/220).

6.2 Schlankheitsgrad

Der Einfluss des Schlankheitsgrades auf die Kriechrate eines AC EME 22 C2 wurde untersucht. Die Prüfkörper haben einen Durchmesser von 100 mm und unterschiedliche Höhen von 60 mm oder 80 mm. Die Schlankheitsgrade betragen 0.6 bzw. 0.8 und entsprechen den Vorgaben der EN 12697-25 [5].

Der Schlankheitsgrad hat bei diesem Mischgut keinen wesentlichen Einfluss auf das Verformungsverhalten. Der Einfluss der Verdichtungsenergie (bzw. des Verdichtungsgrades) hingegen überwiegt gegenüber demjenigen der Prüfkörperhöhe.

Abb. 15 zeigt den dominierenden Einfluss der Anzahl Gyrator-Umdrehungen auf die Kriechrate.

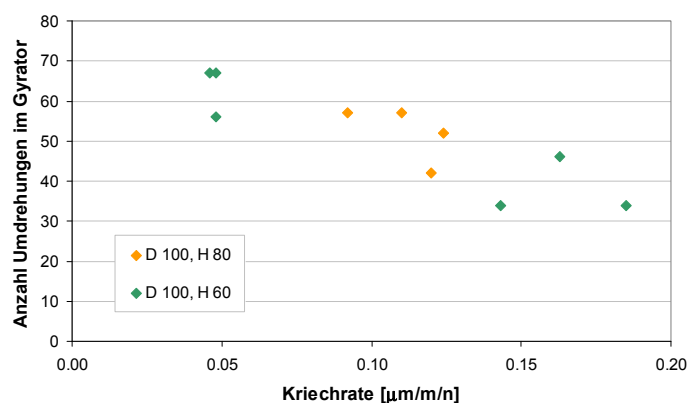


Abb. 15 Kriechrate in Abhängigkeit der Verdichtungsenergie; Prüfkörper aus AC EME 22 C2 mit unterschiedlichen Höhen; 60 mm (orange) und 80 mm (grün).

Dieses Ergebnis ist einzig für die Mischgutsorte AC EME 22 C2 gültig. Ob bei einem weichen Bitumen und kleinen Körner der Schlankheitsgrad ebenfalls eine untergeordnete Rolle spielt, wurde nicht abgeklärt.

Auch in [REN05] konnte keine deutliche Abhängigkeit der Kriechrate vom Schlankheitsgrad festgestellt werden. Es wurden die Mischgutsorten AC 11, SMA 11 und PA 8 untersucht, und zwar in Form von Bohrkernen und Gyrator-Prüfkörpern. Das Ergebnis des Triaxialversuches bei 40°C, 10 Hz, nach 150000 Lastwechseln, ist in Tab. 19 zusammengefasst.

Tab. 18 Einfluss des Schlankheitsgrades auf die bleibende axiale Dehnung; Durchmesser D ist 100 mm; Höhe H ist 60 oder 80 mm.

Schlankheitsgrad (H/D)	Dehnung Gyrator-Prüfkörper [‰]		Dehnung Bohrkern [‰]	
	0.6	0.8	0.6	0.8
AC 11	12	11	37	42
SMA 11	10	9	48	43
PA 8	12	11	30	39

Es kann festgehalten werden, dass der Schlankheitsgrad die Kriechrate kaum beeinflusst, solange er sich innerhalb der in der EN 12697-25 festgelegten Spanne von 0.6 bis 0.8 bewegt.

6.3 Bitumenhärte

Etliche Versuche wurden unternommen, um in Abhängigkeit der Bitumenhärte eine klare Unterscheidung der Kriechrate zu erkennen. Ein Beispiel dafür ist in Abb. 16 dargestellt. Um eine grösstmögliche Homogenität der Prüfkörper anzustreben, wurde ein kleines Grösstkorn (8mm) gewählt. Zudem wurde die Anzahl der untersuchten Prüfkörper pro Bitumensorte auf 6 Stück erhöht, um einen allfälligen Einfluss der Streuung der Messergebnisse klein zu halten.

Wie aus Abb. 16 zu entnehmen ist, lassen sich die beiden Asphalte mit verschiedenen Bitumensorten durch die Kriechrate nicht unterscheiden. Aus den Versuchen mit AC 8 konnte als einzige Erkenntnis die mangelnde Aussagekraft der Prüfmethode festgestellt werden. Die unterschiedliche Bitumenviskosität kommt überhaupt nicht zum Ausdruck.

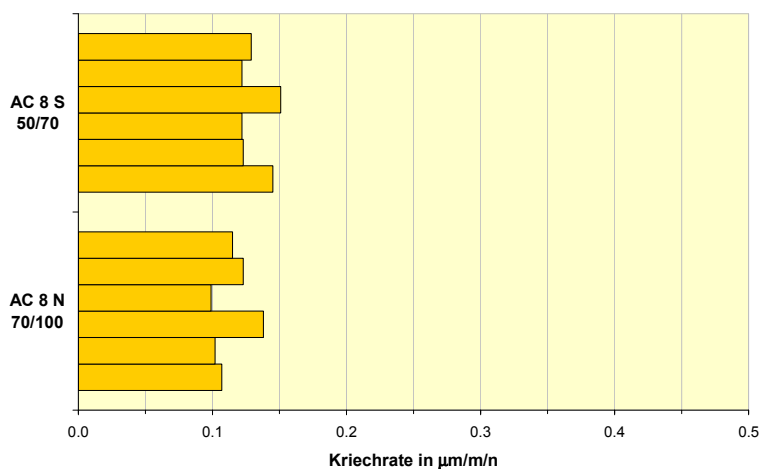


Abb. 16 Kriechrate in Abhängigkeit der Mischgutsorte und Bitumenviskosität.

Um den obige Aussage weiter zu vertiefen wurde eine breiter abgestützte Untersuchungsreihe durchgeführt. Dazu wurden sieben AC 11-Mischgute mit unterschiedlichen Bitumensorten geprüft (siehe Abb. 17).

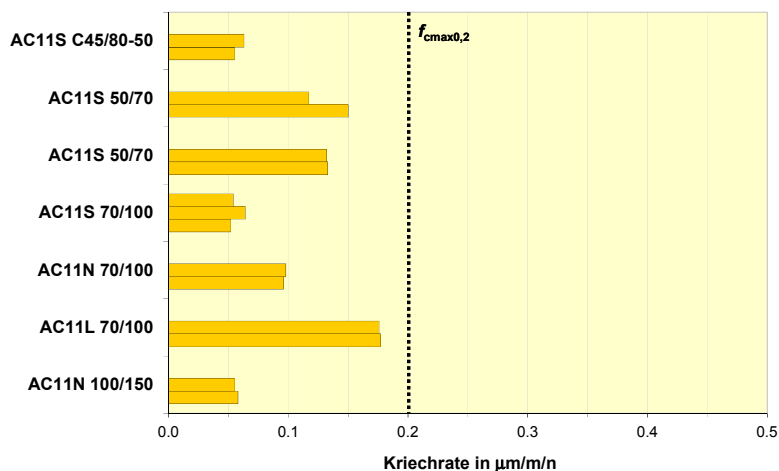


Abb. 17 Kriechrate in Abhängigkeit der Mischgutsorte und der Bitumensorte.

Die gemessenen Kriechraten stehen in keinem Zusammenhang zu den Bitumenviskositäten. Beispielsweise zeigen die Proben mit einem Bitumen 100/150 das gleiche Verhalten wie die Proben mit einem deutlich härteren PmB C45/80-50. Dass die Kriechrate der Proben mit einem Bitumen 50/70 grösser ist als beim Bitumen 70/100 entspricht auch nicht den Erwartungen.

Diese Vergleichsuntersuchung zeigt sehr deutlich, dass die in der EN gewählten Prüfparameter nicht die gewünschte Aussagekraft der Prüfmethode ermöglichen.

Ein weiterer Hinweis dafür ist die Tatsache, dass alle sieben Ergebnisse die Anforderung der allerstrengsten Kategorie $f_{c\max 0,2}$ erfüllen.

6.4 Reibung zwischen Lastplatte und Stirnfläche

Mit steigender Reibung zwischen der Lastplatte und der Stirnfläche des Probekörpers nimmt die vertikale Gesamtverformung theoretisch ab. Der Grund dafür ist die unmittelbar unter der Kontaktfläche behinderte Querdehnung. Bei derartigen Randbedingungen ist die Axialdehnung hauptsächlich auf die mittlere Höhe des Prüfkörpers konzentriert, anstatt sich auf der ganzen Prüfkörperhöhe gleichmässig zu verteilen. Die Probekörper weisen in diesem Fall nach der Prüfung eine fassförmige Form auf.

Aufgrund einer ersten Untersuchung mit zwei Beschichtungssystemen, nämlich Silikonfett mit Graphitflocken einerseits und Silikonfett alleine andererseits, wurde eine geringe Zunahme der Kriechrate bei Vorhandensein von Graphitflocken festgestellt. Bei vorgegebener Temperatur, Oberlast und Frequenz sind die Ergebnisse in Tab. 19 festgehalten.

Tab. 19 Einfluss von Graphitflocken in der Zwischenschicht Prüfkörper-Lastplatte auf die Kriechrate

Messgrösse	Gyrator-Prüfkörper (6er Serie)		Gyrator-Bohrkerne (3er Serie)	
	ohne C-Flocken	mit C-Flocken	ohne C-Flocken	mit C-Flocken
Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	0.08	0.11	0.08	0.12
Standardabw. [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	± 0.02	± 0.07	± 0.02	± 0.04

Das geprüfte Mischgut war ein AC EME 22 C2. Die Prüfkörper hatten einen Durchmesser von 100 mm und eine Höhe von 60 mm. Gyrator-Bohrkerne wurden aus Gyrator-Prüfkörper mit einem Durchmesser von 150 mm entnommen. Die mittlere Kriechrate zeigt tendenziell einen höheren Wert, wenn das System "Silikon + Graphitflocken" verwendet wird. Aber unter Berücksichtigung der Streuung können die beiden Beschichtungssysteme als gleichwertig betrachtet werden. Mit abnehmender Reibung wird nicht nur eine erhöhte Kriechrate erwartet, sondern auch eine erhöhte Sensibilität des Prüfverfahrens. Stellt man die Prüfkörperart in den Vordergrund, so ergibt sich mit den Graphitflocken keinen Unterschied ob gegossen oder gebohrt, obwohl bekannterweise Bohrkerne empfindlicher gegenüber zyklische Belastungen reagieren. In diesem Beispiel kann man wohl davon ausgehen, dass die Graphitflocken keinen wesentlichen Beitrag zur Aussagekraft der Prüfung leisten.

Eine zweite Untersuchung erfolgte mit anderen Beschichtungssystemen und mit einer weichen Mischgutsorte. Es wird versucht, die relative Effizienz der Beschichtungssysteme zu messen in dem ein Prüfkörper ohne Beschichtung als Referenz eingesetzt wird. Die Beschichtungssysteme sind in Tab. 20 beschrieben.

Tab. 20 Beschichtungssysteme zur Minimierung der Reibungen

Beschrieb	Material
Silikonfett	Dow Corning 7
Silikonfett/Graphitflocken	Marson® K-2 Silicone Compound / Rinatol®, Ess+Müller AG, Schaffhausen
Latexmembran/Silikonfett/Latexmembran	Latex 0.4 mm / Dow Corning 7 / Latex 0.4 mm ; Querdehnzahl $\vartheta = 0.5$
Teflonfolie	PTFE reinweiss 0.54 mm ; Querdehnzahl $\vartheta = 0.46$; IBG Monforts Fluorkunststoffe GmbH

Die Untersuchung (11-05548-001) ergibt, dass das Latex/Silikon/Latex-System den Kriechwert um das 5- bis 8-fache beeinflusst (Tab. 20 und Abb. 18). Beide AC 11 wurden mit der Bitumensorte 70/100 hergestellt.

Tab. 21 Kriechrate in Abhängigkeit des Beschichtungssystems

Beschichtungssystem	Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]
	AC 11 S 11-05548-001
keine Beschichtung	0.14
Silikonfett	0.14
Silikonfett/Graphitflocken	0.22
Latexmembran/Silikonfett/Latexmembran	1.10 / 0.75
Teflonfolie	0.19

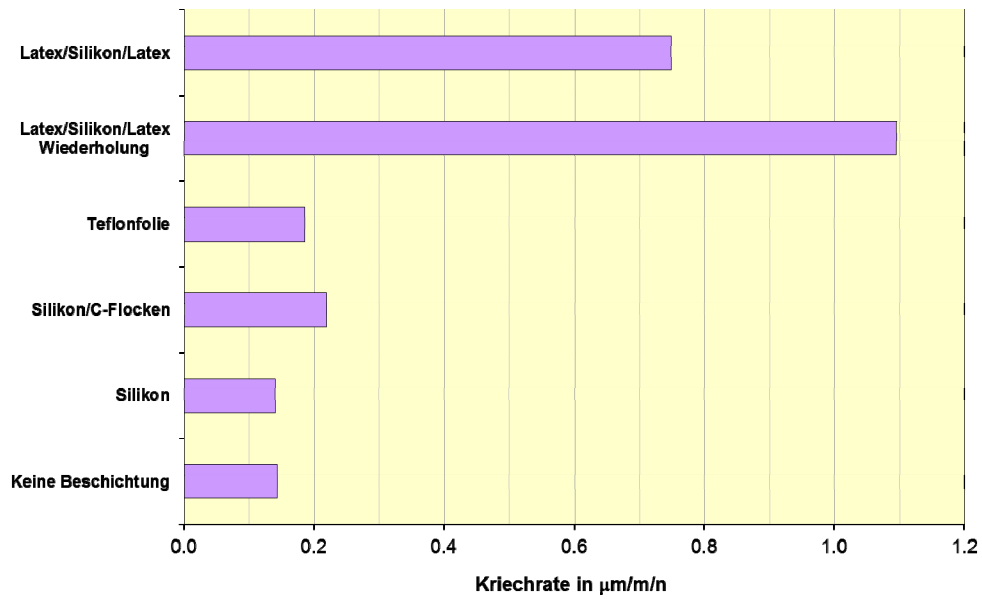


Abb. 18 Kriechrate in Abhängigkeit des Beschichtungssystems; Mischgut AC 11 S (11-05548-001)

Die Stirnflächen der Prüfkörper nach der Prüfung mit dem System Latexmembran/Silikon/Latexmembran haben einen aussergewöhnlichen Aspekt; die Oberfläche ist rau, die Gesteinskörner ragen heraus, der Mastix wirkt wie eingedrückt, ganz besonders an der Grenzfläche mit den grösseren Körner. Die Beobachtung konnte photographisch erfasst werden (Abb. 19; unten). Zum Vergleich (Abb. 19; oben) bleibt die Stirnfläche nach einem Versuch mit Teflonfolien relativ glatt.



Beschichtung mit Teflonfolie; die Fläche ist eben.



Beschichtung mit Latexmembranen; die Körner ragen heraus.

Abb. 19 Stirnflächen der Prüfkörper aus AC 11 S nach Druckschwellversuch bei identischen Prüfparametern; oben Prüfung mit Teflonfolie; unten Prüfung mit dem Latex/Silikon/Latex-System.

Bei den meisten Werkstoffen resultiert aus einem Druckversuch eine Volumenabnahme. Diese Volumenänderung $\Delta V/V$ kann man annäherungsweise mit Hilfe der Längsdehnung ε_l und der Querdehnzahl ν berechnen.

$$\left| \frac{\Delta V}{V} \right| = |\varepsilon_l| \cdot (1 - 2\nu) \quad (8)$$

Die Querdehnzahl von Latex ist gleich 0.5 und $\Delta V/V = 0$. Dies bedeutet, dass die auf die Latexmembranen einwirkenden Druckbelastungen - bei gleich bleibendem Volumen aber dank Formänderungen (siehe Abb. 20) - bevorzugt durch den weicheren, nachgiebigeren Mastix aufgenommen werden.

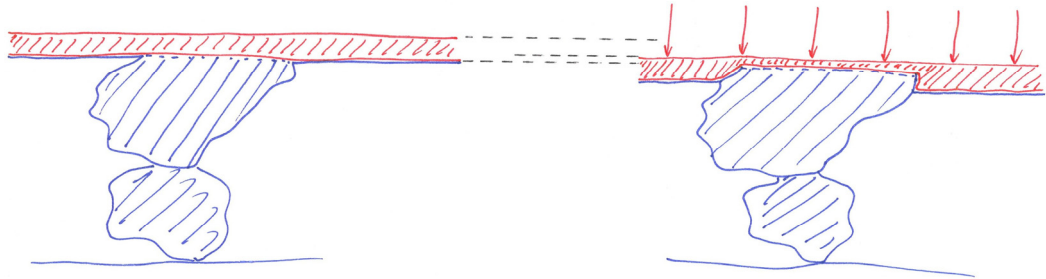


Abb. 20 Formänderung der Latexmembrane bei gleichbleibendem Volumen

Aus diesen Beobachtungen zum Verhalten der Oberfläche geht hervor, dass nicht nur das Kriechen des Prüfkörpers samt Korngerüst, sondern ebenfalls das Zusammenquetschen der Membranen und das oberflächliche Verdichten des Mastix gemessen werden. Mit der Absicht diese Hypothese zu bekräftigen wurde ein Prüfkörper in drei Scheiben gesägt und sein Kriechverhalten mit jenem eines ganzen Prüfkörpers verglichen, wobei die Gesamthöhe für beide identisch ist. Die Schnittstellen der Scheiben und die Stirnflächen werden mit dem System Latexmembran/Silikon/Latexmembran beschichtet (siehe Abb. 21).

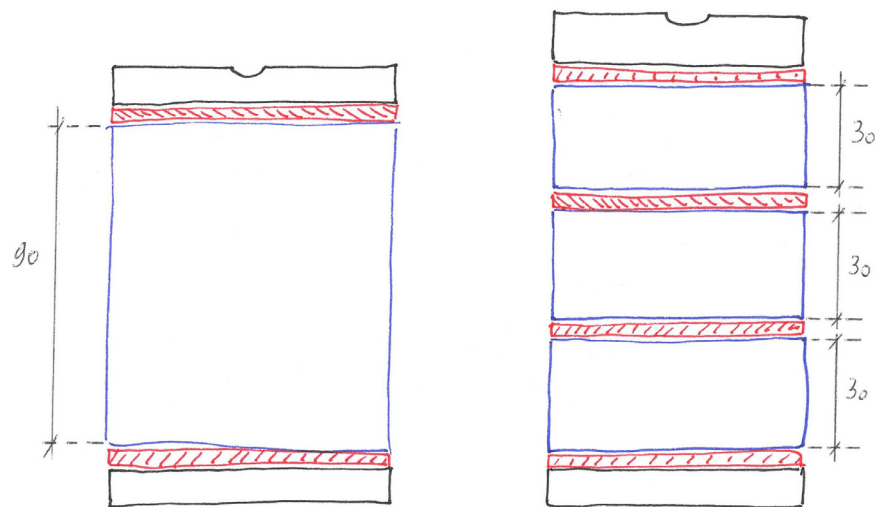


Abb. 21 Aufbau der Prüfungen; schwarz: Stahlplatte; rot: Latex-Beschichtung; blau: Asphalt Prüfkörper.

Die gemessenen Kriechkurven sind sehr unterschiedlich (Abb. 22). Die Prüfanordnung mit dem ganzen Prüfkörper und zwei Latex Schichten führt zu deutlich geringeren Deformationen (1.662 %) als diejenige mit den vier Schichten (2.811 %). Das Ergebnis lässt sich im Wesentlichen mit der Deformation der Latexfolien erklären. Die erzeugte Gesamtdehnung besteht aus der bleibenden Verformung des Mischgutes a und aus der Verformung der einzelnen Latex Schichten b . Eine differenzierte Schätzung der Anteile a und b liefert die Lösung des Gleichungssystems

$$a + 2b = 1.662$$

$$a + 4b = 2.811$$

Daraus folgt: $a = 0.513 \%$ und $b = 0.575 \%$.

Dies bedeutet, dass ungefähr 70 % der am Prüfkörper gemessenen Dehnung nichts mit dem untersuchten Asphalt zu tun hat, sondern der Beitrag der Latex Beschichtungen ist.

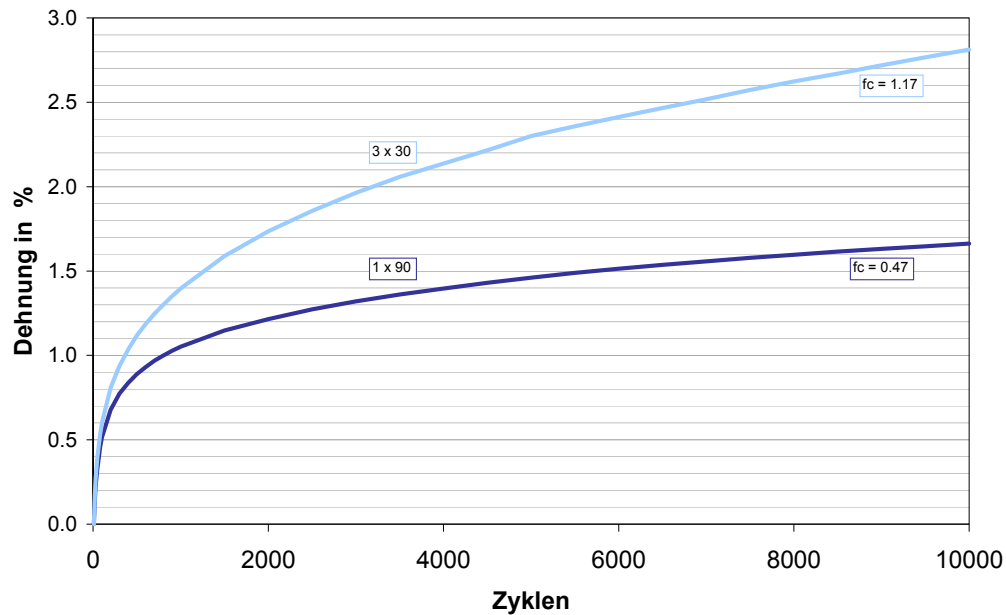


Abb. 22 Kriechdehnung in Abhängigkeit der Anzahl Belastungszyklen; hellblau: Prüfkörper in drei geteilt; dunkelblau: Prüfkörper ganz. Die Kriechraten f_c in $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ sind im rechten Eckfeld angegeben.

Auch aus der Form der Mantelfläche können Aussagen über das Beschichtungssystem abgeleitet werden. Mit Teflon ist die radiale Querdehnung über die ganze Prüfkörperhöhe gleichmässig verteilt und die Mantellinie bleibt entsprechend gerade (Abb. 23; oben). Aber wenn durch Reibung zwischen Laststempel und Stirnfläche horizontale Spannungen entstehen, dann dehnt sich der Prüfkörper in der unmittelbaren Nähe der Stirnflächen nicht frei aus. Demzufolge erzeugt die radiale Ausdehnung einen Bauch, was sich in einer konkaven Mantellinie verkörpert (Abb. 23; unten).

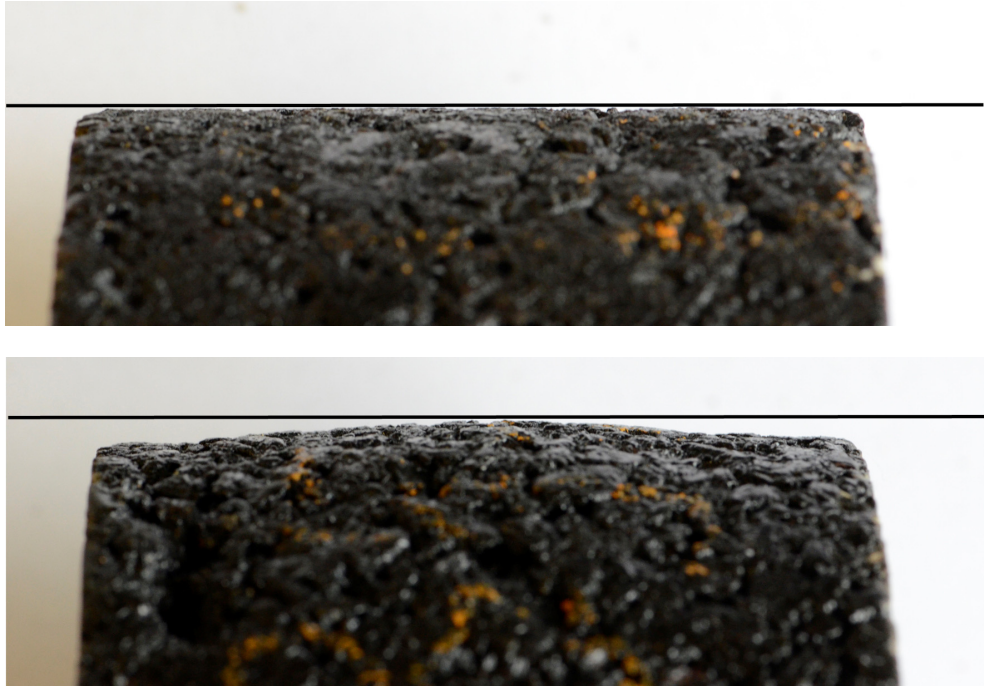


Abb. 23 Stirnflächen der AC 11 S Prüfkörper nach Druckschwellversuch bei identischen Prüfparametern; oben Prüfung mit Teflonfolie; unten Prüfung ohne Beschichtungssystem.

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass die Anwendung der Latex/Silikon/Latex-Beschichtung zu unverhältnismässig hohen Kriechraten führt und schliesslich, dass Beschichtungssysteme mit Latex für Druckschwellversuche von Asphalt nicht geeignet sind.

Letztlich konnte ebenfalls die Wirksamkeit der Beschichtungssysteme Silikon, Teflon und Silikon/Graphitflocken beurteilt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Silikon alleine keinen positiven Effekt auf die Reibung hat. Zum Zeitpunkt des Einbaus ist die Reibung zwar minimal, aber bei 50°C wird das Fett flüssig und verschwindet noch während des Versuches in den Asphaltporen. Ein kleiner Einfluss haben die Systeme Silikon/Graphitflocken und Teflonfolie. Es werden Zunahmen der Kriechrate von 40 bis 50% beobachtet gegenüber dem Prüfkörper ohne reibungs-vermindernde Massnahme.

Schindler hat in ihrer Dissertation [SCH08] ebenfalls den Effekt von unterschiedlichen Beschichtungssystemen zur Minderung der Reibung untersucht. Ihr Versuchsergebnis ist die bleibende axiale Dehnung nach 70000 Lastwechseln. Die Probekörper ohne Beschichtung deformieren am geringsten (20 ‰); die mit dem System Teflonfolie+Gleitmittel am meisten (55 ‰). Das System mit nur Teflonfolie liegt dazwischen (39 ‰).

Anhand dieser Beobachtungen und aus praktischen Gründen wird zur Minderung der Reibung zwischen dem Prüfkörper und der Lastplatte die Teflonfolie empfohlen. Die Systeme mit Gleitmittel (Silikonfett oder Glycerin) oder mit Graphitflocken sind in der Praxis mit Nachteilen verbunden: Die Flocken verunreinigen die Neopren Muffen und die Druckzelle stark. Im Gegensatz dazu, lässt sich die Teflonfolie mehrmals einsetzen und verursacht keine zusätzlichen Arbeiten ausser der schnellen Reinigung der Folie nach jedem Versuch.

6.5 Zwischenbilanz

Auch in der Arbeit von Michael Wagner [WAG10] sind die Kriechraten von AC 11 mit Bitumen 70/100 und mit polymermodifiziertem Bitumen 45/80-50 unter Einhaltung der Prüfparameter der EN 12697-25 [12] kaum unterscheidbar. Dasselbe gilt auch nachdem die Prüftemperatur von 50°C auf 60°C erhöht wurde. Die Messergebnisse sind in Tab. 21 festgehalten. Alle Kriechwerte liegen um die 0.2 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ und entsprachen der strengsten Anforderungskategorie der EN 13108-20.

Tab. 22 Bindemittelsorte und Prüftemperatur versus Kriechrate in $\mu\text{m}/\text{m}$ (aus [WAG10]).

Mischgutsorte	Bindemittelsorte	50 °C	60 °C
AC 11	70/100	0.19	0.24
AC 11	45/80-50	0.15	0.18

Es muss hier eine Zwischenbilanz gezogen werden, weil die vielen Untersuchungen unter Berücksichtigung der normgerechten Prüfparameter zum Schluss führen, dass diese Parameter eine Aussagekraft der Prüfung verunmöglichen. Die von der Norm EN 13108-20 [12] vorgeschriebene Prüfung vermag die Unterschiede der Mischgutqualitäten nicht abzubilden. Als erste Reaktion darauf werden Änderungen der genormten Prüfparameter eingeführt, und zwar eine Erhöhung der Prüftemperatur und gleichzeitig eine Reduktion des Seitendruckes. Letztlich wird der Einfluss der Lastpausen noch einmal überprüft.

6.6 Prüftemperatur und Seitendruck

In Abweichung zur Norm wurde das Mischgut AC T 16 S bei 50°C und 60°C, sowie mit einer Axialspannung von 300 kPa und ohne Seitendruck geprüft. Die drei Temperatur-Spannungs-Kombinationen sind in Tab. 23 und Abb. 24 dargestellt.

Tab. 23 gewählte Prüfparameter in Abweichung der EN 13108-20

Kombination	σ_v [kPa]	σ_c [kPa]	Prüftemperatur [°C]
Nach EN 13108-20 [12]	200	50	40
Variante 1	300	50	50
Variante 2	300	0	60

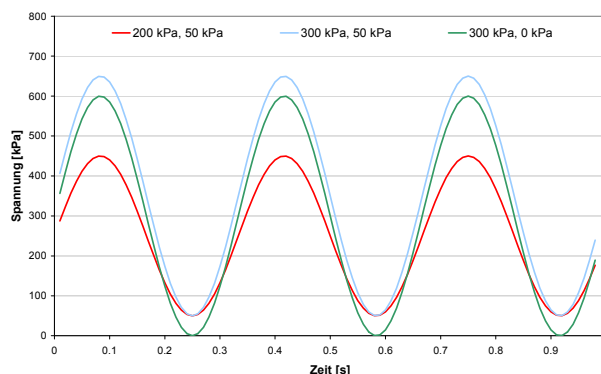


Abb. 24 Gesamtaxialdruck in Abhängigkeit der Zeit; rote Linie gemäss Norm, blaue und grüne Linien gemäss Tab. 22 Frequenz 3 Hz.

Die Kriechrate wird im linearen Abschnitt zwischen den Zyklen 3000 und 10000 der

Kriechkurve ermittelt. Eine Ausnahme bildet die Prüfung ohne Seitendruck bei 60°C: hier wurde die Kriechrate zwischen 7000 und 10000 ermittelt (unterhalb 7000 ist die Kurve nicht linear). Die gemessenen Kriechraten sind in Abb. 25 dargestellt. Sie liegen zwischen 0.1 und 1.4 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$, und decken damit den Bereich der Anforderungen von $f_{cmax\ 0,2}$ bis $f_{cmax\ 1,4}$ ab.

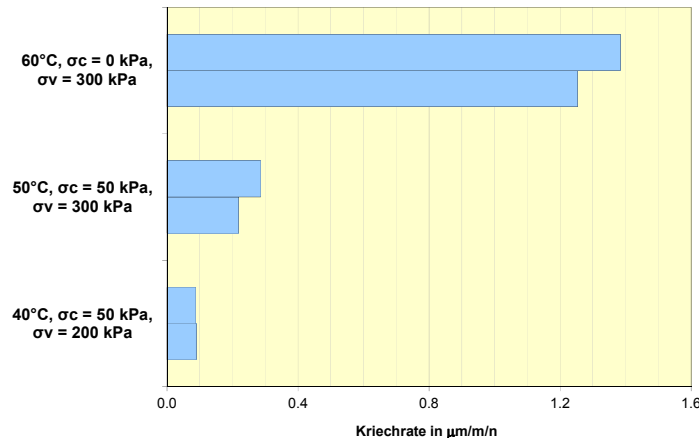


Abb. 25 Kriechrate in Abhängigkeit der Temperatur, der Axialspannung und des Seitendruckes; Prüfkörper aus AC T 16 S mit Bitumen 50/70.

Das Säulendiagramm (Abb. 25) zeigt die Einflüsse von Temperatur, Axialspannung und Seitendruck auf die Kriechrate. Eine Zunahme der Temperatur von 40°C auf 50°C und der Axialspannung von 200 kPa auf 300 kPa bewirkt eine Zunahme der Kriechrate um 180%. Wird die Temperatur um weitere 10°C erhöht und zugleich ohne Seitendruck geprüft, so stellt man eine noch grössere Zunahme der Kriechrate um 416% fest. Zwar ist das mechanische Verhalten von Asphalt sehr temperaturabhängig doch, geht aus dem Diagramm hervor, dass die Verformung im Kriechversuch vor allem durch den Seitendruck beeinflusst wird. Der grösste Teil der 1.4 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ Kriechrate ist wahrscheinlich auf den fehlenden Seitendruck zurückzuführen.

Zwei weitere Beispiele sind in der Abb. 26 und Abb. 27 dargestellt. Es wurde das Verhalten der Mischgutsorten AC 11 S und AC 11 N untersucht. Die Kriechrate des AC 11 S lag zwischen 0.065 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ und 0.453 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$, so dass die strengste Prüfkombination die Anforderung $f_{cmax\ 0,2}$ und die mildeste die Anforderung $f_{cmax\ 0,6}$ erfüllen. Der Verzicht auf den Seitendruck verursacht eine Verdoppelung der Kriechrate. Der Effekt des Seitendruckes kommt in diesem Beispiel möglicherweise nicht so stark zur Geltung wie in Abb. 25, weil das Mischgut mit einem polymermodifizierten Bindemittel hergestellt wurde.

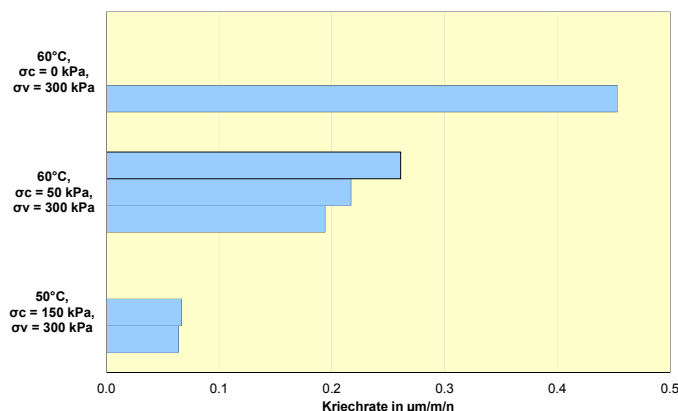


Abb. 26 Kriechrate in Abhängigkeit der Temperatur und des Seitendruckes; Prüfkörper aus AC 11 S mit PmB C 45/80-50; Axialspannung 300 kPa.

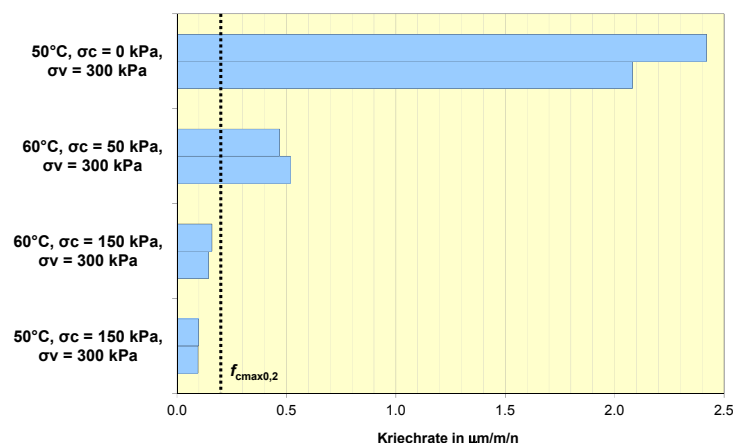


Abb. 27 Kriechrate in Abhängigkeit der Temperatur und des Seitendruckes; Prüfkörper aus AC 11 N mit Bitumen 70/100; Axialspannung ist 300 kPa.

Das weichere Mischgut AC 11 N zeigt eine deutlich höhere Neigung zum Kriechen. Mit steigendem Seitendruck werden die Unterschiede zwischen AC 11 N und AC 11 S kleiner (Abb. 27). Offensichtlich werden die Qualitätsunterschiede der beiden Mischgüter umso klarer erfasst, je tiefer der Seitendruck ist. Deutliche Differenzierung zwischen verschiedenen Eigenschaften ist ein Qualitätsmerkmal für die Beurteilung eines Prüfverfahrens.

Tab. 24 Vergleich der Kriechraten zweier unterschiedlicher AC 11 in Abhängigkeit des Seitendruckes und der Prüftemperatur

Seitendruck [kPa]	Temperatur [°C]	Kriechrate [µm/m/n]		Verhältnis AC 11 N / AC 11 S
		AC 11 N B 70/100	AC 11 S PmB C 65/80-50	
150	50	0.10	0.07	1.4
50	60	0.50	0.22	2.3
0	50	2.25	0.45	5.0

Zusammenfassend wird in der Abb. 28 der grosse Effekt eines geringen Seitendruckes auf die in diesem Abschnitt genannten Mischgutsorten dargestellt. Der steile Abfall der Kriechrate zwischen 0 kPa und 50 kPa gefolgt von einer geringfügigen Abnahme zwischen 50 kPa und 150 kPa erklärt die empirische Wahl eines optimalen Seitendruckes von 50 kPa. Bei höheren Seitendrücken lässt sich der Prüfkörper kaum mehr deformieren. Kleinere Seitendrücke haben insbesondere bei offenporigen Mischgutsorten zu viele Nachteile (siehe Erfahrungen mit dem einaxialen Druckschwellversuch).

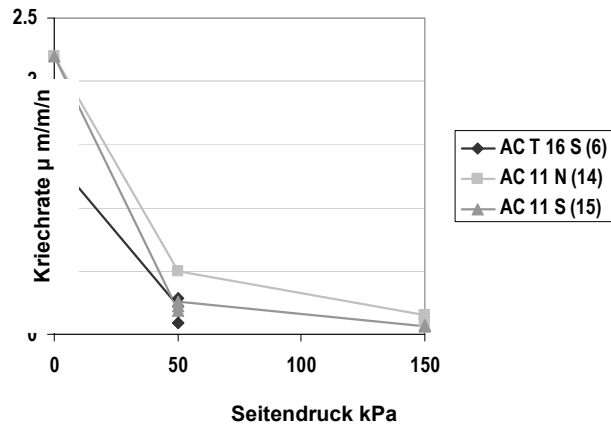


Abb. 28 Kriechrate in Abhängigkeit des Seitendruckes (unterschiedliche Temperaturen und Axialspannungen werden nicht gekennzeichnet).

Die allgemeine Form der Kurve aus Abb. 28 wurde schon 2005 von Renken et al. [REN05] publiziert. Die Autoren haben die axiale Verformung in Abhängigkeit des Stützdruckes dargestellt (Abb. 29). Der Stützdruck wurde von 30 kPa auf 380 kPa erhöht. Interessanterweise lässt sich die Kurve in drei Bereiche unterteilen. Nach den zwei ersten genannten Bereiche bewirken sehr hohe Stützdrucke einen zweiten Abfall bis jegliche Verformung des Prüfkörpers unmöglich wird.

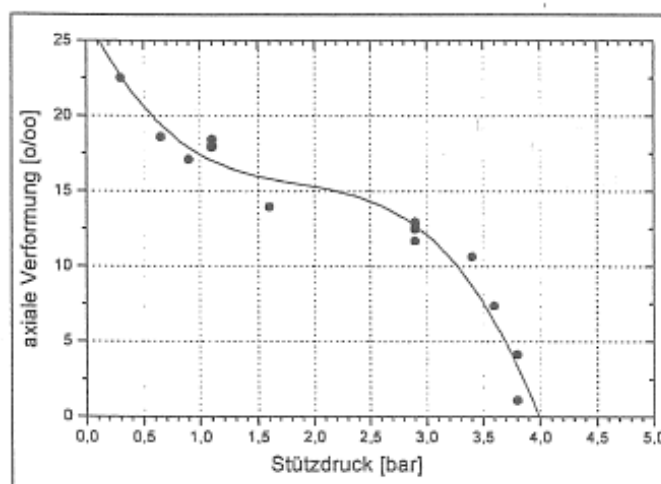


Abb. 29 Axiale Verformung nach 150000 Lastwechseln in Abhängigkeit vom Stützdruck für den Asphaltbeton 0/11 mit eingezeichneter Trendlinie (aus [REN 05])

6.7 Versuche mit optimierten Prüfbedingungen

Die in Abschnitt 6.6 vorgestellten Prüfbedingungen liefern plausible, nachvollziehbare Prüfergebnisse. Für die Anwendung in der Praxis sind daher die von der EN abweichenden, neuen Prüfparameter besser geeignet. Auf den Unterschied der Prüfparameter zwischen Deck-, Binder- und Tragschicht wird verzichtet. Die neuen, normabweichenden Prüfbedingungen sind aus Tab. 25 zu entnehmen. Im Vergleich zu den Prüfbedingungen gemäss EN 13108-20 [12], Anhang D.7, bleiben Lagerungstemperatur und Frequenz unverändert; die Prüftemperatur wird einheitlich auf 50°C festgelegt, der Seitendruck auf 50 kPa und die Amplitude der Axialspannung auf 300 kPa. Mit diesen Änderungen wird die Aussagekraft des Prüfverfahrens deutlich verbessert.

Tab. 25 Optimierte Prüfbedingungen

Schicht	Lagerungs- temperatur [°C]	Prüf- temperatur [°C]	σ_c [kPa]	σ_v [kPa]	Frequenz [Hz]
Deck- und Tragschicht	15	50	50	300	3

Die optimierten Prüfbedingungen wurden an zwei Prüfreiheiten durchgeführt. Es wurde in der ersten Prüferserie das Beschichtungssystem "Silikonfett" und in der zweiten Reihe eine Teflonfolie als Zwischenschicht verwendet. Die Abb. 30 zeigt die erste Prüferserie. Am Beispiel eines AC EME 22, wird der Einfluss dieser neuen Parameter klar erkannt: wird gemäss Norm geprüft, beträgt die Kriechrate 0.10 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ (Abb. 14); neu 0.32 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$. Auch ungleiche AC 11 Mischungen konnten mit dem normierten Seitendruck von 150 kPa die strengste Anforderung von 0.2 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ nicht überschreiten (Abb. 17, Abschnitt 6.3). Mit Seitendruck 50 kPa hingegen lassen sich neu AC 11 S 70/100 und AC 11 LA-VOC 160/200 mit 0.41 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ bzw. 0.65 $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$ deutlich voneinander unterscheiden. Die beiden Asphaltmischungen ACMR 8 und AC B 16 S mit Polymerbitumen zeigen unter diesen neuen Prüfbedingungen erwartungsgemäss eine vergleichsweise tiefe Kriechrate.

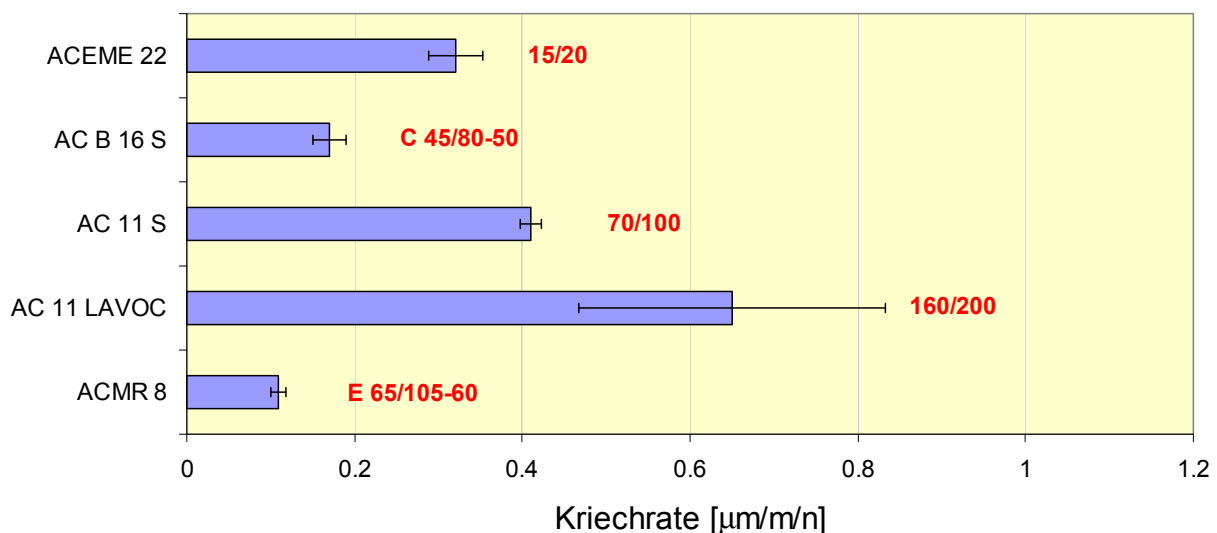


Abb. 30 Kriechrate in Abhängigkeit der Mischgutsorte, Mittelwert von jeweils drei Prüfungen; Prüfparameter: Axialspannung 300 kPa, Seitendruck 50 kPa und Temperatur 50 °C.

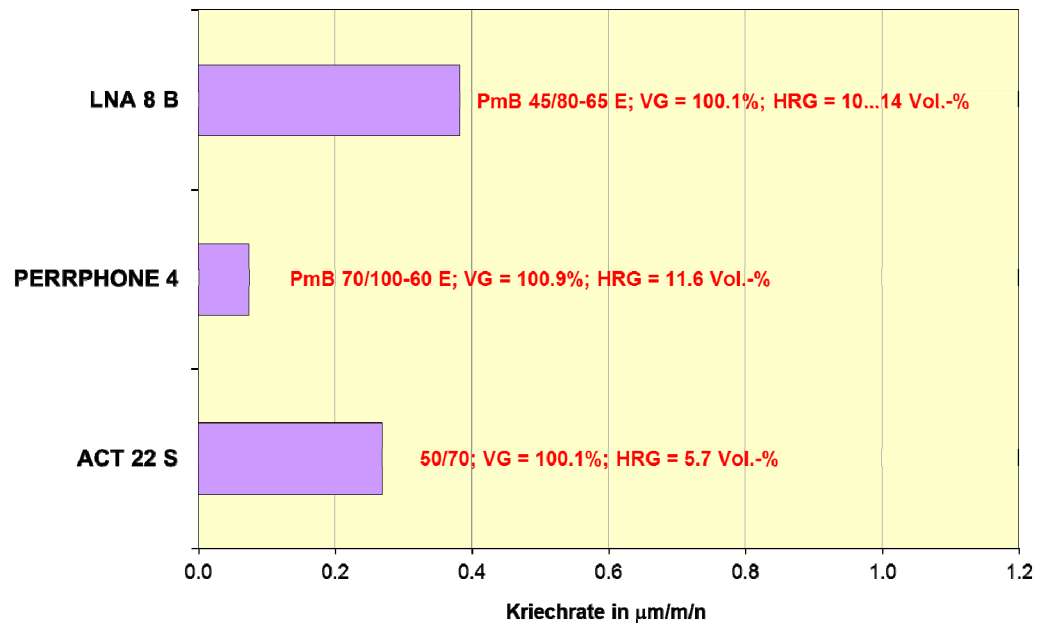


Abb. 31 Kriechrate in Abhängigkeit der Mischgutsorte, Einzelprüfungen; Prüfparameter: Axialspannung 300 kPa, Seitendruck 50 kPa und Temperatur 50 °C.

Die Ergebnisse folgen hinsichtlich der Mischguteigenschaften einer nachvollziehbaren Logik. Die Aussagekraft der Prüfung hat sich mit den neu definierten Prüfparametern um einiges verbessert. Die unterschiedlichen Bitumensorten kommen zur Geltung, sowie Abweichungen der Verdichtung und des Hohlraumgehaltes.

6.8 Lastpause

Nebst einer Prüffrequenz von 3.0 Hz ohne Lastpause wurde mit demselben Mischgut die Wirkung einer Lastpause stichprobenweise untersucht. Der Zyklus dauert 1.7 s und ist aufgeteilt in 0.2 s Last und 1.5 s Pause, so dass sich eine Frequenz von 0.6 Hz ergibt. Aus Abb. 32 ist ersichtlich, dass sich je nach Mischgut die Lastpause hemmend oder begünstigend auf das Kriechen auswirkt.

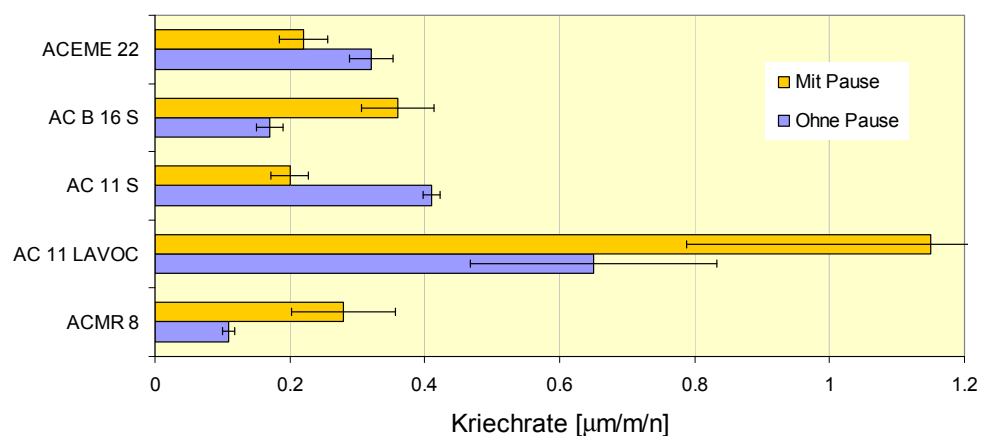


Abb. 32 Kriechrate mit und ohne Lastpause in Abhängigkeit der Mischgutsorte, Mittelwert von jeweils drei Prüfungen; Prüfparameter: Axialspannung 300 kPa, Seitendruck 50 kPa und Temperatur 50°C.

6.9 Präzision und des Prüfverfahrens

Es liegen mehrere Prüfergebnisse vor, welche mit den Prüfparametern gemäss EN 13108-20 [12] ermittelt wurden; diese sind für die Bestimmung der Präzisionsdaten mit den neuen Parametern nicht geeignet. Andererseits können aber diese früheren Prüfergebnisse einen Hinweis auf die zu erwartende Grössenordnung liefern. Aus den durchgeführten Mehrfachbestimmungen (Prüfparameter gem. EN 13108-20 [12]) der Kriechrate bei einem AC EME 22 C2 und bei zwei AC 8 (Tab. 23 und Tab. 24) kann die Präzision des Prüfverfahrens wie folgt abgeschätzt werden.

- Die Standardabweichung σ beträgt ca. 13 %
- Die Wiederholgrenze wird bei einem Vertrauensintervall von 95% wie folgt berechnet:

$$r = 2,8 \times \sigma$$

Tab. 26 Statistische Auswertung der Kriechrate von AC EME 22 C2.

Prüfparameter: Axialspannung 200 kPa, Seitendruck 50 kPa und Temperatur 40 °C.

Gyrator-Prüfkörper mit Durchmesser 100 mm und Höhe 80 mm.

Anzahl der Messwerte n	4	
Arithmetisches Mittel x	0.112 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	
Standardabweichung s	0.014 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (13 %)	
Wiederholgrenze r	0.040 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (36 %)	

Tab. 27 Statistische Auswertung der Kriechrate von AC 8 N und AC 8 S ; Präzisionswerte in $\mu\text{m}/\text{m}/\text{Zyklus}$. Prüfparameter: Axialspannung 300 kPa, Seitendruck 150 kPa und Temperatur 50 °C. Gyrator-Prüfkörper mit Durchmesser 100 mm und Höhe 60 mm.

Mischgutsorte	AC 8 N	AC 8 S
Anzahl der Messwerte n	6	6
Arithmetisches Mittel x	0.114 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	0.132 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]
Standardabweichung s	0.015 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (13 %)	0.013 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (10 %)
Wiederholgrenze r	0.041 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (36 %)	0.036 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (27 %)

Zwei Versuchsreihen wurden nachträglich noch mit den neuen Parametern durchgeführt. Tab. 28 zeigt am Beispiel eines AC 8 S und eines AC 16 N, dass in diesem Fall

- Die Standardabweichung ca. 15 % beträgt,
- Die Wiederholgrenze ca. 44 % beträgt.

Tab. 28 Statistische Auswertung der Kriechrate von AC 8 S und AC 16 N ; Präzisionswerte in $\mu\text{m}/\text{m}/\text{Zyklus}$. Die Prüfparameter sind Axialspannung 300 kPa, Seitendruck 50 kPa, Temperatur 50 °C und Minimierung der Reibung mit Teflonfolien. Die Gyrator-Prüfkörper haben Durchmesser 100 mm und Höhe 60 mm.

Mischgutsorte	AC 8 S	AC 16 N
Anzahl der Messwerte n	6	6
Arithmetisches Mittel x	0.97 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	0.41 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]
Standardabweichung s	0.16 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (16 %)	0.06 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (14 %)
Wiederholgrenze r	0.44 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (46 %)	0.17 [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$] bzw. (41 %)

Die Berechnung der Kriechrate erfolgt zwischen zwei festzulegenden Punkten der Kriechrate. Um beurteilen zu können ob das Auswertungsintervall die Präzisionsdaten beeinflusst wurden in der Tab. 29 verschiedene Auswertungen gegenübergestellt.

Bei der ersten Auswertung „3000/10000 ohne Vertrauensintervall“ wird die Kriechrate zwischen den beiden Kriechwerten bei 3000 und 10 000 Zyklen berechnet. Bei der zweiten Auswertung „3000/10000 $\pm 2\%$ “ wurde die Kriechrate als Regressionsgerade mit einem Vertrauensintervall von $\pm 2\%$ berechnet. Dies bedeutet dass die Berechnung zu verwerfen ist, falls sich keine Gerade an die Messwerte legen lässt, von welcher kein Messpunkt um mehr als $\pm 2\%$ abweicht. Wie in Abb. 8 dargestellt liegt die gemessene Kriechkurve in den meisten Fällen bei 3000 Zyklen ausserhalb des Vertrauensbereiches von $\pm 2\%$. Im Intervall 3500/10000 hingegen wird das Vertrauensintervall in der Regel eingehalten. Dieses Vorgehen entspricht der zweiten Auswertung in Tab. 29. Als dritte Variante der Auswertung wurde die Kriechrate zwischen den Kriechdehnungen bei 6000 und 10000 mit einem Vertrauensintervall von $\pm 1\%$ berechnet.

Tab. 29 Statistische Auswertung der Kriechrate von AC 8 S und AC 16 N ; 6 Messwerte pro Serie; unterschiedliche Auswertungsbedingungen.

Auswertungsbedingung	Mischgutsorte	AC 8 S	AC 16 N
3000/10000 ohne Vertrauensintervall	Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	0.97	0.41
	Standardabweichung [%]	16	14
	Wiederholgrenze [%]	46	41
3500/10000 $\pm 2\%$	Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	0.94	0.40
	Standardabweichung [%]	16	15
	Wiederholgrenze [%]	44	42
6000/10000 $\pm 1\%$	Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]	0.82	0.34
	Standardabweichung [%]	17	16
	Wiederholgrenze [%]	47	41

Leider konnte mit einer Änderung des Auswertungsintervalls die Präzision der Prüfmethode nicht verbessert werden. Die Standardabweichung und die Wiederholgrenze des triaxialen Druckschwell-Versuches liegen grundsätzlich bei 15% bzw. 40 %.

Hingegen muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Auswertungsintervall einen deutlichen Einfluss auf die Kriechrate hat. Je geringer das Intervall desto kleiner ist die Steigung der Kriechkurve. Für die Praxis ergibt sich daraus die Notwendigkeit das Auswertungsintervall in der Norm genau festzulegen. Der Einfachheit halber könnte der Bereich 4000/10000 Zyklen ohne Vertrauensintervall als Grundsatz in den Nationalen Anhang eingeführt werden.

6.10 Fehlerquellen

Die Messgrösse, die vertikale Längenänderung des Prüfkörpers, wird durch fünf Unsicherheitsquellen beeinflusst.

- Apparatur bestehend aus Wegaufnehmer, Druck in der Zelle, Kraft
- Temperatur des Prüfkörpers und Temperatur in der Zelle
- Reibung zwischen Stahlplatte und Stirnfläche des Prüfkörpers
- Verdichtungsenergie, Homogenität der Prüfkörperserie
- Auswertungsintervall zur Berechnung der Kriechrate

Die drei ersten Unsicherheitsquellen bestimmen die systematische Messabweichung (Bias) der Messapparatur. Sie sind hauptsächlich von der Genauigkeit der Messinstrumente, der Robustheit der Prüfeinrichtung deren Wartung und Kalibrierung abhängig. Die vierte Unsicherheitsquelle ist unabhängig von der Messapparatur. Infolge der Inhomogenität des Mischgutes kann es vorkommen, dass die verdichteten Prüfkörper einer und derselben Serie unterschiedliche Anteile an grobe Gesteinskörner oder Mastix aufweisen. Solche kleine Veränderungen der Mischgutzusammensetzung können relativ stark auf die Verformungsbeständigkeit einwirken.

Die verschiedenen Fehlerquellen sind mit einer qualitativen Beurteilung in Abb. 33 dargestellt.

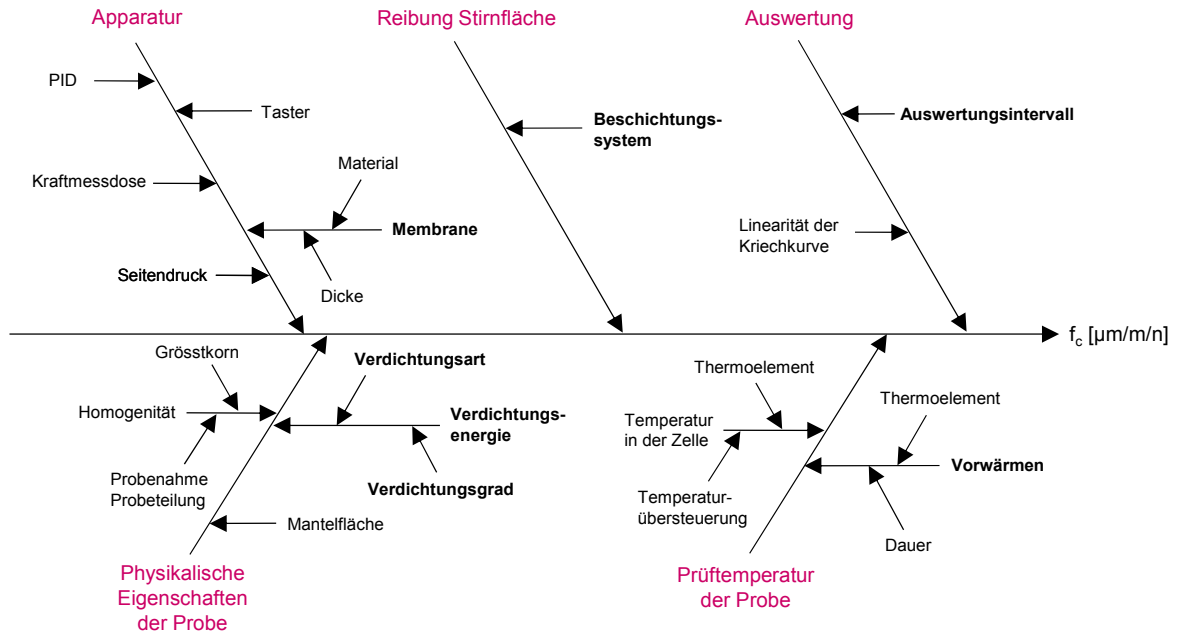


Abb. 33 Einflussgrößen auf die Kriechrate; die wichtigsten Unsicherheitsquellen sind fett gekennzeichnet.

7 Anforderungen

7.1 Vergleiche Spurrinntentest / Triaxversuch

In einer deutschen Forschungsarbeit [28] wurde ein Zusammenhang zwischen der Spurrinntentiefe in situ und der Kriechrate nachgewiesen. Es wurde eine Korrelation festgestellt, welche mit einer Logarithmusfunktion beschrieben werden kann. Das mit 91 % berechnete Bestimmtheitsmass dieser Korrelation lässt den Schluss zu, dass ein tendenzieller Zusammenhang angenommen werden kann.

An einer Auswahl von 5 verschiedenen Asphaltarten wurden die Ergebnisse des Spurrinntentestes gemäss EN 12697-22 [4] mit denjenigen des Triax-Versuches gegenübergestellt. Dabei wurden die „neuen“ Prüfparameter angewendet (Axialspannung 300 kPa, Seitendruck 50 kPa, Temperatur 50 °C und Minimierung der Reibung mittels Teflonfolien). Die Ergebnisse sind in der Tab. 30 zusammengefasst.

Tab. 30 Prozentuale Spurrinntentiefe nach 30000 Zyklen versus Triax-Kriechrate.

IMP-Nummer	Mischgut	Hohlraumgehalt [%]	Spurrinntentiefe [%]	Kriechrate [$\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$]
12-01165	ACT 22 S	5.7	2.0	0.27
12-05484	AC 16 N	3.9	3.0	0.41
12-04480	AC 8 S	3.4	8.0	0.97
12-01602	LNA 8 B	10...14	6.3	0.38
12-01529	PERRPHONE 4	11.6	4.1	0.07

Die Auswahl besteht aus fünf Mischungen welche die Anforderung an die Spurrinnenbildung gem. SN 640 431-1b-NA [14] erfüllen. Zwei der Mischungen zeichnen sich durch eine Ausfallkörnung aus und sind hohlraumreich (LNA 8 B und PERRPHONE 4). Die anderen drei sind normierte Asphalt-Beton-Sorten AC. Die Relation Kriechrate/Spurrinne ist in Abb. 34 graphisch dargestellt. Auffallend ist der Unterschied infolge des Hohlraumgehaltes. Die dichten AC Mischungen zeigen eine annähernd lineare Korrelation zwischen Spurrinntentiefe und Kriechrate und die extrapolierte Trendgerade führt durch den Nullpunkt. Die offenporigen Mischungen zeigen eine andere Trendlinie; sie verformen sich im Spurrinntentest deutlich mehr als im triaxialen Druckschwellversuch.

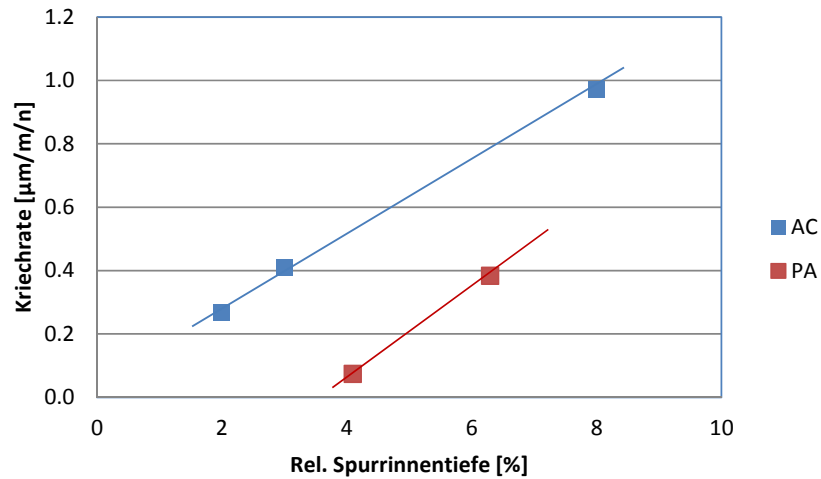


Abb. 34 Gegenüberstellung Kriechrate/Spurrinnentiefe; dichte AC in blau, poröse PA in rot.

Die dargestellte Relation von Spurrinnentiefe und Druckschwellversuch ist zwar mit nur wenigen Daten zustande gekommen, sie gibt jedoch einen Rahmen für die Festlegung von provisorischen Anforderungen. Gestützt auf die in SN 640 431-1b-NA [14] festgelegten Anforderungen an die prozentuale Spurrinnentiefe können Anforderungskategorien für Kriechrate abgeleitet werden (siehe Tab. 32).

7.2 Vergleich einaxialer/triaxialer Druckschwellversuch

Im Rahmen einer anderen Forschungsarbeit zum Thema Niedertemperatur-Asphalt wurden drei Niedertemperaturasphalten und ein Referenzmischgut auf ihre Beständigkeit gegen bleibende Verformung untersucht. Zwei Prüfmethoden wurden dafür angewendet: zum einen der einaxiale Druckschwellversuch nach TP A-StB [16] und zum anderen der triaxiale Druckschwellversuch nach EN 12697-25 [5] mit den optimierten Prüfbedingungen. Beide Prüftemperaturen liegen bei 50 °C. Aber die Axiallast ist unterschiedlich hoch, 2750 N bzw. 4710 N, sowie der Seitendruck, 0 kPa bzw. 50 kPa. Alle Prüfkörper waren Marshall Prüfkörper.

Die drei untersuchten Niedertemperaturasphalte sind Produkte welche mit unterschiedlichen Verfahren hergestellt wurden: durch Zugabe von Tensiden oder Zeolith, oder durch das Schäumen von Bitumen. Die Referenz ist ein AC B 16 S mit einem Bitumen 50/70.

Es gibt zwar in der Schweiz keine normierten Anforderungen an den einaxialen Druckschwellversuch aber es wurden Empfehlungen [ANG06] publiziert. Diesen zufolge sollte eine Binderschicht aus AC B 16 S eine Dehnungsrate im Wendepunkt von nicht mehr als 35 %/10⁴ Zyklen aufweisen.

Tab. 31 Dehnungsrate im Wendepunkt versus Triax-Kriechrate

Niedertemperatur-Verfahren	REF	TENSID	ZEOLITH	SCHAUM
Dehnungsrate im Wendepunkt [%/10 ⁴ n]	19	22	29	71
Kriechrate [µm/m/n]	0.10	0.44	0.61	0.74

(siehe auch IMP-Handbuch [IMP12])

Aus diesem Vergleich kann angenommen werden, dass aufgrund der ungenügenden Beständigkeit gegen bleibende Verformung der AC B 16 mit Schaumbitumen, eine Kriechrate im Triaxversuch von 0.74 µm/m/n bedenklich ist.

7.3 Vorschläge

7.3.1 Definition des linearen Teils der Kriechkurve

Eine genaue Definition der Kriechrate ist in der EN noch nicht erfolgt. Es geht vorwiegend darum, den Bereich der Kriechkurve festzulegen in dem die Kriechrate berechnet wird. In der EN 12697-25:2005 [5] steht: «Die Kriechrate f_c ist im (quasi-) linearen Teil der Kriechkurve zu bestimmen.». Die darauffolgenden Anmerkung präzisiert: «Dieses Verfahren ist einfach, hat jedoch den Nachteil, dass es nur eine mangelhafte Darstellung der Verformungskurve liefert. Außerdem hängt der Anstieg f_c stark vom Intervall ab, das für die Anpassung der Kurve gewählt wurde, da die Kriechkurve üblicherweise keinen Teil mit einem wirklich konstanten Anstieg aufweist.».

Der Einfachheit halber und um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, schlagen wir folgende Definition vor: Die Kriechrate ist die Steigung der Geraden die aus der linearen Regression der Messwerte zwischen den Zyklen 4000 und 10000 entsteht.

7.3.2 Qualitätsbeurteilung nach Anforderungskategorien

Die Prüfanordnung einer Teflonscheibe als Beschichtung, mit einer Axiallast von 300 kPa, einem Seitendruck von 50 kPa und mit einer Prüftemperatur von 50°C führt zu zweckmäßigen Ergebnissen. Die unterschiedlichen Mischgutkonzepte kommen zum Ausdruck; sowohl die Dehnung wie die Kriechrate verändern sich aufgrund der Mischgutsorte, der Bindemittelsorte oder des Verdichtungsgrades. Aus den zahlreichen Prüfergebnisse mit sehr unterschiedlichen Asphaltbetone und aus den Vergleichen mit dem Spurrinnentest können wir eine mehrstufige Beurteilung vorschlagen. Diese besteht aus drei qualitativen Bewertungen der Beständigkeit gegen bleibende Verformung und ist in neun Asphaltarten unterteilt. Die Tab. 32 zeigt die Bewertungsmatrix.

Tab. 32 Provisorischer Vorschlag für eine Qualitätsbeurteilung nach Anforderungskategorien aus EN 13108-1; f_{cmax} in $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$.

Mischgutsorte	sehr gut	gut	kritisch	Spurrinnentest	
				10'000 Zyklen	30'000 Zyklen
AC EME C1	$f_{cmax} \leq 0.2$	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} > 0.4$		$\leq 5 \%$
AC EME C2	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} \leq 0.6$		$\leq 7 \frac{1}{2} \%$
AC B / AC T H	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} > 0.6$		$\leq 7 \frac{1}{2} \%$
AC B / AC T S	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} \leq 0.8$	$f_{cmax} > 0.8$	$\leq 10 \%$	
AC H	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} > 0.6$		$\leq 10 \%$
AC S	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} \leq 0.8$	$f_{cmax} > 0.8$	$\leq 10 \%$	
ACMR	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} > 0.6$		$\leq 7 \frac{1}{2} \%$
SMA	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} > 0.6$		$\leq 10\%$
PA	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} > 0.6$		-

Bemerkungen zum Vergleich der empfohlenen, provisorischen Anforderungen an den triaxialen Druckschwellversuch mit den geltenden Anforderungen an den Spurrinnentest:

- Die unterschiedlichen Anforderungen (Spurrinnentest an AC MR und SMA entsprechen nicht den Erfahrungen der Praxis. Daher werden für den Triaxversuch die gleichen Anforderungen für beide Mischgutgruppen empfohlen.
- Beim Spurrinnentest gelten unterschiedliche Anforderungen für AC H ($\leq 10 \%$) und für AC B / ACT H ($\leq 7.5 \%$). Die empfohlenen Anforderungen an den Triaxversuch gelten provisorisch, da die Datenbasis zu deren Festlegung relativ schmal war. Es werden für alle Mischgutttypen gleiche Anforderungen vorgeschlagen.

7.3.3 Anforderung an den Verdichtungsgrad

Bei der Prüfkörperherstellung ist auf den Verdichtungsgrad zu achten. Dieser sollte möglichst tief liegen um der Einbaurealität gerecht zu sein und die Aussagekraft der Prüfung nicht zu beeinträchtigen. Dieser sollte zudem relativ eng eingestuft werden damit die Kriechrate innerhalb einer Prüfserie oder im Vergleich unter mehreren Prüfstellen eine sinnvolle Wiederholbarkeit oder Reproduzierbarkeit aufweist. Vorschläge sind in Tab. 32 beziffert.

Tab. 33 Provisorischer Vorschlag für eine Eingrenzung des Verdichtungsgrades.

Mischgutsorte	Minimaler Verdichtungsgrad [%]	Maximaler Verdichtungsgrad [%]
AC EME 22	99.5	100.5
AC B 22 S/H, AC T 22 S/H, AC T 32 S/H	99.0	100.0
Alle Anderen	98.0	99.0

8 Folgerungen

8.1 Folgerungen für die EN

EN 12697-25

Die EN 12697-25:2005 [5] befindet sich seit 2012 in Bearbeitung. Die zuständige CEN TC 227 WG1 TG2 hat bereits mehrere Änderungen genehmigt. Sehr wichtig für unsere Arbeit sind Änderungen im Teil B zum Thema Minimierung der Reibung (Ziffer 5.4.6) und zur Definition des linearen Abschnittes der Kriechkurve (Ziffer 5.6.2.1).

Unter Ziffer 5.4.6 bevorzugt die Norm ein Membran-Schmiermittel-Membran-System um die Reibung zwischen den Lastplatten und den Probekörper zu minimieren. Als Membrane wird eine Scheibe aus Kautschuk oder Gummi vorgeschlagen. Im Kapitel 6.4 haben wir aber zeigen können, dass ein solches System wegen der Verformung der Gummischeiben die Kriechrate massiv verfälscht. Ca. 70 % der gemessenen Deformation sind auf das Gummi zurückzuführen, ca. 30 % entsprechen der Verformung des Prüfkörpers. Unser Vorschlag anstelle der Gummi-Membranen eine Teflonscheibe zu verwenden wurde von der Kommission CEN TC 227 WG1 TG2 angenommen.

Die Kriechrate hängt stark vom ausgewählten quasi linearen Bereich der Kurve ab, welcher der Berechnung zugrunde liegt. Um die Berechnungsmethode festzulegen haben wir uns für eine relativ einfache, empirische Lösung entschieden: die Berechnung der Kriechrate erfolgt durch lineare Regression der Messwerte zwischen den Zyklen 4000 und 10000.

EN 13108-20

Die im Anhang D der EN 13108-20:2006/AC:2008 publizierte Tabelle D.2 enthält Prüfbedingungen für das Triax Verfahren. Im Laufe unserer Arbeit haben wir feststellen müssen, dass diese eine mangelnde Aussagekraft aufweisen und die unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften verschiedener Mischgutsorten zu wenig differenziert. Der Hauptgrund besteht im Seitendruck von 150 kPa, der die Prüfkörper zu stark einschnürt und die vertikale Verformung unterbindet. Im Zuge der Vernehmlassung (enquiry) haben wir entsprechende Vorschläge eingebracht.

EN 13108-1,-5,-7

Die EN 13108-1 [9] (Ziffer 5.4.3) legt Anforderungen an den zulässigen Schwankungsbereich des Verdichtungsgrades fest; dieser ist auf 2% festgelegt. Wenn jedoch innerhalb einer Prüfkörperserie derart grosse Unterschiede im Verdichtungsgrad auftreten (z. B. 98% ... 100%), dann treten grosse Schwankungen in den Prüfergebnissen auf, was die Präzision des Prüfverfahrens negativ beeinflusst. Wir empfehlen diesen Bereich auf 1% zu reduzieren.

8.2 Folgerungen für die SN

Prüfkörperherstellung

Für die Prüfung müssen gemäss EN 12697-25 [5] mindestens zwei Prüfkörper hergestellt werden. Aufgrund der relativ hohen Wiederholgrenze wird empfohlen diese Zahl auf drei zu erhöhen.

Die grosse Abhängigkeit der Kriechrate von der Verdichtungsmethode erfordert, dass zumindest im Nationalen Anhang die Verdichtungsmethode festgelegt wird. Wir empfehlen mit folgender Begründung die Gyrator-Verdichtung als Verdichtungsmethode festzulegen:

- Mit dieser Methode können auch grobkörnige Mischgutsorten (> 16 mm) verdichtet werden.
- Die Gyrator-Verdichtung eignet sich sehr um einen bestimmten Verdichtungsgrad zu erreichen.
- Gegenüber der Schlag-Verdichtung (Marshall) entspricht die Gyrator-Verdichtung eher dem Verdichtungs Vorgang auf der Baustelle.
- Gegenüber der Herstellung von Bauherren aus im Labor verdichteten Platten ist die Gyrator-Verdichtung wesentlich einfacher.

Der Bereich zwischen den oberen und unteren Grenzwert des Verdichtungsgrades muss nach EN 13108-1 [9] 2% betragen. Wir empfehlen diesen Wert auf 1% zu reduzieren, so dass der Ist-Verdichtungsgrad um $\pm 0.5\%$ vom Soll-Verdichtungsgrad abweichen kann.

Prüfbedingungen

Die geltenden Prüfbedingungen aus der EN 13108-20 [12] unterscheiden zwischen Deck- und Tragschichten. Der problematische Punkt liegt in der Wahl des Seitendruckes (150 kPa) für Deckschichten. Mit diesem Seitendruck verliert die Prüfmethode die gewünschte Aussagekraft. Die Schweiz hat im Rahmen des CEN-Enquiry den Vorschlag eingebracht die Norm derart zu ändern, dass folgende Prüfbedingungen möglich sind:

Seitendruck:	50 kPa
Axialdruck:	300 kPa
Prüf-Temperatur für Deck-, Trag- und Binderschichten:	50 °C

Auswertung

Es konnte gezeigt werden, dass das für die Berechnung der Kriechrate gewählte Intervall kaum einen Einfluss auf die Präzisionswerte, aber auf die Kriechrate selbst hat. Wir empfehlen die Kriechrate mit einer linearen Regression zwischen den Deformationen nach 4000 und 10'000 Zyklen zu berechnen.

Richtwerte für die Beständigkeit gegen bleibende Verformung

In Anlehnung an die Anforderungskategorien für die Spurrinnentiefe und auf der Basis des vorliegenden Datenmaterials wurde eine qualitative Bewertungsmatrix erstellt (siehe Tab. 33). Diese beinhaltet die drei Qualitätsstufen *sehr gut*, *gut* und *kritisch* wobei jede durch eine Kategorie f_{cmax} gekennzeichnet ist. Die zur Auswahl stehenden Kategorien muss man der Norm EN 13108-1 [9], Tabelle 24 entnehmen. Die Bewertungsmatrix berücksichtigt mehrere AC Sorten, SMA und PA. Die Richtwerte für SMA sind rein empirisch, da wir für diese Mischgutgruppe keine Prüfergebnisse zur Verfügung haben.

Tab. 34 Richtwerte für die Beständigkeit gegen bleibende Verformung bei triaxialer Druckbeanspruchung; f_{cmax} in $\mu\text{m}/\text{m}/\text{n}$.

Mischgutsorte	sehr gut	gut	kritisch
AC EME C1	$f_{cmax} \leq 0.2$	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.4$
AC EME C2, AC B H, AC T H, AC H, ACMR, SMA	$f_{cmax} \leq 0.4$	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} > 0.6$
AC BS, AC TS, AC S	$f_{cmax} \leq 0.6$	$f_{cmax} \leq 0.8$	$f_{cmax} > 0.8$

Anhänge

I	Mischgutuntersuchungen AC	65
II	Mischgutuntersuchungen AC MR und LNA	101
III	Mischgutuntersuchungen AC EME	106

I Mischgutuntersuchungen AC



IMP-Nummer 11-02248-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung **ACT 16 S**

Seite 1 von 2

Eingang 29.04.2011
Entnahme 29.04.2011

Baustelle ARGE TBT Schöenthal

Belagswerk Boningen AG
Härkingerstrasse 1
CH-4617 Gunzgen

Bauteil
Rezept: 43531311

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BLB Boningen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	3533
Lieferschein	452031	Temperatur/Zeit	171°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	Asphaltgranulat	Dosierung [M.-%]	30

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	4.92			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2476			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2339			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	5.5			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	66.9			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	11.1			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.2			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.1			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	5.0			
Spurrinnentiefe	SN 670 422a-NA	%	1.8			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	1260			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	1220			
Verhältnis ITSR	SN 670 412a-NA	%	96			

Oberbuchsiten, den 25. Mai 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

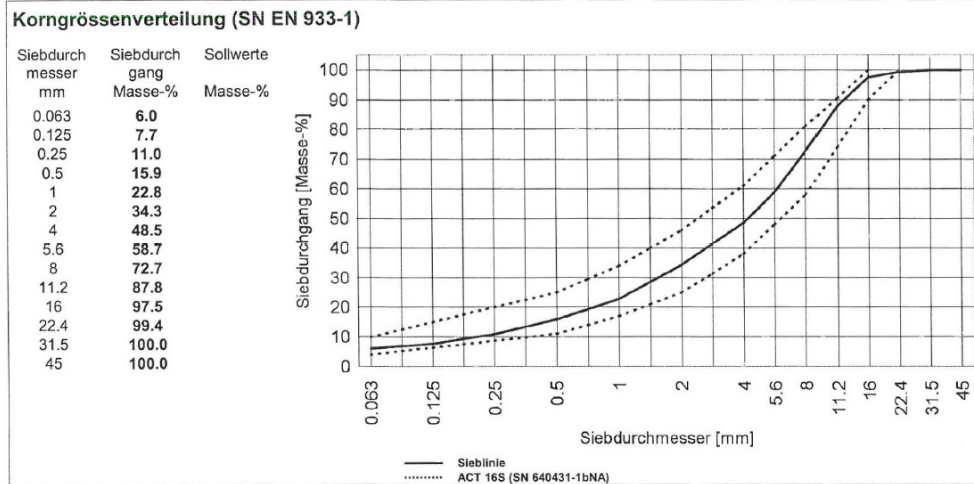


IMP-Nummer 11-02248-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung

ACT 16 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsiten, den 25. Mai 2011

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-04875-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung **ACB 16 S**

Seite 1 von 2

Eingang 13.09.2011
Entnahme 29.08.2011

Belagwerk Boningen AG
Härkingerstrasse 1
CH-4617 Gunzgen

Baustelle Probemischung

Bauteil
Rezept: 42532311

Unternehmung	Belagwerk Boningen	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BLB Boningen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	2534
Lieferschein	455301	Temperatur/Zeit	°C/ . h
Bindemittel	PmB-C 45/80-50	Dosierung [M.-%]	3.6
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.08			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2471			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	155			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2384			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.5			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	77.0			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	19.7			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.7			
Tangentialer Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.5			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	7.2			
Spurrinnentiefe	SN 670 422a-NA	%	5.8			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	32			
EP RuK	SN 670 512	°C	65.1			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	0.9			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	1520			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	1470			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	97			

Oberbuchsiten, den 6. Oktober 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

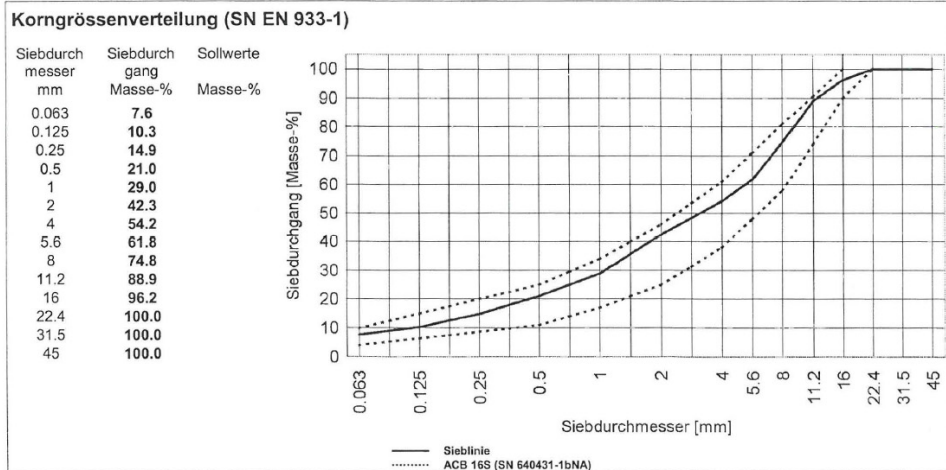


IMP-Nummer 11-04875-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung

ACB 16 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 6. Oktober 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-04769-001
Projekt 211416

Mischgutuntersuchung **ACB 16 S**

Seite 1 von 4

Eingang 09.10.2012
Entnahme

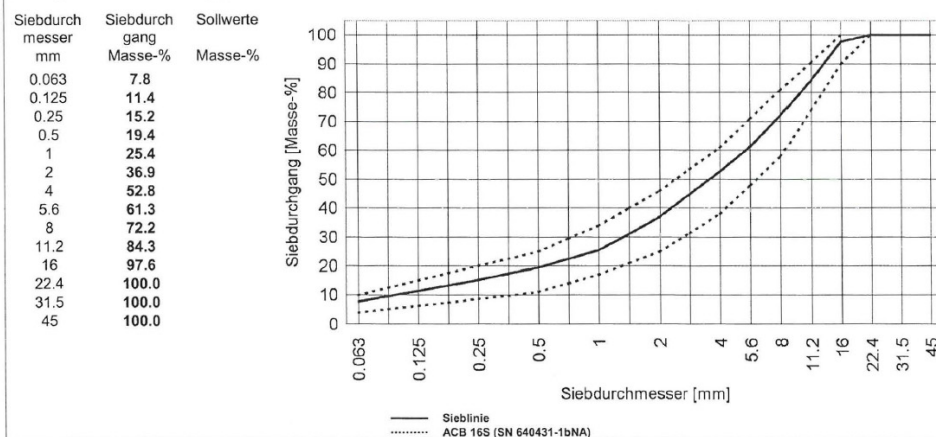
Baustelle VSS 2010/546 PLANET
Qualitätskontrolle
Einzelprojekt EP6
Bauteil FR-REF
Probe Nr. 5-6-48-52-37-28-31-21-2

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Weibel AG Oberwangen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Originalprobe	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Parameter						
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.02			
lösl. Bindemittelanteil	SN 670 401a	Masse-%	4.74			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2500			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	43			
EP RuK	SN 670 512	°C	58.6			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	0.4			

Korngrössenverteilung (SN EN 933-1)



Oberbuchsitzen, den 13. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-04769-002
Projekt 211416

Mischgutuntersuchung

ACB 16 S

Seite 1 von 4

Eingang 09.10.2012
Entnahme

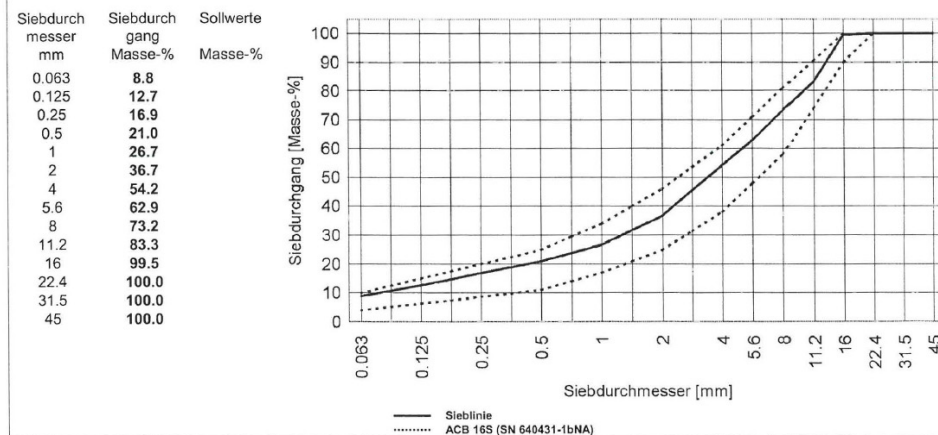
Baustelle VSS 2010/546 PLANET
Qualitätskontrolle
Einzelprojekt EP6
Bauteil FR-PACK Cecabase
Probe Nr. 14-19-38-24-36-46-29-37-44

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Weibel AG Oberwangen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Originalprobe						
Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.02			
lösl. Bindemittelanteil	SN 670 401a	Masse-%	4.89			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m3	2499			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	45			
EP RuK	SN 670 512	°C	52.8			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	-0.7			

Korngrössenverteilung (SN EN 933-1)



Oberbuchsiten, den 13. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-04769-003
Projekt 211416

Mischgutuntersuchung **ACB 16 S**

Seite 1 von 4

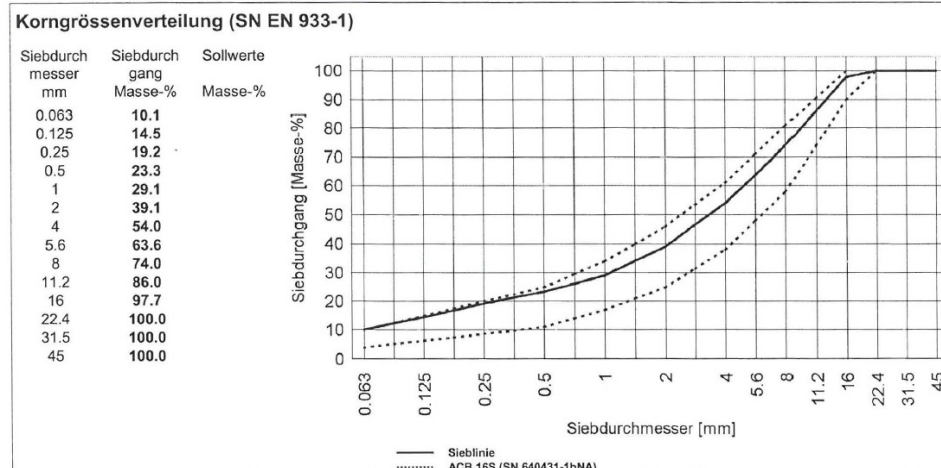
Eingang 09.10.2012
Entnahme

Baustelle VSS 2010/546 PLANET
Qualitätskontrolle
Einzelprojekt EP6
Bauteil FR-ZEO Advera, Probe Nr. 62-53-
111-32-95-59-
65-107-106-102-69-28-66-67-56-24-
68

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Weibel AG Oberwangen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Originalprobe	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Parameter						
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.07			
lösl. Bindemittelanteil	SN 670 401a	Masse-%	5.07			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m3	2494			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	53			
EP RuK	SN 670 512	°C	50.3			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	-1.0			



Oberbuchsiten, den 13. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-04769-004
Projekt 211416

Mischgutuntersuchung

ACB 16 S

Seite 1 von 4

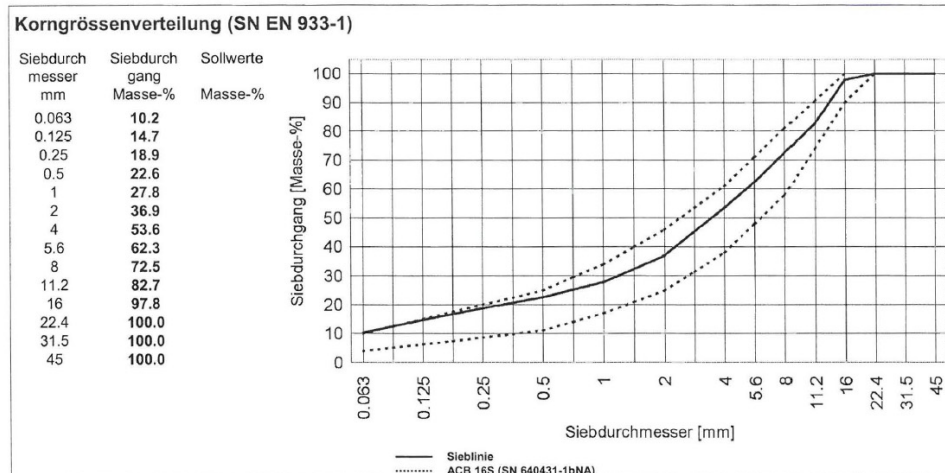
Eingang 09.10.2012
Entnahme

Baustelle VSS 2010/546 PLANET
Qualitätskontrolle
Einzelprojekt EP6
Bauteil FR-WATER, Probe Nr. 42-41-38-37-
61-65
102-97-36-35-16-19-27-29-22-23-66

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Weibel AG Oberwangen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Originalprobe Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Iösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	4.72			
Iösl. Bindemittelanteil	SN 670 401a	Masse-%	4.64			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m3	2513			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	50			
EP RuK	SN 670 512	°C	49.8			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	-1.2			



Oberbuchsiten, den 13. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-04769-005
Projekt 211416

Mischgutuntersuchung **ACB 16 S**

Seite 1 von 3

Eingang 09.10.2012
Entnahme

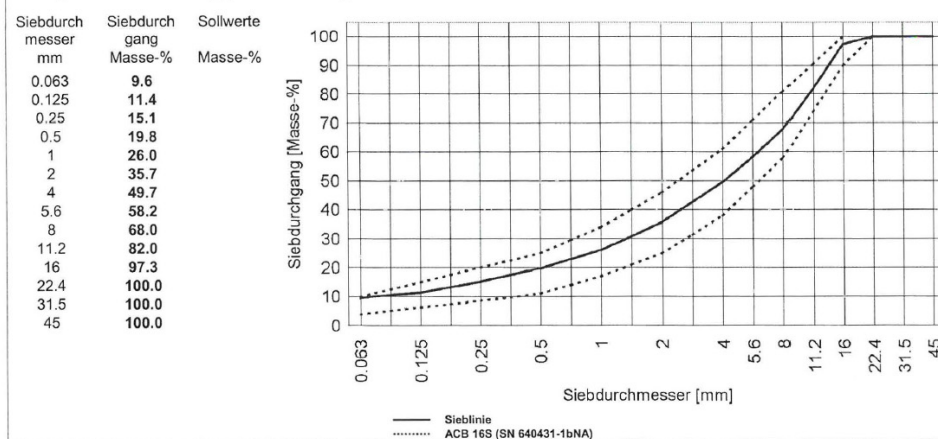
Baustelle VSS 2010/546 PLANET
Qualitätskontrolle
Einzelprojekt EP6
Bauteil WAM, Probe Nr. 18-10-46-47

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Weibel AG Oberwangen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Originalprobe	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Parameter						
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	4.70			
lösl. Bindemittelanteil	SN 670 401a	Masse-%	4.54			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m3	2507			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	45			
EP RuK	SN 670 512	°C	54.4			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	-0.4			

Korngrössenverteilung (SN EN 933-1)



Oberbuchsiten, den 13. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 10-02700-001
Projekt 210324

Mischgutuntersuchung **AC 8 S**

Seite 1 von 2

Eingang 11.06.2010
Entnahme 09.06.2010

Kieswerk Hüs wil AG
Steinberg
CH-6152 Hüs wil

Baustelle Probemischung

Bauteil

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	KW Hüs wil	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	341
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	6.4
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Iösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	6.28			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2444			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2347			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	4.0			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	78.2			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	10.7			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.5			
Tangentiaier Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.5			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	4.3			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	1120			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	1060			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	94			

Oberbuchsiten, den 25. Juni 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

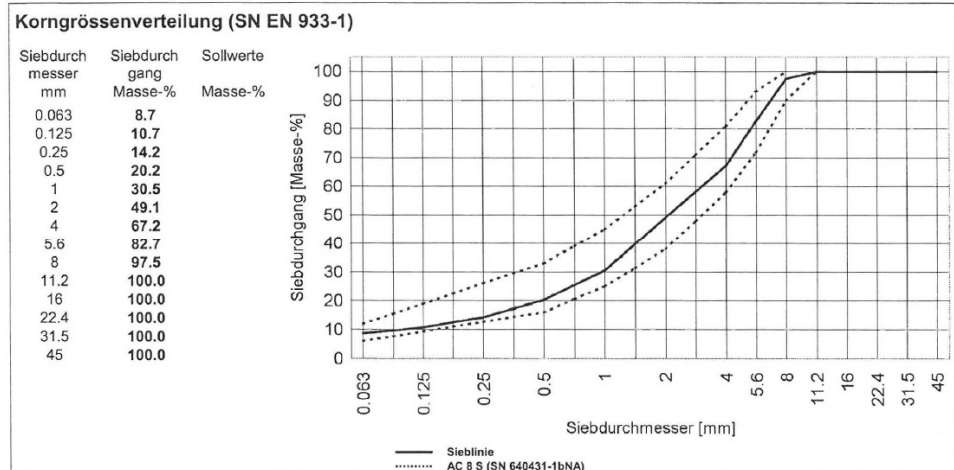


IMP-Nummer 10-02700-001
Projekt 210324

Mischgutuntersuchung

AC 8 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 25. Juni 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-04480-001
Projekt 210022

Mischgutuntersuchung

AC 8 S

Seite 1 von 2

Eingang 26.09.2012
Entnahme 21.09.2012

Baustelle 2003 Kath. Kirche, Wangen bei Olten

Kieswerk Gunzgen AG
Härkingerstrasse 1
CH-4617 Gunzgen

Bauteil

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Werk Gunzgen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	41331300
Lieferschein	5825360	Temperatur/Zeit	158°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lös. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	6.07			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2439			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2356			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.4			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	80.4			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	11.7			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	3.0			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.2			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.9			
Spurrinnentiefe	SN 670 422a-NA	%	6.8			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	962			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	973			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	101			

Oberbuchsiten, den 16. Oktober 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

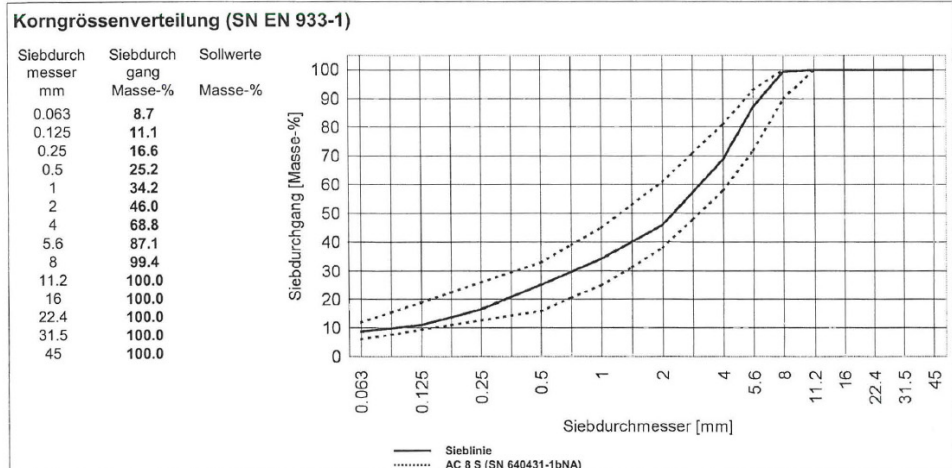


IMP-Nummer 12-04480-001
Projekt 210022

Mischgutuntersuchung

AC 8 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 16. Oktober 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 10-04184-001
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung

AC 8 N

Seite 1 von 1

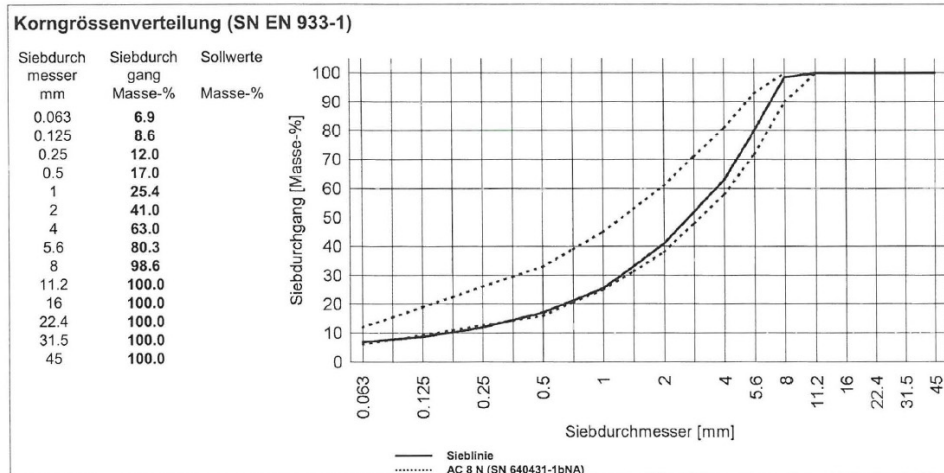
Eingang 26.08.2010
Entnahme

Baustelle FP VSS 2005/504
Druckschwellversuch
Bauteil

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	La Malcôte, Lachat SA	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	-
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lös. Bindemittelanteil	SN 670401a / SN 670902-1b	Masse-%	6.02			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2446			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2260			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	7.6			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	63.5			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	7.1			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.3			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.4			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.0			



Oberbuchsitzen, den 9. September 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-00340-001
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 1 von 2

Eingang 19.07.2010
Entnahme 08.07.2010

Baustelle FP VSS 2005/504
Druckschwellversuch
Bauteil

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Bemerkungen alte Nummer: 10-03462-001

Unternehmung	Mobival massongex	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Mobival massongex	Probenahme	En centrale / Entreprise
Anlagen-Code		Rezept	42.33.30
Lieferschein	Echantillon n° 10/44	Temperatur/Zeit	08:32
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	
Zusätze		Dosierung [M.-%]	

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.90			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2470			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2333			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	5.5			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	70.7			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	12.0			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.2			
Tangentialer Fliesswert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.2			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	5.4			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	31			
EP RuK	SN 670 512	°C	59.5			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	-0.2			

Oberbuchsiten, den 28. Februar 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

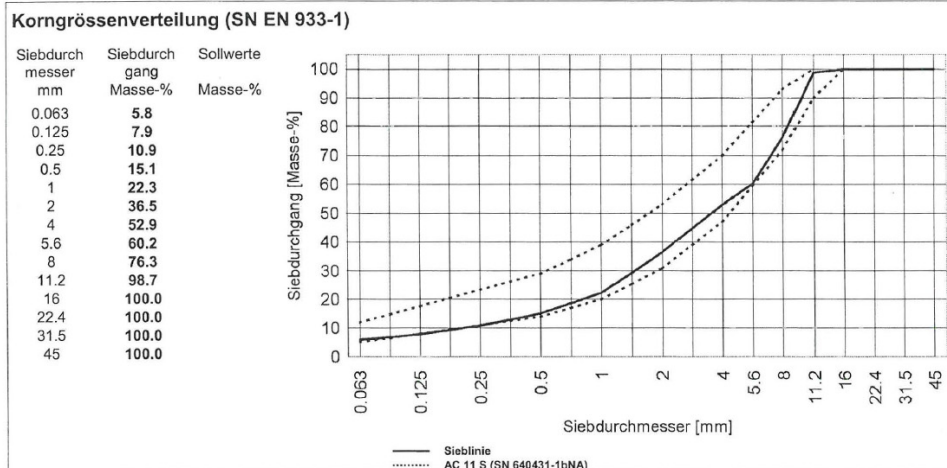


IMP-Nummer 11-00340-001
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 28. Februar 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 10-04446-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 1 von 2

Eingang 07.09.2010
Entnahme 04.09.2010

Baustelle Mischgutprobe für
Erstprüfung

Bauteil

Rezept: 41431300

Belagswerk Boningen AG
Härkingerstrasse 1
CH-4617 Gunzgen

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BLB Boningen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	1431
Lieferschein	449278	Temperatur/Zeit	173°C / . h
Bindemittel	B 50/70	Dosierung [M.-%]	5.8
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.67			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2449			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2375			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.0			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	81.3			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	12.4			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.8			
Tangentialer Fliesswert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.7			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	4.5			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	1410			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	1310			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	93			

Oberbuchsiten, den 27. September 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

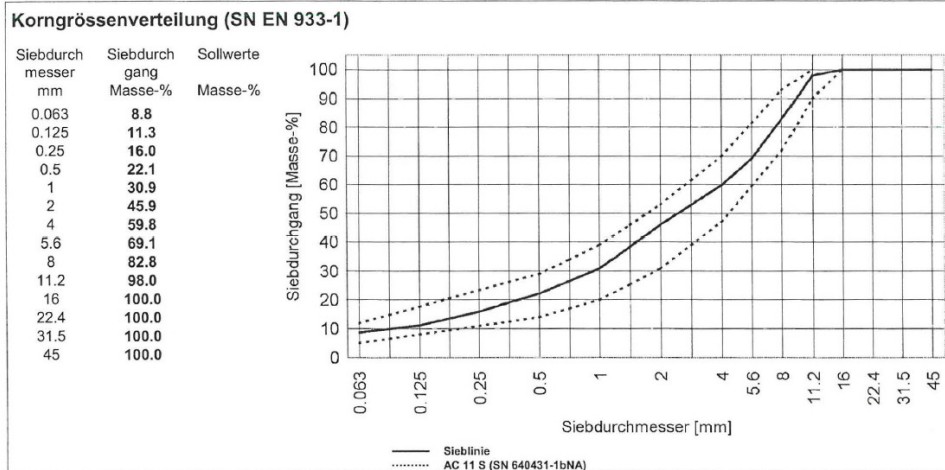


IMP-Nummer 10-04446-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 27. September 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 10-03000-002
Projekt 210030

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 1 von 2

Eingang 28.06.2010
Entnahme 27.06.2010

Baustelle Kreisel Buchmatt, Burgdorf

Miphalt AG
Aarwangenstrasse 6
CH-4704 Niederbipp

Bauteil

Unternehmung	König Huttwil	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Bipp Asphalt AG	Probenahme	Auftraggeber / Kübel
Anlagen-Code	-	Rezept	42.10.07
Lieferschein	BIPP-10-0079	Temperatur/Zeit	07.10h / 153to
Bindemittel	PmB-C 45/80-50	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.56			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2457			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2367			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.6			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	77.8			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	14.8			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.8			
Tangentialer Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.4			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	5.4			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest.'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	1140			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	1150			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	101			

Oberbuchsiten, den 6. Juli 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

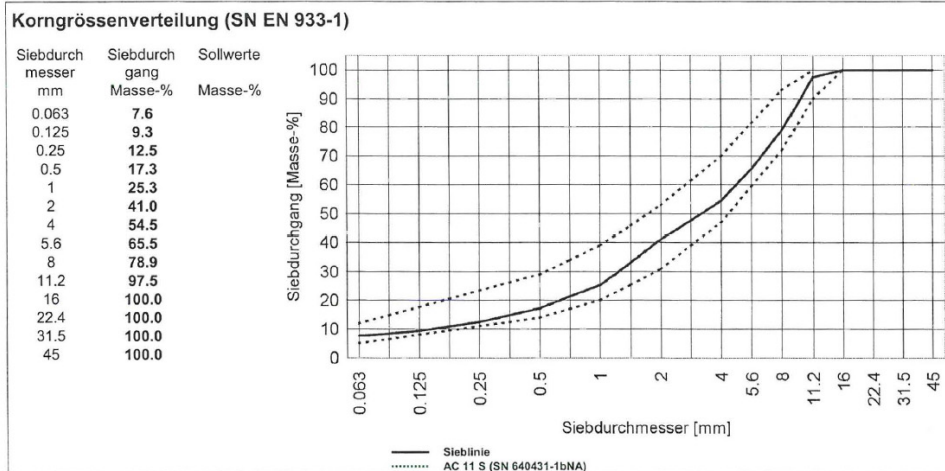


IMP-Nummer 10-03000-002
Projekt 210030

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsiten, den 6. Juli 2010

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-02428-002
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung **AC 11 S**

Seite 1 von 1

Eingang 06.05.2011
Entnahme

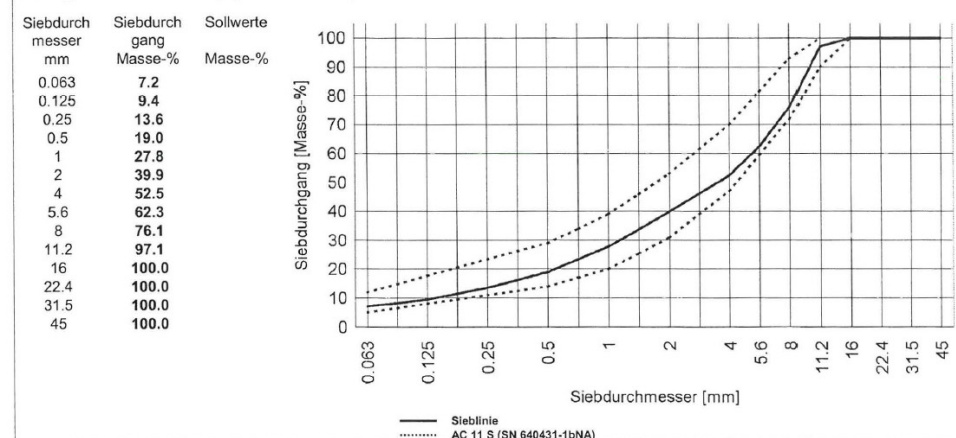
Baustelle FP VSS 2005/504
Druckschwellversuch
Bauteil

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Bipp Asphalt AG	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 10/20 S	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN 670401a / SN 670902-1b	Masse-%	5.30			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2466			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	165			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2381			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.4			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	78.1			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	21.1			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.4			
Tangentiale Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.3			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	8.7			

Korngrößenverteilung (SN EN 933-1)



Oberbuchsiten, den 12. Mai 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-02343-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 1 von 2

Eingang 05.05.2011
Entnahme 05.05.2011

Belagswerk Boningen AG
Härkingerstrasse 1
CH-4617 Gunzgen

Baustelle Probemischung Erstprüfung

Bauteil

Rezept: 41432300

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BLB Boningen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	1432
Lieferschein	452234	Temperatur/Zeit	170°C / . h
Bindemittel	PmB-C 45/80-50	Dosierung [M.-%]	5.7
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Iösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.29			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2463			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	145			
Raumdicthe	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2335			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	5.2			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	69.7			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	14.2			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.7			
Tangentiaier Fliesswert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.5			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	5.3			
Spurrinnentiefe	SN 670 422a-NA	%	2.2			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	1350			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	1280			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	95			

Oberbuchsiten, den 20. Mai 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

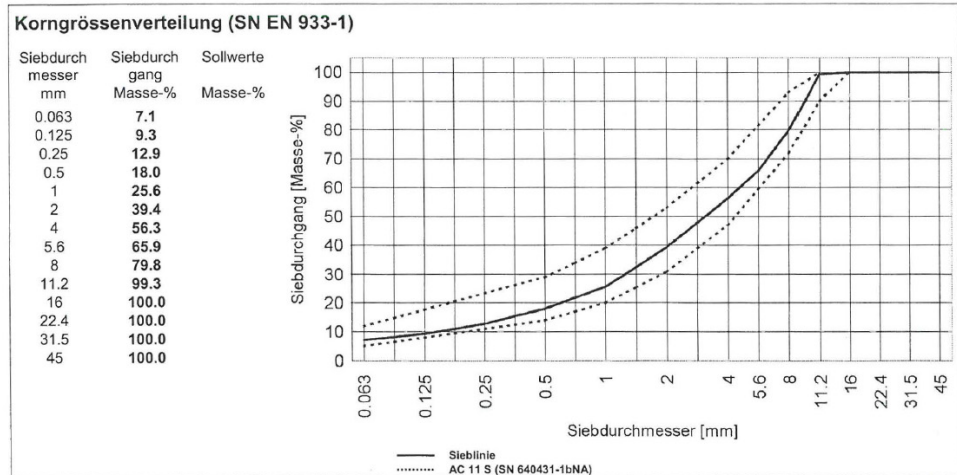


IMP-Nummer 11-02343-001
Projekt 210063

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 20. Mai 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-05548-001
Projekt 211376

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 1 von 2

Eingang 11.10.2011
Entnahme 01.09.2011

Baustelle WAG 81223 Oberwangen-
Thörishaus

Weibel Hans AG
Belagswerk
Stahlgasse
CH-3173 Oberwangen

Bauteil Probe Nr. 204/11

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Weibel AG Oberwangen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	422.01
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	163°C / 14.34h
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.60			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m3	2475			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m3	2392			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.4			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	79.4			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	12.2			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	3.1			
Tangentialer Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.0			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.9			
Spurrinnentiefe	SN 670 422a-NA	%	8.0			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest. 'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	904			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	884			
Verhältnis ITSr	SN 670 412a-NA	%	98			

Oberbuchsiten, den 21. Oktober 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

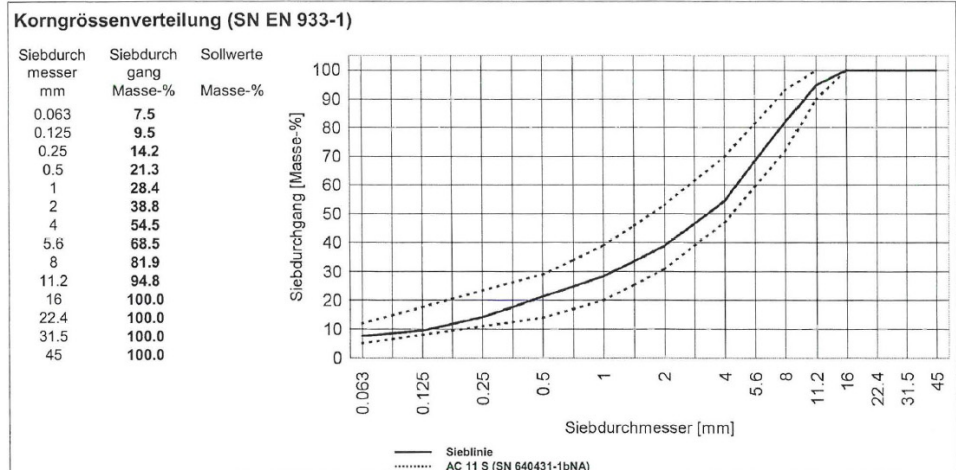


IMP-Nummer 11-05548-001
Projekt 211376

Mischgutuntersuchung

AC 11 S

Seite 2 von 2



Oberbuchsiten, den 21. Oktober 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-00340-002
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung **AC 11 N**

Seite 1 von 2

Eingang 19.07.2010
Entnahme 08.07.2010

Baustelle FP VSS 2005/504
Druckschwellversuch
Bauteil

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Bemerkungen alte Nummer: 10-03462-002

Unternehmung	Mobival massongex	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Mobival massongex	Probenahme	En centrale / Entreprise
Anlagen-Code		Rezept	42.33.30
Lieferschein	Echantillon n° 10/44	Temperatur/Zeit	08:32
Bindemittel	B 100/150	Dosierung [M.-%]	
Zusätze		Dosierung [M.-%]	

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	6.08			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m3	2469			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m3	2394			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.0			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	82.3			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	11.3			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.9			
Tangentialer Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.7			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	4.0			

Oberbuchsitzen, den 26. Januar 2011

IMP Baute AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Baute AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbaute.ch
www.impbaute.ch

Swiss Testing: STS 016

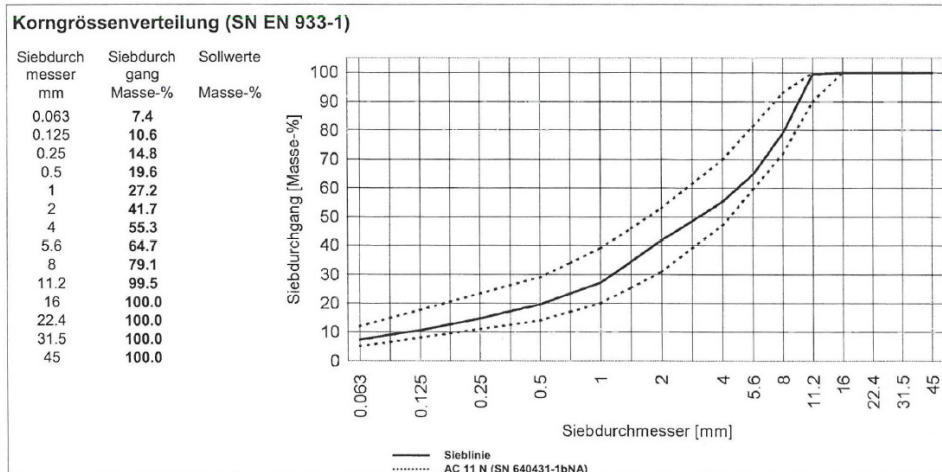


IMP-Nummer 11-00340-002
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung

AC 11 N

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 26. Januar 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-01135-001
Projekt 211306

Mischgutuntersuchung

AC 11 N

Seite 1 von 2

Eingang 28.02.2011
Entnahme 28.02.2011

Baustelle FA Oberflächentextur

Bauteil

IMP Baute AG
Institut für Materialprüfung
Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Werk Gunzgen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lös. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.82			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2448			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2323			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	5.1			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	72.0			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	8.9			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.3			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.4			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.9			
Bindemiteileigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	59			
EP RuK	SN 670 512	°C	51.3			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	-0.5			

Oberbuchsitzen, den 1. März 2011

IMP Baute AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Baute AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbaute.ch
www.impbaute.ch

Swiss Testing: STS 016

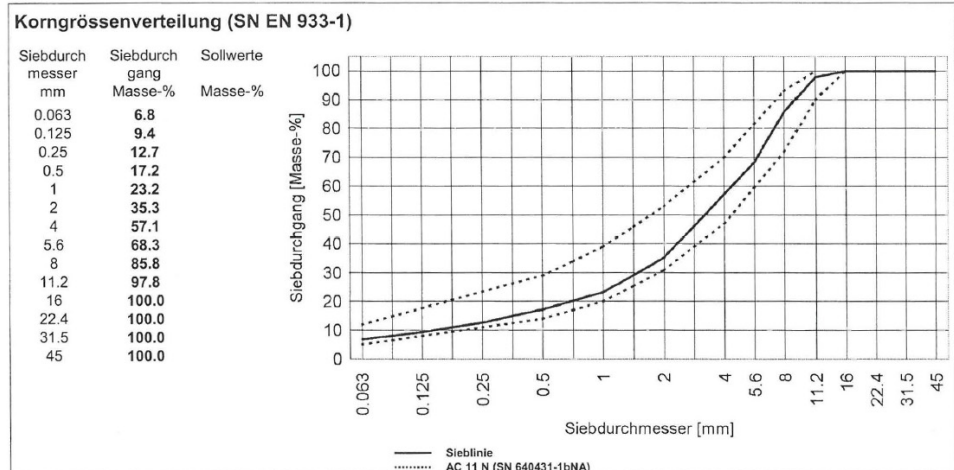


IMP-Nummer 11-01135-001
Projekt 211306

Mischgutuntersuchung

AC 11 N

Seite 2 von 2



Oberbuchsiten, den 1. März 2011

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 11-02428-001
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung **AC 11 N**

Seite 1 von 1

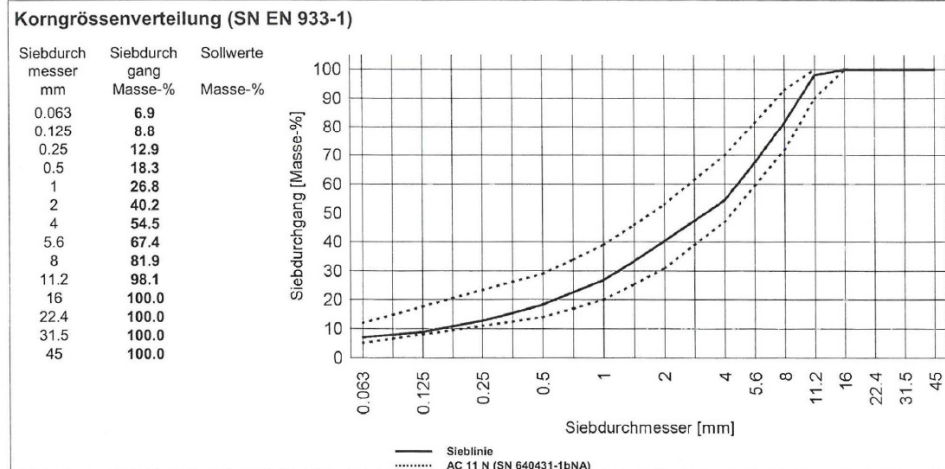
Eingang 06.05.2011
Entnahme

Baustelle FP VSS 2005/504
Druckschwellversuch
Bauteil

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Bipp Asphalt AG	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 160/220 S	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN 670401a / SN 670902-1b	Masse-%	5.62			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2455			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2379			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.1			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	80.9			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	8.5			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.1			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.5			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	4.0			



Oberbuchsitzen, den 12. Mai 2011

IMP Baute AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Baute AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbaute.ch
www.impbaute.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 10-05828-001
Projekt 210001

Mischgutuntersuchung

AC 11 L

Seite 1 von 2

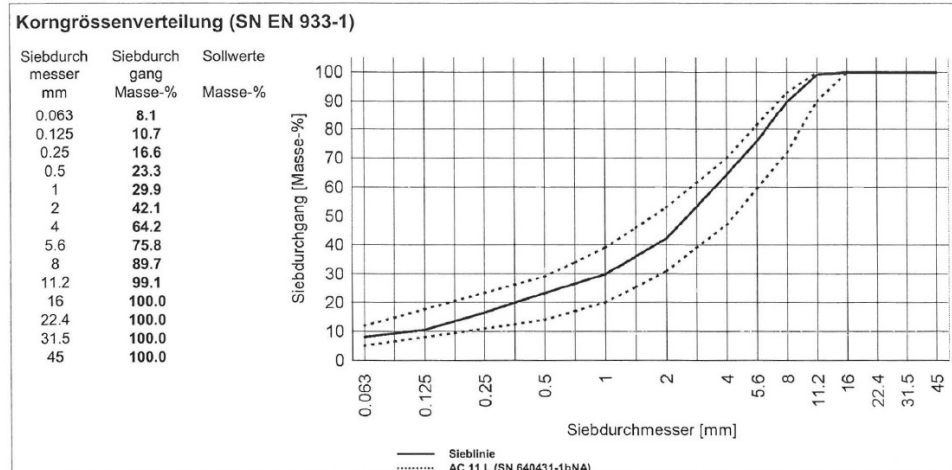
Eingang 17.11.2010
Entnahme 17.11.2010

Baustelle Entwicklungen und Versuchs-
Reihen im Labor
Bauteil R 0403.02, Standard-Mischgut
Rezept: 41411400

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung
Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Werk Gunzgen	Probenahme	IMP
Anlagen-Code	-	Rezept	1411
Lieferschein	5815022	Temperatur/Zeit	°C / 08.12h
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Originalprobe	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Parameter						
lösl. Bindemittelanteil	SN 670401a / SN 670902-1b	Masse-%	5.93			
Rohdichte Mischgut	SN EN 12697-5	kg/m ³	2450			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2373			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.1			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	81.3			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	11.1			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.6			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.6			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	4.2			



Oberbuchsiten, den 18. Januar 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-01690-001
Projekt 210001

Mischgutuntersuchung

AC 11 L

Seite 1 von 2

Eingang 26.04.2012
Entnahme 26.04.2012

Baustelle Entwicklungen und Versuchs-
Reihen im Labor
Bauteil R 0403.03, Standard-Mischgut

IMP Baute AG
Institut für Materialprüfung
Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Unternehmung	-	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BLB Boningen	Probenahme	IMP
Anlagen-Code	-	Rezept	41411400
Lieferschein	459334	Temperatur/Zeit	°C / 13.30h
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lös. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	6.00			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2445			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2316			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	5.3			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	71.9			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	9.1			
Fliesen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.6			
Tangentiaer Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.9			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.5			
Bindemittleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	50			
EP RuK	SN 670 512	°C	55.2			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	0.0			

Oberbuchsiten, den 30. April 2012

IMP Baute AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Baute AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbaute.ch
www.impbaute.ch

Swiss Testing: STS 016

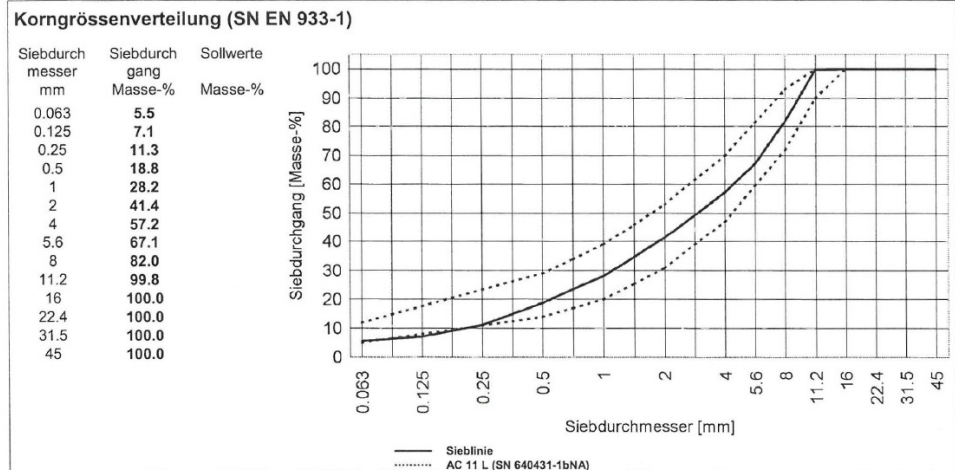


IMP-Nummer 12-01690-001
Projekt 210001

Mischgutuntersuchung

AC 11 L

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 30. April 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-05484-001
Projekt 210064

Mischgutuntersuchung

AC 16 N

Seite 1 von 2

Eingang 21.11.2012
Entnahme 20.11.2012

Marti AG Solothurn
Bielstrasse 102
CH-4503 Solothurn

Baustelle Maiefeld, Scheuren

Bauteil

Unternehmung	Marti AG Solothurn	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	Marti Walliswil	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code		Rezept	
Lieferschein		Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	B 70/100	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	Asphaltgranulat	Dosierung [M.-%]	20

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.03			
Rohdichte Mischgut	SN 670 405a	kg/m ³	2480			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	135			
Raumdicke	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2383			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	3.9			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	74.7			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	10.1			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	3.0			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	2.0			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.4			
Spurrinnentiefe	SN 670 422a-NA	%	3.0			
Wasserempfindlichkeit:						
Prüftemperatur	SN 670 412a-NA	°C	22			
Indir. Zugfest.'trocken'	SN 670 412a-NA	kPa	903			
Indir. Zugfest. 'nass'	SN 670 412a-NA	kPa	834			
Verhältnis ITSR	SN 670 412a-NA	%	92			

Oberbuchsiten, den 3. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

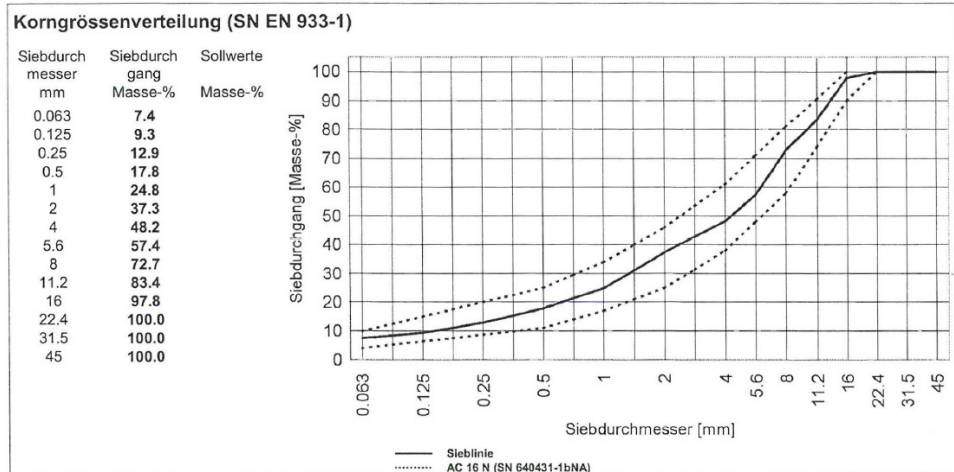


IMP-Nummer 12-05484-001
Projekt 210064

Mischgutuntersuchung

AC 16 N

Seite 2 von 2



Oberbuchsitzen, den 3. Dezember 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

II Mischgutuntersuchungen AC MR und LNA



IMP-Nummer 09-03285-001
Projekt 211300

Mischgutuntersuchung

AC MR 8

Seite 1 von 1

Eingang 04.07.2009
Entnahme 04.07.2009

Baustelle Stadttangente Bern Nord
C3 Wankdorfdreieck
Bauteil NSP > Zürich
78.0m ab Brückenkopf

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abt. Strasseninfrastruktur
Mühlestrasse 2, Ittigen
CH-3003 Bern

Bemerkungen probenahme

Unternehmung	Kästli AG	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BERAG Rubigen	Probenahme	IMP
Anlagen-Code	-	Rezept	665
Lieferschein	593954	Temperatur/Zeit	174°C / 08.50h
Bindemittel	PmB-E 45/80-65 (Cariphalte)	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Oberbuchsiten, den 9. September 2009

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



Laboratoire n° 11-03665-001
Projet n° 210340

Analyse d'enrobé

AC MR 8

Page 1 sur 2

Réception 12.07.2011
Prélèvement 28.06.2011

Ouvrage WAG 81171

Partie d'ouvr. Echantillon n° 52.1 / II

Weibel Jean SA
Routes et génie civil
Les Prâlets 36
CH-1484 Granges-de-Vesin

Entreprise	-	Type d'échantillon	Enrobé
Centr. d'enrobage	Granges-de-Vesin	Prélevé par	Mandataire
Id. de la station	-	Recette	614.05
Bon de livraison	-	Températ. / heure	165°C / 09.28h
Type de liant	PmB-E 65/105-60	Dosage [% masse]	-
Adjuvants	Viatop	Dosage [% masse]	0.1

Paramètres	Norme	Unité	Résultat	Val.indic.	Val.lim.	Val.nom.
Teneur en liant soluble	SN670401a / SN670902-1b	%-masse	5.88			
Masse volumique	SN 670 405a	kg/m3	2465			
Temp. de compactage	SN 670 406a/408/430/434a	°C	150			
Masse volumique apparente	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m3	2347			
Teneur en vides résiduels	SN 670 406a/408/430/434a	% vol.	4.8			
Teneur en vides comblés	SN 670 406a/408/430/434a	%	73.7			
Stabilité	SN 670 406a/408/430/434a	kN	11.5			
Fluage	SN 670 406a/408/430/434a	mm	3.0			
Fluage Tangentiel	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.6			
Rigidité	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	3.8			
Profondeur d'ornièr	SN 670 422a-NA	%	1.7			
Sensibilité à l'eau:						
Température d'essai	SN 670 412a-NA	°C	22			
Rés.à la tract. indir. 'sec'	SN 670 412a-NA	kPa	1090			
Rés.à la tract. indir. 'humide'	SN 670 412a-NA	kPa	853			
Rapport ITSr	SN 670 412a-NA	%	78			

Oberbuchsiten, le 25 juillet 2011

IMP Bautest AG

Les résultats d'analyse se rapportent exclusivement aux échantillons examinés.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

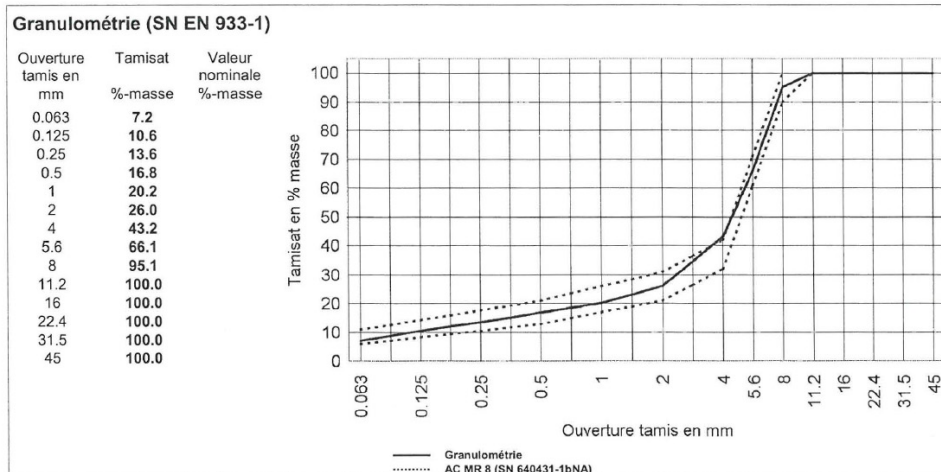


Laboratoire n° 11-03665-001
Projet n° 210340

Analyse d'enrobé

AC MR 8

Page 2 sur 2



Oberbuchsitzen, le 25 juillet 2011

IMP Bautest AG

Les résultats d'analyse se rapportent exclusivement aux échantillons examinés.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsitzen

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016



IMP-Nummer 12-01602-001
Projekt 211076

Mischgutuntersuchung

LNA 8 B

Seite 1 von 1

Eingang 13.04.2012
Entnahme 11.04.2012

Baustelle Probemischung

Berag AG
altes Riedgässli 16
CH-3113 Rubigen

Bauteil Auftragsnummer: 12.00026
Probennummer: A.12.0124

Unternehmung	BERAG	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BERAG Rubigen	Probenahme	Auftraggeber
Anlagen-Code	865	Rezept	-
Lieferschein	-	Temperatur/Zeit	°C / . h
Bindemittel	Cariphalte 45/80-65 E	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	Cellulosefasern	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
Spurrinntiefe	SN 670 422a-NA	%	6.3			

Oberbuchsiten, den 20. April 2012

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

III Mischgutuntersuchungen AC EME



IMP-Nummer 09-03076-001
Projekt 250291

Mischgutuntersuchung **AC EME 22 C2**

Seite 1 von 2

Eingang 22.06.2009
Entnahme 22.06.2009

Baustelle Stadttangente Bern Nord
C3 Wankdorf dreieck
Bauteil NS > Zürich, km 167.640

Bundesamt für Strassen ASTRA
Filiale Thun
Herr Urs Marbet
Uttigenstrasse 54
CH-3600 Thun

Unternehmung	Kästli	Probenart	Mischgutprobe
Aufbereitungsanl.	BERAG Rubigen	Probenahme	IMP
Anlagen-Code	-	Rezept	-
Lieferschein	593093	Temperatur/Zeit	162°C / 13.10h
Bindemittel	B 15/20	Dosierung [M.-%]	-
Zusätze	keine Angaben	Dosierung [M.-%]	-

Parameter	Norm	Einheit	Ergebnis	Richtw.	Grenzw.	Sollw.
lösl. Bindemittelanteil	SN670401a / SN670902-1b	Masse-%	5.25			
Rohdichte Mischgut	SN EN 12697-5, berechnet	kg/m ³	2480			
Verdichtungstemperatur	SN 670 406a/408/430/434a	°C	155			
Raumdichte	SN 670 406a/408/430/434a	kg/m ³	2424			
Hohlraumgehalt	SN 670 406a/408/430/434a	Vol.-%	2.3			
Bindem.ausfüllungsgrad	SN 670 406a/408/430/434a	%	84.5			
Stabilität Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	kN	15.8			
Fliessen Marshall	SN 670 406a/408/430/434a	mm	3.6			
Tangentialem Fließwert	SN 670 406a/408/430/434a	mm	1.5			
Marshall-Quotient	SN 670 406a/408/430/434a	kN/mm	4.5			
Bindemiteleigenschaften:						
Penetration (25°C)	SN 670 511	1/10mm	16			
EP RuK	SN 670 512	°C	70.8			
Penetrationsindex	SN 670 202-NA	-	0.5			

Oberbuchsiten, den 25. Juni 2009

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

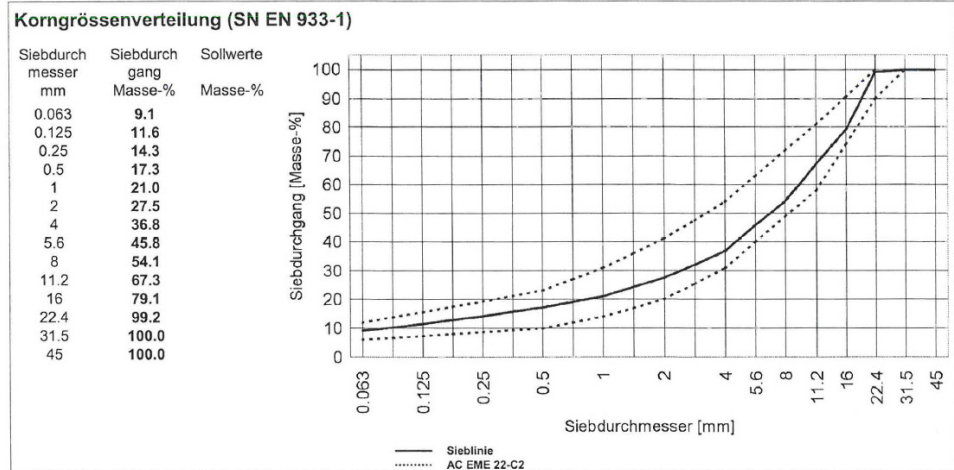


IMP-Nummer 09-03076-001
Projekt 250291

Mischgutuntersuchung

AC EME 22 C2

Seite 2 von 2



Oberbuchsiten, den 25. Juni 2009

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP Bautest AG
Institut für Materialprüfung

Hauptstrasse 591
CH-4625 Oberbuchsiten

Telefon 062 389 98 99
Fax 062 389 98 90

info@impbautest.ch
www.impbautest.ch

Swiss Testing: STS 016

Glossar

Begriff	Bedeutung
AC	Asphaltbeton
AC B/T	Asphaltbeton Binder- / Tragschicht
AC EME	Hochmodulasphaltschicht
AC H	Asphaltbeton für hohe Beanspruchung
AC MR	Raubelag
CEN	Europäische Komitee für Normung
ETHL	Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne
EN	Europäischen Normen
EME	Hochmodul-Asphalt
f_c	Kategorie der Kriechrate
LNA	Low Noise Asphalt
MGU	Mischgutuntersuchungen
PmB	polymermodifiziertes Bitumen
P_L	Untere Schwell-Belastung (l: lower)
P_U	Obere Schwell-Belastung (u: upper)
SN	Schweizer Norm
SMA	Splittmastixasphalt
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

Literaturverzeichnis

[1]	EN 12697-6 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 6 : Bestimmung der Raumdichte von Asphalt-Probekörpern
[2]	EN 12697-20 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 20 : Eindringversuch an Würfeln oder Marshall-Probekörpern
[3]	EN 12697-21 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 21 : Eindringversuch an Platten
[4]	EN 12697-22 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 22 : Spurbildungstest
[5]	EN 12697-25 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 25 : Druckschwellversuch
[6]	EN 12697-30 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 30 : Probenvorbereitung, Marshall-Verdichtungsgerät
[7]	EN 12697-31 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 31 : Herstellung von Probekörper mit dem Gyrator-Verdichter
[8]	EN 12697-33 Asphalt - Prüfverfahren für Heissasphalt - Teil 33 : Probestückvorbereitung durch Rollenverdichtungsgerät
[9]	EN 13108-1 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 1: Asphaltbeton
[10]	EN 13108-5 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 5: Splittmastixasphalt
[11]	EN 13108-7 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 7: Offenporiger Asphalt
[12]	EN 13108-20 Asphaltmischgut - Mischgutanforderungen - Teil 20: Erstprüfung
[13]	EN 13286-7 Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 7: Dreiaxialprüfung mit zyklischer Belastung für ungebundene Gemische
[14]	SN 640431-1b-NA Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen - Asphaltbeton
[15]	SN 640431-20b-NA Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen - Erstprüfung
[16]	TP A-StB Teil: Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von walzasphalten bei Wärme (1999)
[17]	http://www.geodsz.com/deu/d/duktile_Verformung
[18]	http://www.unige.ch/sciences/chifi/Vauthey/misc/gants_resistances.pdf
[ANG82]	Angst. Ch., Der Einfluss der Verdichtung auf die mechanischen Eigenschaften bituminöser Schichten, Bitumen 2/82
[ANG83]	Morphologische Beurteilung verdichteter, bituminöser Mischungen, Bitumen 3/1983
[ANG06]	Angst Ch., Die Beurteilung des Verformungswiderstandes bituminöser Schichten mittels Druckschwellversuch, Strasse und Verkehr, 10 (2006)
[ANG12]	Angst Ch., Triaxial cyclic compression test – suitable parameters for meaningful results, / A5EE-297, 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress
[GRE08]	Grégoire C., Essai triaxial cyclique, Bulletin CRR, F73 (2008)
[HAN78]	Hanzik V., Luxemburk F., Die Eigenschaften von Gussasphalt bei Dauerbelastung, Bitumen, Heft 1/78, S. 9-13 (1978)
[HUS79]	Huschek S., Die Beurteilung des Verformungswiderstandes bituminöser Schichten durch den Kriechversuch; ISETH Mitteilung Nr 42, 1979 Zürich
[IMP12]	Handbuch 12; bituminöser Strassenbau und Brückenabdichtungen, 8. Auflage 2012; Institut für Materialprüfung IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen
[KAR05]	Karcher C., Prognose und Bewertung des Verformungsverhaltens von Asphalten mit dem Druckschwellversuch am Beispiel des Splittmastixasphaltes, Veröffentlichung des ISE, Universität Karlsruhe, Heft 54 (2005)

[MEI04]	Meiners S., Scharnigg K., Steinauer B., Dynamische Verfahren zur Prognose des Verformungswiderstandes von Asphalt, Bitumen, Heft 4, (2004)
[HUS 83]	Huschek S., Zum Verformungsverhalten von Asphaltbeton unter Druck; ISETH Mitteilung Nr. 54, 1983 Zürich
[NEU81]	Neumann H.-J., Bitumen und seine Anwendung, Kontakt & Studium, Band 63 (1981)
[REN05]	Renken P., Büchler S., Optimierung des Triaxialversuchs zur Bewertung des Verformungswiderstandes von Asphalt, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen BAST, Heft S 39 (2005)
[SCH08]	Schindler K., Untersuchung des Verformungsverhaltens von Asphalt zur Bestimmung von Materialkennwerten für die Dimensionierung, Dissertation, TU Braunschweig, (2008)
[TER61]	Terzaghi K., Peck R. B., Die Bodenmechanik in der Baupraxis, Springer-Verlag 1961
[WAG10]	Wagner M., Temperaturabgesenkte Asphalte; gebrauchungsverhaltenorientierte Untersuchungen an Bitumen und Asphalt, Mitteilung der Professur für Strassen- und Flugbetriebsflächenbau, TU Wien, Heft Nr. 25 (2010)
[WEI12]	Weise C., Auswirkungen von Lastpausen und Heilung auf die Ermüdungseigenschaften von Asphaltgemischen, Strasse und Autobahn, 3, (2012)

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 15.09.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2005/504

Projekttitel: Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhalten von Belägen

Enddatum: 30.09.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Ausgangslage

Die hauptsächlichsten Beschädigungen, welche Reparaturarbeiten notwendig machen, sind Spurrinnen und Risse. Das von Spurrinnen ausgehende Sicherheitsrisiko (Aquaplaning in stehendem Wasser) und das Bedürfnis nach Dauerhaftigkeit verlangen nach immer besseren Asphaltprodukten. Die Spurrinnenbildung ist auf einen ungenügenden Widerstand gegen bleibende Verformung bei sommerlichen Temperaturen zurückzuführen. Zur Beurteilung der Beständigkeit gegen bleibende Verformung von Asphaltbeton gelten 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. Es soll untersucht werden, ob sich der triaxiale Druckschwellversuch grundsätzlich eignen würde, das Verformungsverhalten anzusprechen.

Ziele

Das Projekt soll die Entscheidungsgrundlagen liefern, um Prüfbedingungen für den triaxialen Druckschwellversuch festzulegen. 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.

Ergebnisse

Dass das gewählte Verdichtungsverfahren zur Herstellung der Prüfkörper einen grossen Einfluss auf die Ergebnisse dynamischer Prüfungen an Asphaltprobekörpern hat, ist bekannt. Aus diesem Grund wurden die gebräuchlichsten Labor-Verdichtungsverfahren evaluiert: Marshall, Gyrator, Walz-segmentverdichter und Gummiradverdichter. Es wurde die Gyratorverdichtung als die geeignetste Verdichtungsmethode gewählt, nicht zuletzt, weil mit dieser Verdichtungsmethode auch grobere Mischgutsorten bearbeitet werden können. 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 einzuzugrenzen.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde die Zwischenschicht 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 Einschränkung des Prüfkörpers und behindern 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/TF2 „Testmethods“ aufgenommen.

Es zeigte sich dass die in der Norm EN 13108-20:2006 und 2013 (Erstprüfung) definierten Prüfparameter (Temperatur, Seiten- und Vertikaldruck) zu wenig differenzieren.

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.

Die Berechnung der Kriechrate ist grundsätzlich festgelegt als „Steigung der Verformungskurve im quasi-linearen Bereich“ definiert. Es zeigt sich, dass diese Definition zu wenig präzise ist, je nach Art der Auswertung folgen unterschiedliche Kriechraten. Dies ist insbesondere bei Asphalten mit hohem Verformungswiderstand der Fall, bei denen die Verformungskurve keinen Wendepunkt aufweist. In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Auswertungsmethoden miteinander verglichen und es wurde ein Vorschlag zur einheitlichen, präzisen Umschreibung formuliert.

Im Rahmen der Vernehmlassung zur EN 13108-20 und zur EN 12697-25 konnte die Schweiz, gestützt auf die fundierten Untersuchungen, die neuen Prüfbedingungen und Präzisierungen der Prüfmethode einbringen.

Mit der optimierten Prüfmethode wurden Untersuchungen an verschiedenen Asphaltarten durchgeführt. Im Unterschied zu den ursprünglichen Prüfparametern der EN vermochten die neuen Prüfparameter die Qualitätsunterschiede der untersuchten Asphalte deutlich besser aufzuzeigen. So konnten deutliche Unterschiede in Abhängigkeit der Bindemittelviskosität festgestellt werden. Auf der Basis einer beschränkten Anzahl Untersuchungen wurden provisorische Anforderungswerte vorgeschlagen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Das Projekt verfolgte im Wesentlichen zwei Ziele:

Die detaillierte Festlegung der Prüfparameter. Dieses Ziel wurde vollständig erreicht. Die Forschungsarbeit ermöglichte es, eine aktive Rolle bei der Revision zweier EN-Normen zu übernehmen; wesentliche Verbesserungen der EN-Normen EN 12697-25 und EN 13108-20 beruhen auf den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit.

Das zweite Ziel, die Festlegung von Anforderungen wurde nur teilweise erreicht.

Entgegen der ursprünglichen Zielsetzung musste sich die Forschungsarbeit intensiv mit der Entwicklung der Prüfmethode auseinandersetzen. Es konnte zu Beginn nicht erwartet werden, dass die damals vorliegenden EN-Normen in zentralen Punkten revidiert werden mussten. Dass die Forschungsarbeit einen aktiven Beitrag zur Verbesserung der EN-Normen beitrug ist erfreulich. Andererseits konnte im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mitteln das Ziel der Festlegung von Anforderungen nur ansatzweise erreicht werden. Immerhin wurden provisorische Anforderungen vorgeschlagen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die neuen Prüfbedingungen und Präzisierungen der Prüfmethode sind nun in den neuen EN-Normen verankert. Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sind somit bereits umgesetzt.

Was nun fehlt, ist ein breit abgestützter Erfahrungshintergrund zur fundierten Festlegung von Anforderungswerten.

Publikationen:

TRIAXIAL CYCLIC COMPRESSION TEST- SUITABLE TEST PARAMETERS FOR
MEANINGFUL RESULTS / A5EE-297 PDF
5th Eurasphalt & Eurobitume Congress 2011
Dr. Ch. Angst

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Angst

Vorname: Christian

Amt, Firma, Institut: IMP Bautech AG; Hauptstrasse 591; 4625 Oberbuchsitzen

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Zielsetzung der Forschungsarbeit musste aufgrund der festgestellten Mängel an den EN-Normen neu definiert werden. Das Schwergewicht der Arbeit verschob sich von der Erarbeitung von Anforderungen an unterschiedliche Mischgutsorten auf die Entwicklung der eigentlichen Prüfmethode und auf eine Verbesserung der Auswertemethode. Es ist in diesem Zusammenhang als positiv zu betrachten, dass die Schweiz wesentliche Elemente zur Verbesserung von 2 EN-Normen einbringen konnte. Zusätzlich konnten auch provisorische Anforderungswerte vorgeschlagen werden.

Umsetzung:

Die Verbesserungsvorschläge sind in die Vernehmlassung der EN-Normen EN 12697-25 "Druckschwellversuch" und EN 13108-20 "Erstprüfung" eingeflossen und wurden von den entsprechenden EN-Kommissionen umgesetzt (die Kommission CEN TC 227/WG1/TG2 für die Norm EN 12697-25 und die Kommission CEN TC 227/WG1/TG4 für die Norm EN 13108-20). Diese EN-Normen werden nach deren Inkraftsetzung in der Schweiz als SN eingeführt werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Nachdem die Prüfmethode detailliert evaluiert und festgelegt wurde, sollte ein Erfahrungshintergrund zur definitiven Festlegung von Anforderungen aufgebaut werden. Dazu sollten Reihenuntersuchungen an einer Vielzahl von Asphaltarten durchgeführt werden.

Einfluss auf Normenwerk:

Die auf der Basis der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit erfolgten Änderungen in den EN-Normen werden über die Nationalen Vorwörter ins Schweizer Normenwerk aufgenommen werden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Seeberger

Vorname: Max

Am, Firma, Institut: Tecnotest AG, Alemannenweg 4, 8803 Rüschlikon

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Max Seeberger

VSS FK5: *Stamm*

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgesetz für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbauasphalt mit bituminösen Bindemitteln	2014
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TP A	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP H	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP F	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP B2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierrungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdruckverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkierungsanlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffbarkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kapthaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow-Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des ponts dalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009