



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**

# **Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP1 - Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung**

**Paquet de recherche Etanchéité de ponts: EP1 - Structure globale de revêtements stables, essais et évaluation**

**Research Package Bridge-deck Systems: EP1- Structural Resistance of the Overall-System, Testing and Assessment**

**Empa, Abteilung Strassenbau/Abdichtungen**  
**C. Raab, Dr. Dipl.-Ing.,**  
**M. N. Partl, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH**

**Forschungsprojekt VSS 2006/511\_OBF auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

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)



# **Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP1- Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung**

**Paquet de recherche Etanchéité de ponts: EP1 - Structure globale de revêtements stables, essais et évaluation**

**Research Package Bridge-deck systems: EP1- Structural Resistance of the Overall-System, Testing and Assessment**

**Empa, Abteilung  
Strassenbau/Abdichtungen  
C. Raab, Dr., Dipl.-Ing.  
M. N. Partl, Dr. sc. tech., dipl. Ing. ETH**

**Forschungsprojekt VSS 2006/511\_OBF auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

**Projektleitung**  
Christiane Raab

**Mitglieder**  
Manfred Partl

## Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Bautechnik

## Gesamtprojektleiter

Remy Gubler

## Begleitkommission

**Präsident, Gesamtprojekt**  
Hans Hürzeler

**Präsident, Einzelprojekt**  
Thomas Arn

**Mitglieder, Gesamtprojekt**  
Heinz Aeschlimann  
Harry Fehlmann  
Kurt Frei  
Jean-Christoph-Putallaz  
Hans Wahlen  
Jean-Marc Waeber

**Mitglieder, Einzelprojekt**  
Christian Angst  
Margarita Rodriguez  
Jean-Christoph-Putallaz  
Hans-Peter Beyeler  
Erwin Fetz  
Christophe Bressoud  
Jean-Louis Cuénoud  
Hansjörg Byland

## Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

## Bezugsquelle

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

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
	<b>Résumé</b> .....	<b>9</b>
	<b>Summary</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung des Forschungsprojekts</b> .....	<b>14</b>
2.1	Zielsetzung .....	14
2.2	Arbeitsplan nach Absprache in der Begleitkommission .....	14
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung</b> .....	<b>16</b>
3.1	Allgemeines .....	16
<b>4</b>	<b>Material</b> .....	<b>17</b>
4.1	Allgemeines .....	17
4.2	Prüfplatten mit Modellaufbauten nach SN 640450 .....	17
4.3	Prüfprogramm .....	19
<b>5</b>	<b>Spurbildungsprüfung mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 (Widerstand gegen plastische Verformungen)</b> .....	<b>20</b>
5.1	Allgemeines .....	20
5.2	Model Mobile Load Simulator MMLS3 .....	20
5.3	Prüfaufbau .....	21
5.4	Auswertung der Spurbildungsprüfung .....	22
5.5	Ergebnisse der Spurbildungsprüfung .....	23
<b>6</b>	<b>Dynamischer Stempeleindringversuch nach deutscher Prüfvorschrift (Widerstand gegen plastische Verformung bzw. Kontrolle der Gussasphalthärte)</b> .....	<b>27</b>
6.1	Prüfung der dynamischen Stempeleindringtiefe .....	27
6.2	Ergebnisse der dynamischen Stempeleindringtiefe .....	28
<b>7</b>	<b>Prüfung des Schichtenverbunds</b> .....	<b>32</b>
7.1	Allgemeines .....	32
7.2	Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner .....	32
7.3	Ergebnisse der Prüfung des Schichtenverbunds .....	32
7.3.1	Platte 1 .....	34
7.3.2	Platte 2 .....	34
7.3.3	Platte 3 .....	35
7.3.4	Platte 4 .....	35
7.3.5	Platte 5 .....	36
7.3.6	Platte 6 .....	36
7.3.7	Platte 7 .....	37
7.3.8	Platte 8 .....	37
7.3.9	Auswertung aufgrund der Materialien .....	38
7.4	Auswertung der Prüfung des Schichtenverbunds .....	40
<b>8</b>	<b>Einaxialer Druckschwellversuch (Untersuchung des Verformungsverhaltens)</b> .....	<b>42</b>
8.1	Allgemeines .....	42
8.2	Einaxialer Druckschwellversuch nach TP A-StB .....	42
8.3	Ergebnisse des einaxialen Druckschwellversuchs .....	44

<b>9</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>49</b>
9.1	Vergleich der Ergebnisse des Spurbildungstest mit MMLS3 und des dynamischen Stempel Eindringversuchs .....	49
9.2	Vergleich der Ergebnisse des einaxialen Druckschwellversuchs und des Stempel Eindringversuchs .....	49
9.3	Vergleich der Ergebnisse der Prüfung Spurbildungstest des dynamischen Stempel Eindringversuchs und des einaxialen Druckschwellversuchs .....	49
9.4	Diskussion der Ergebnisse der Prüfung des Schichtenverbunds .....	50
<b>10</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>51</b>
10.1	Fazit .....	52
<b>11</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>53</b>
	<b>Anhang: Materialkennwerte .....</b>	<b>54</b>
	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>71</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>72</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>73</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>76</b>

## Zusammenfassung

Belagsaufbauten für Betonbrücken sind komplexe Systeme, die eine Vielzahl von Anforderungen zu erfüllen haben. Neben der Aufgabe der Abdichtung der Betonkonstruktion gegen Wasser und Tausalz müssen sie dem besonders spurtreuen Verkehr und den aufgrund ihrer Exposition auftretenden Temperaturschwankungen große Hitze und Kältebelastungen standhalten. Weiterhin wird heute oft gefordert, dass ihre Deckschichten den allgemeinen Lärmanforderungen genügen, weshalb traditionelle Gussasphaltschichten durch lärmindernde semidichte Deckbeläge ersetzt werden sollen.

Das vorliegende, im Rahmen eines Forschungspakets „Brückenabdichtungen“ angesiedelte Einzelprojekt „EP1 - Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung“ hatte zum Ziel:

- die Evaluation und Einstufung von Prüfungen und Prüfverfahren zur Bewertung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus des Abdichtungssystems,
- die Bestimmung und Zuordnung der Verformungsanteile der einzelnen Schichten im Gesamtaufbau,
- die Eruierung besonders verformungsempfindlicher Schichten (beziehungsweise Materialien) und
- die Beschreibung des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten im Sinne der Schweizer Norm „Brückenabdichtungen“ (SN 640450).

Aus der Auswertung geht hervor, dass sich Prüfungen, wie der Druckschwellversuch, die für die Prüfung von Asphaltbetonprobekörpern entwickelt wurden, im Hinblick auf Versuchsdurchführung und Anforderungen nicht unbesehen auf die Prüfungen von Abdichtungssysteme für Brücken, die aus Gussasphalt bzw. semidichten Deckschichten bestehen, übertragen werden können. Ebenfalls ist die Übertragung von Prüfungen für einzelne Schichten auf Systeme, d.h. die gleichzeitige Prüfung mehrerer Schichten, nicht ohne weiteres möglich. Wenn man den Widerstand gegen Verformung und die Stabilität bei hohen Temperaturen, wie er im Druckschwellversuch untersucht wird, betrachtet, schneiden Systeme mit einer schwimmend verlegten Gussasphaltabdichtung am besten ab. Hingegen zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass Systeme mit einem dreilagigen Schichtaufbau über der Polymerbitumendichtungsbahn im Hinblick auf ihre Stabilität und ihr Verformungsverhalten eher vermieden werden sollten. Aus dem Druckschwellversuch geht weiterhin hervor, dass semidichte Deckschichten wegen ihrer geringeren Standfestigkeit nicht Gussasphaltschichten vorgezogen werden sollten. Die Ergebnisse des Spurbildungstests mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 zeigen, dass die Verformung im wesentlichen auf die Deckschicht beschränkt bleiben und dass die Variation der Materialqualität zwischen nominell gleichen Mischguttypen so groß ist, dass die Prüfungen daher nicht in der Lage sind, das Verhalten des Gesamtsystems (inklusive Abdichtung) zu beschreiben.

Für die Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformungen von Brückenabdichtungssystemen sollten vorzugsweise 1:1 in situ Verkehrslastsimulatoren wie der Mobile Load Simulator MLS10 eingesetzt werden. Für Laboruntersuchungen mit MMLS3 oder ähnlichen Geräten sollten die Schichtdicken der Systeme reduziert werden.

Die Prüfung des Schichtenverbunds zeigt einen sehr guten Verbund für alle Gussasphaltschichten mit Mittelwerten der maximalen Scherkraft von mehr als 60 kN bei einer Prüftemperatur von 20°C. Das Verbundverhalten der semidichten Deckschichten ist mit Mittelwerten der Scherkraft zwischen 12 kN und 16 kN deutlich niedriger und in Bezug auf den in der Norm enthaltenen Anforderungswert von 15 kN deutlich kritischer. Für die Polymerbitumendichtungsbahnen auf Beton ergeben sich Werte der maximalen Scherkraft zwischen 8 kN und 12 kN, wobei kein Unterschied zwischen APP und SBS modifizierten Dichtungsbahnen erkennbar ist. Im Gegensatz dazu, ergibt sich für die mit PMMA modifizierte Flüssigkunststoffabdichtung eine sehr hohe mittlere Scherkraft von 55 kN, und damit der beste Wert aller untersuchten Abdichtungen. Insgesamt sollte der Einsatz von semidichten Deckschichten anstelle von Gussasphaltdeckschichten wegen der geringeren Stabilität und der deutlich geringeren Schichtverbundwerte nur in Fällen in Erwägung gezogen werden, in denen besonderer Lärmschutz erforderlich ist.



## Résumé

Les revêtements destinés aux ponts en béton constituent des systèmes complexes qui doivent satisfaire à de nombreuses exigences. En plus de leur fonction d'étanchéité afin de protéger la construction en béton contre l'eau et le sel de déverglaçage, ils doivent résister à la concentration élevée d'un trafic qui suit une même trace ainsi qu'aux fortes sollicitations dues à la chaleur et au froid en lien avec leur exposition aux variations de température. De plus, il est souvent exigé à ce jour que leurs couches de roulement satisfassent aux exigences générales de protection contre le bruit, raison pour laquelle les couches traditionnelles en asphalte coulé doivent être remplacées par des couches de roulement semi-denses et phono-absorbantes.

Le présent projet EP1 - Structure globale de revêtements stables, s'inscrivant dans le cadre du paquet de recherche «Etanchéité de ponts», avait pour buts:

- l'évaluation et le classement des procédés et méthodes d'essai pour la détermination de la stabilité de la structure globale des systèmes d'étanchéité,
- la détermination et l'attribution aux différentes couches de leur contribution respective à la déformation de la structure globale,
- l'identification des couches (respectivement des matériaux) particulièrement sensibles à la déformation et
- la description du comportement à la déformation de structures typiques de revêtements sur les ponts au sens de la norme suisse „Systèmes d'étanchéité et couches bitumineuses sur ponts en béton; systèmes, exigences et exécution“ (SN 640450).

L'évaluation effectuée montre que des essais tels que l'essai de compression cyclique et l'essai de pénétration dynamique, qui ont été développés pour l'essai sur des éprouvettes de bétons bitumineux, ne sont pas simplement transposables, en ce qui concerne leur mode d'exécution et les exigences afférentes, aux systèmes d'étanchéités en asphalte coulé ou aux couches de roulement des ponts. La transposition à des systèmes, soit l'essai simultané sur plusieurs couches, d'essais entrepris sur des couches isolées n'est également pas non plus sans autre possible. Si l'on considère la résistance à la déformation et la stabilité sous hautes températures, telle qu'examinée lors de l'essai de compression cyclique, les résultats les meilleurs sont livrés par les systèmes comportant une étanchéité en asphalte coulé posée de manière flottante. Les résultats obtenus au cours des investigations montrent par contre qu'il faudrait, sous l'angle de leur stabilité et de leur comportement à la déformation, plutôt éviter d'utiliser des systèmes constitués d'une structure tricouche sur un lé de bitume polymère. De l'essai de compression cyclique il ressort également que, du fait de leur faible stabilité, les couches de roulement semi-denses ne devraient pas être préférées aux couches d'asphalte coulé. Les résultats des essais d'orniérage réalisés en utilisant le simulateur de trafic MMLS3 montrent que la déformation demeure pour l'essentiel limitée à la couche de roulement et que les différences de qualité des matériaux entre des types d'enrobés nominalement identiques sont à ce point importantes que les essais ne sont pas en mesure de décrire le comportement de l'ensemble du système (étanchéité comprise).

La détermination de la résistance aux déformations permanentes de systèmes d'étanchéité sur les ponts devrait de préférence être effectuée au moyen d'essais à l'échelle 1:1 utilisant des simulateurs de trafic tels que le Mobile Load Simulator MLS10. Pour les études en laboratoire avec le MMLS3 ou avec des appareils similaires, les épaisseurs des couches du système devraient être diminuées.

L'essai de la liaison entre les couches montre que la liaison entre toutes les couches d'asphalte coulé est très bonne, avec une valeur moyenne de la force de cisaillement maximale dépassant 60 kN à une température d'essai de 20°C. Avec des valeurs moyennes de la force de cisaillement situées entre 12 et 16 kN, le comportement à la liaison des couches de roulement semi-denses est nettement moins bon et nettement plus critique si la relation est faite avec la valeur minimale de 15 kN requise dans la norme. Pour les lés de bitume polymère posés sur le béton, les valeurs obtenues pour la force de cisaillement maximale se situent entre 8 kN et 12 kN et on ne distingue aucune différence entre les lés de bitume polymères modifiés APP et SBS. Pour des étanchéités modifiées réalisées avec des résines synthétiques PMMA liquides, la force de cisaillement moyenne atteint par contre une valeur très élevée de 55 kN, soit la meilleure valeur parmi toutes les étanchéités examinées. Globalement, en raison de leur faible

stabilité et de valeurs de liaison entre les couches nettement plus faible, l'utilisation de couches de roulement en enrobés semi-denses en lieu et place de couches de roulement en asphalte coulé ne devrait être envisagée que dans les cas où une protection particulière contre le bruit est nécessaire.

## Summary

Bridge-deck systems on concrete bridges are complex systems which have to meet many requirements. Such systems must act primarily as a protective layer against water and de-icing salt as well as withstand temperature fluctuations, the effects of which are themselves worsened by the channelling of traffic on bridges into narrower lanes.

The research project 'EP1 - Structural resistance of bridge-deck systems, Test and Assessment', located in the research package 'Bridge-deck systems', has the following research aims:

- to evaluate and rank tests and testing methods for assessing structural resistance across several bridge-deck systems;
- to determine and classify the spread and type of deformation across the individual layers in a bridge-deck system;
- to identify deformation-prone layers or materials;
- to describe deformation behavior across bridge-deck systems in accordance with SN 640450.

This research project shows that testing methods originally developed for asphalt concrete systems, such as the cyclic compression test, cannot be easily transferred to bridge-deck systems that consist of mastic asphalt or semi-dense surface courses. In addition, transferring methods intended for testing single layers to bridge-deck systems; that is testing many layers simultaneously, isn't readily possible.

When comparing stability and deformation resistance, as evaluated in the cyclic compression test, those systems with a mastic asphalt waterproof layer perform best, and those systems with three bituminous layers on top of a polymer modified bituminous waterproofing membrane should be avoided. The cyclic compression test results show additionally that semi-dense surface courses, due to their poor stability are not to be favoured over mastic asphalt.

The rutting test, undertaken with the Model Mobile Load Simulator MMLS3, demonstrated that deformation was limited to the surface course, and that variation in material quality between identical nominal mix types was sufficiently large to show that the test is unsuitable for describing bridge-deck systems (including waterproofing). To evaluate bridge-deck system rutting, a 1:1 in situ traffic simulator should be used; such as the Mobile Load Simulator MLS10.

The interlayer bonding test showed excellent bonding for all mastic asphalt layers. The average of the maximum shear force was more than 60kN at a test temperature of 20°C. The bonding property of the semi-dense layer's shear force was lower, between 12kN and 16kN, and should be considered critical in reference to the required value of 15kN from norm SN 640450.

The interlayer bond for all waterproofing layers display maximum shear forces between 8kN and 12kN, whereby no difference between APP- and SBS-modified systems is discernible. In contrast to this, the liquid acrylic glass waterproofing PMMA system displays a high maximum shear force of 55kN. The best value amongst the studied waterproofing layers.

To conclude, semi-dense bridge-deck systems should, due to their poor stability and unfavourable shear values, be limited to special situations, for example where noise abatement measures are required.



# 1 Einleitung

Aus Abdichtungsgründen werden auf Brücken häufig relativ weiche bitumenhaltige Schichten eingebaut und mit klassischen standfesten Schichten kombiniert. Da zudem auf Brücken der Verkehr stark kanalisiert wird und sich wegen der klimatischen Exposition (starke Kälte-Hitze Schwankungen) besonders extreme Verhältnisse ergeben, sind bitumenhaltige Schichten auf Brücken vermehrt der Gefahr von Spurrinnenbildung ausgesetzt. Daraus ergeben sich Risiken bezüglich Sicherheit (Eis, Aquaplaning) und Korrosion der Tragkonstruktion, indem durch Versagen standfester Deck- und Binderschichten auf weichen unteren Schichten die Rissbildung und damit das Eindringen von Wasser zwischen die Schichten (Schichtenverbundproblem) und schließlich durch die Schichten hindurch bis zum Betonuntergrund gefördert werden.

Die Frage der grundsätzlichen Untersuchung der Standfestigkeit des bitumenhaltigen Gesamtaufbaus auf Brücken ist insbesondere auch deshalb besonders dringend, weil Baumaßnahmen auf Brücken rasch zu großen Verkehrsbeeinträchtigungen führen (Stau, Bottle-Neck-Effekt) und infolge neuer Anforderungen an die Multifunktionalität von bitumenhaltigen Schichten auf Brücken (Lärminderung, Nässe- und Eishemmung) auch immer wieder neue Systeme und Produkte verfügbar werden, deren Eignung entsprechend nachgewiesen werden muss.

Leider sind die mechanischen Prüfungen, Kriterien und Anforderungen zur Beurteilung der Eignung des Gesamtsystems heute noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Häufig werden zudem materialspezifisch unterschiedliche Prüfverfahren angewendet, die sich zwar für die Optimierung einzelner Schichtmaterialien eignen (z.B. Stempeleindringversuch bei Mastixasphalt und einachsiger Druckschwellversuch bei Walzasphalt), die jedoch keine Aussagen betreffend Leistungsfähigkeit des Systems in situ zulassen. Die Erfahrung zeigt, dass insbesondere bei Kombination standfester Deckschichten auf stark elastisch bettenden oder stark viskoplastisch verformbaren Schichten das Prüfen einzelner Schichten nicht ausreicht, um mit hinreichender Aussagesicherheit das Verhalten des Gesamtaufbaus abschätzen zu können und realistische Performance-Anforderungen festzulegen. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Die im Initialprojekt-Bericht aufgeführten möglichen Prüfverfahren für die Standfestigkeit von Mehrschichtenprüfkörpern, der Spurbildungstest in verschiedenen Varianten, die statische und dynamische Stempeleindringprüfung, die statische Kriechprüfung mit der Flow Number (analog simple Performance Test in den USA) sowie der einachsige und der triaxiale Druckschwellversuch sind hinsichtlich der Bestimmung der Standfestigkeiten einzelner Schichten, nicht aber für Mehrschichtenprüfkörper, gut beschrieben und müssen daher im Rahmen des Projektes genauer analysiert werden (EN12697-20 bis EN 12697-26) und [1], [2], [3].

## 2 Zielsetzung des Forschungsprojekts

### 2.1 Zielsetzung

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, Prüfungen zur Ermittlung der Standfestigkeit von Belagsaufbauten für Betonbrücken im Sinne eines Eignungsnachweises zu evaluieren und erste Vorschläge für Anforderungswerte zu formulieren. Die Ziele sind im Forschungsantrag wie folgt aufgeführt:

- Evaluation und Einstufung von Prüfungen und Prüfverfahren zur Bewertung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus im Sinne eines Eignungsnachweises (unter Berücksichtigung von Aussagekraft, Prüfdauer und Prüfaufwand).
- Bestimmung und Zuordnung der Verformungsanteile der einzelnen Schichten im Gesamtaufbau.
- Eruierung besonders verformungsempfindlicher Schichten (beziehungsweise Materialien, aus denen sie bestehen) inkl. Begründung ihres Verhaltens.
- Beschreibung des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten im Sinne der Schweizer Norm (SN 640450).
- Formulierung erster Vorschläge für Anforderungswerte (im Sinne eines Eignungsnachweises) für den Gesamtaufbau von Abdichtungssystemen und bitumenhaltigen Schichten auf Betonbrücken aufgrund der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit.

### 2.2 Arbeitsplan nach Absprache in der Begleitkommission

Da es entgegen ursprünglicher Planung nicht möglich war, Prüfkörper aus bestehenden Objekten zu verwenden und die Herstellung von Prüfkörpern im Labor sich ebenfalls als nicht durchführbar erwies, wurde beschlossen, für die Ermittlung der Standfestigkeit insgesamt 8 Prüfplatten mit unterschiedlichen Modellaufbauten nach SN 640450 von der Firma Aeschlimann, AG, Schweiz herstellen zu lassen.

Weiterhin wurde in Absprache mit der Begleitkommission darauf verzichtet, den LCPC Spurbildungstest mit großem Rad durchzuführen. Es wurde beschlossen, den mobilen Verkehrslastsimulator MMLS3 an 4 ausgewählten Modellaufbauten einzusetzen, da dieser durch die unidirektionale Belastung eine realistische Belastung darstellt und grundsätzlich auch im Feld eingesetzt werden kann.

Aufgrund der Prüfkörperabmessung ließ sich auch die ursprünglich geplante triaxiale Druck-Schwellprüfung nicht realisieren.

Dagegen wurde die eigentlich im Forschungsantrag nicht vorgesehene Untersuchung des Schichtenverbunds nach Leutner mit in die Untersuchung der Standfestigkeit einbezogen, da fehlender Schichtenverbund das horizontale Verschieben einer nachgebenden Schicht erlaubt wodurch die Standfestigkeit des Aufbaus reduziert werden kann.

Im Einzelnen waren die folgenden Arbeitsschritte vorgesehen:

- Festlegung der Materialien und der 8 Aufbauten in Absprache mit der Begleitkommission.
- Herstellung und Transport der 8 Modellaufbauten (Firma Aeschlimann, AG).
- Auswahl von 4 Modellaufbauten und Spurrinnenprüfung mit dem mobilen Verkehrslastsimulator MMLS3 (Doppelbestimmung pro Aufbau).
- Ausmessen der Schichtdicken zwecks Ermittlung des Verformungsbeitrags der einzelnen Schichten.
- Entnahme von Bohrkernen und Durchführen der Prüfung des Schichtenverbundes nach Leutner an allen 8 Modellaufbauten. Im Fall der 4 mit MMLS3 geprüften Modellaufbauten: Vergleich des Schichtenverbundes innerhalb und außerhalb der Radspur, d.h. des überrollten Bereichs.

- Entnahme von Bohrkernen und Durchführen der Druckschwellprüfung an allen 8 Modellaufbauten.
- Auswertung der Validierungsprüfungen und Gesamtinterpretation der Ergebnisse: D.h. Evaluation und Einstufung von Prüfungen und Prüfverfahren zur Bewertung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus im Sinne eines Eignungsnachweises (unter Berücksichtigung von Aussagekraft, Prüfdauer und Prüfaufwand).
- Beschreibung des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten im Sinne der SN 640450, sowie Erarbeitung von Vorschlägen für Anforderungswerte.
- Erstellen des Schlussberichts: Zusammenfassung und Diskussion aller Ergebnisse und Beantwortung der im Projekt behandelten Fragestellungen gemäß Zielsetzung.

## 3 Stand der Forschung

### 3.1 Allgemeines

Der Stand der Forschung betreffend Abdichtungssysteme und bitumenhaltiger Decken auf Betonbrücken, namentlich auch zur Problematik der Eignungsprüfungen zum Nachweis der Standfestigkeit, bzw. der bleibenden Deformationen, sowie zum Festlegen von Anforderungen wurde im Initialprojekt für die Rahmenausschreibung des Forschungspaketes skizziert. Es wurde zutreffend festgestellt, dass es zwar eine reichhaltige Literatur zum Thema Spurbildung und permanente Deformation gibt (siehe z.B. Übersicht in [1], [3], [4] und [5]), dass aber nur wenig spezifische Literatur existiert, die sich, soweit erkennbar, auf Gussasphalt [6], [7] oder konkret auf die Standfestigkeit bitumenhaltiger Schichten auf Brücken bezieht [8], [9].

Aufgrund der Tatsache, dass die meisten in Frage kommenden Prüfverfahren nicht für Mehrschichtenprüfkörper validiert sind, wird es nach Auffassung der Forschungsstelle erforderlich sein, wenigstens einige ausgesuchte Validierungstests an Modellprüfkörpern durchzuführen. Hierzu eignen sich Modell-Verkehrssimulatoren, namentlich die an der Empa vorhandene und für Fahrbahnübergänge EOTA kompatible MMLS3 [10]. Diese Untersuchungen an Modellprüfkörpern ersetzen in situ Großversuche unter effektiven Verkehrsbedingungen oder beschleunigten Belagstestern nicht [11], können aber zur Validierung und zum Vergleich der Versuchsergebnisse dieser Prüfverfahren dienen und insbesondere dazu beitragen, Fehlschlüsse aufgrund mehrschichtiger Minisysteme zu vermeiden.

## 4 Material

### 4.1 Allgemeines

Da es entgegen ursprünglicher Planung nicht möglich war, Prüfkörper aus bestehenden Objekten zu verwenden und die Herstellung von Prüfkörpern im Labor sich ebenfalls als nicht praktikabel erwies, wurde beschlossen, für die Ermittlung der Standfestigkeit Prüfplatten mit unterschiedlichen Modellaufbauten nach SN 640450 [12] herstellen zu lassen. Die von der Firma Aeschlimann gelieferten Materialangaben finden sich im Anhang.

### 4.2 Prüfplatten mit Modellaufbauten nach SN 640450

Im Rahmen des Projekts wurden von der Firma Aeschlimann, AG insgesamt 8 Musterplatten mit Modellaufbauten nach Schweizer Norm SN 640450 [12] auf Betonplatten mit den Abmessungen 2600 mm x 1600 mm hergestellt. Genaue Angaben zu Herstellung und Aufbau sind in Tabellen 4.1 und 4.2 enthalten. Tabelle 4.3 zeigt eine Übersicht über die gewählten Systeme.

Tab. 4.1 Aufbau und Herstellung der Platten 1 bis 4

	Platte 1	Platte 2	Platte 3	Platte 4
<b>Absplittung</b>	3/6er Splitt, vorumhüllt, gewärmt; vollflächig abgesplittet	3/6er Splitt, vorumhüllt und gewärmt; vollflächig abgesplittet	-	3/6er Splitt, vorumhüllt, gewärmt; vollflächig abgesplittet
<b>Deckschicht</b>	MA11TS, 38mm	MA11TS, 38mm	MR8, 30mm	MA8TS, 30mm
<b>Binderschicht</b>	-	-	MA11S, 37mm, Oberfl. sehr leicht mit 3/6er Splitt, vorumhüllt, abgesplittet	MA11S, 37mm Oberfl. sehr leicht mit 3/6er Splitt, vorumhüllt, abgesplittet
<b>Schutzschicht</b>	MA16S, 47mm	MA16S, 47mm	MA16S, 47mm	MA16S, 47mm
<b>Abdichtung</b>	PBD-Bahn, Typ APP; in Plattenmitte mit 3-facher Überlappung	PBD-Bahn, Typ SBS; in Plattenmitte mit 3-facher Überlappung	PBD-Bahn, Typ SBS; in Plattenmitte mit 3-facher Überlappung	PBD-Bahn, Typ SBS; in Plattenmitte mit 3-facher Überlappung
<b>Grundierung/ Trennlage</b>	Epoxidversiegelung, bestehend aus 2 Schichten Epoxid; Quarzsand zur Abstreuerung der Grundierung nach Standard Hersteller	Epoxidversiegelung, bestehend aus 2 Schichten Epoxid; Quarzsand zur Abstreuerung der Grundierung nach Standard Hersteller	Epoxidversiegelung, bestehend aus 2 Schichten Epoxid; Quarzsand zur Abstreuerung der Grundierung nach Standard Hersteller	Epoxidversiegelung, bestehend aus 2 Schichten Epoxid; Quarzsand zur Abstreuerung der Grundierung nach Standard Hersteller
<b>Untergrund Vorbereitung</b>	Sandstrahlen	Sandstrahlen	Sandstrahlen	Sandstrahlen
<b>Untergrund Feinreinigung</b>	Reinigen mit Besen oder Abblasen der Rückstände, die die Haftung beeinträchtigen	Reinigen mit Besen oder Abblasen der Rückstände, die die Haftung beeinträchtigen	Reinigen mit Besen oder Abblasen der Rückstände, die die Haftung beeinträchtigen	Reinigen mit Besen oder Abblasen der Rückstände, die die Haftung beeinträchtigen

Tab. 4.2 Aufbau und Herstellung der Platten 5 bis 8

	Platte 5	Platte 6	Platte 7	Platte 8
<b>Absplittung</b>	3/6er Splitt, vorumhüllt und gewärmt; vollflächig abgesplittet	3/6er Splitt, vorumhüllt und gewärmt; vollflächig abgesplittet	3/6er Splitt, vorumhüllt und gewärmt; vollflächig abgesplittet	-
<b>Deckschicht</b>	MA11TS, 38mm	MA11TS, 38mm	MA8TS, 30mm	MR8, 30mm
<b>Binderschicht</b>	-	-	-	-
<b>Schutzschicht</b>	MA16S, 47mm, sehr leichte Absplittung mit vorumhülltem Splitt 3/6,	MA16S, 47mm, sehr leichte Absplittung mit vorumhülltem Splitt 3/6,	MA11S, 38mm, sehr leichte Absplittung mit vorumhülltem Splitt 3/6,	MA11S, 38mm, sehr leichte Absplittung mit vorumhülltem Splitt 3/6,
<b>Verbindungs-schicht</b>	Gem. Hersteller; Applikation durch Hersteller	Gem. Hersteller; Applikation durch Hersteller	-	-
<b>Abdichtung</b>	FLK – PU; Lieferung und Applikation durch Hersteller	FLK-PMMA: Abdichtung, 2-lagig. Lieferung und Applikationsunterstützung durch Hersteller	MA8TS, 28mm	MA8TS, 28mm
<b>Grundierung/Trennlage</b>	Epoxidgrundierung, abgestreut nach Angabe Hersteller	FLK-PMMA,	Ölpapier 50g/m <sup>2</sup>	Ölpapier 50g/m <sup>2</sup>
<b>Untergrund Vorbereitung</b>	Sandstrahlen	Sandstrahlen	-	-
<b>Untergrund Feinreinigung</b>	Reinigen mit Besen oder Abblasen, ohne Rückstände, die die Haftung beeinträchtigen	Reinigen mit Besen oder Abblasen, ohne Rückstände, die die Haftung beeinträchtigen	Reinigen mit Besen oder Abblasen	Reinigen mit Besen oder Abblasen

Tab. 4.3 Übersicht über die Platten (Systeme)

Platte Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Deckschicht</b>	MA11	MA11	MR8	MA8	MA11	MA11	MA8	MR8
<b>Binderschicht</b>	-	-	MA11	MA11	-	-	-	-
<b>Schutzschicht</b>	MA16	MA16	MA16	MA16	MA16	MA16	MA 11	MA11
<b>Abdichtung</b>	PBD APP	PBD SBS	PBD SBS	PBD SBS	FLK PU	FLK PMMA	MA 8	MA 8

### 4.3 Prüfprogramm

Tabelle 4.4 zeigt das Prüfprogramm für die einzelnen Materialien und Systemaufbauten wie sie für die verschiedenen Musterplatten verwendet wurden. Im folgenden wird daher synonym von Platten oder Systemen gesprochen.

*Tab. 4.4 Prüfprogramm für die verschiedenen Platten bzw. Systeme*

Prüfung	Plattenummer							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>MMLS3</b>	x	x			x	x		
<b>Stempeleindringtiefe</b>	x	x			x	x		
<b>Schichtenverbund</b>	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>Druckschwellversuch</b>	x	x	x	x	x	x	x	x

## 5 Spurbildungsprüfung mit dem Verkehrslast-simulator MMLS3 (Widerstand gegen plastische Verformungen)

### 5.1 Allgemeines

Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, wurde in Absprache mit der Begleitkommission darauf verzichtet, den Spurbildungstest mit dem LCPC Spurbildungstester mit großem Rad durchzuführen und stattdessen wurde der mobile Verkehrslastsimulator MMLS3 eingesetzt, wobei insgesamt 4 Modellaufbauten auf diese Art geprüft wurden. Die Auswahl der Modellaufbauten erfolgte unter der Fragestellung, den Einfluss der verschiedenen Abdichtungssysteme auf den Widerstand gegen bleibende Deformationen zu ermitteln.

### 5.2 Model Mobile Load Simulator MMLS3

Der mobile Verkehrssimulator MMLS3 (Model Mobil Load Simulator) im Labormaßstab 1:3 (Abbildung 5.1) ist ein Gerät zur beschleunigten Untersuchung des Belagsverhaltens von Straßenbelägen (Accelerated Pavement Testing device, APT), das von Prof. Hugo (Stellenbosch, Südafrika) entwickelt wurde [10], [13].

Seine Beanspruchung wird von vier Einzelrädern aufgebracht. Diese Räder sind mit einem Durchmesser von 300 mm kleiner als herkömmliche Lastwagenreifen. Die Maschine ist 2.4 m lang, 0.6 m breit, besitzt eine Höhe von 1.2 m und ermöglicht das Aufbringen von ca. 7'200 Lastwechseln pro Stunde. Jedes der Räder bringt dabei eine Last von bis zu 2.7 kN auf, wobei der Reifendruck 800 kPa beträgt. Der Abstand zwischen den Rädern beläuft sich auf 1.05 m und die MMLS3 ist für eine Geschwindigkeit von 2.1 m/s ausgelegt, was einer Belastungsfrequenz von ca. 2 Hz für eine gemessene Profillänge von 0.11 m entspricht (siehe auch Systemskizze in Abbildung 5.2).

Die Maschine kann zur beschleunigten Prüfung in situ und im Labor eingesetzt werden, wobei die mechanischen Eigenschaften unter einer Radlast und insbesondere der Widerstand gegen bleibende Verformungen von Deckschichten bestimmt werden kann [13].



Abb. 5.1 Mobiler Verkehrssimulator MMLS3 im Labormaßstab 1:3

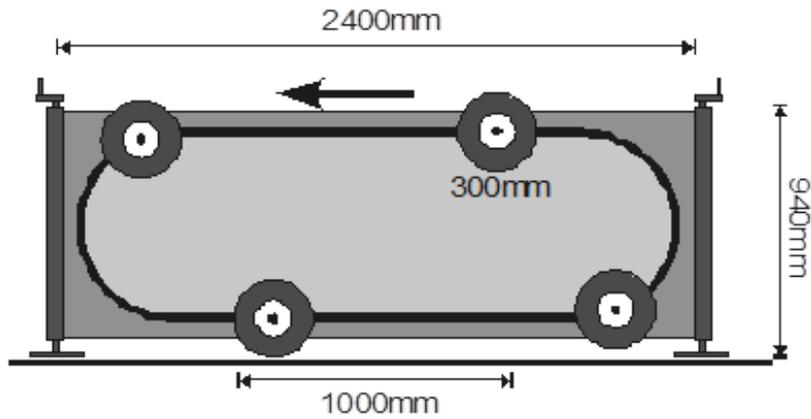


Abb. 5.2 Funktionsweise der MMLS3, schematische Darstellung

### 5.3 Prüfaufbau

Die Prüfung mit dem mobilen Verkehrssimulator MMLS3 im Labormaßstab wurde an den Modellaufbauten 1, 2, 5 und 6 durchgeführt, um den Einfluss der unterschiedlichen Abdichtungssysteme (PBD APP, PBD SBS, FLK PU und FKL PMMA) auf den Widerstand gegen bleibende Verformungen zu untersuchen. Pro Prüfaufbau wurden dabei 2 Spurrinnenlängsprofile (Doppelbestimmung) mit einer maximalen Überrollung von 500'000 Zyklen ermittelt. Pro Spurrinnenprofil wurden in der Längsrichtung dabei 3 Querprofile (in der Mitte und in den 1/3-Punkten) ausgemessen.

Die Modellplatten wurden in einem Container mit offener Rückwand vor einem Ofen installiert, so dass eine Prüftemperatur von 40°C eingehalten werden konnte (siehe Abbildungen 5.3 und 5.4).



Abb. 5.3 Prüfaufbau: Musterplatten mit Verkehrslastsimulator MMLS3



Abb. 5.4 Container dient der Temperierung während der Prüfung mit MMLS3

## 5.4 Auswertung der Spurbildungsprüfung

Abbildung 5.5 zeigt eine Platte nach der Belastung mit dem mobilen Verkehrssimulator MMLS3. Zur Bestimmung eines Mittelwertes der maximalen Spurrinnentiefe pro Platte wurden in einem ersten Schritt, die Werte aus 3 Querprofilmessungen für jedes Längsprofil (hier E und F) gemittelt. Abbildung 5.6 zeigt beispielhaft ein solches Querprofil mit Spurrinnentiefen für unterschiedliche Belastungszyklen (maximalen 500'000 Zyklen). Anschließend wurde für jedes Profil die Spurrinnentiefe in Abhängigkeit der Anzahl Belastungszyklen aufgezeichnet. Zuletzt wurden die Kurven für beide Spurrinnenlängsprofile gemittelt. Außerdem wurde für die gemittelte Kurve eine Trendlinie bestimmt und die rechnerische Spurrinnentiefe für 1'000'000 Belastungszyklen berechnet.

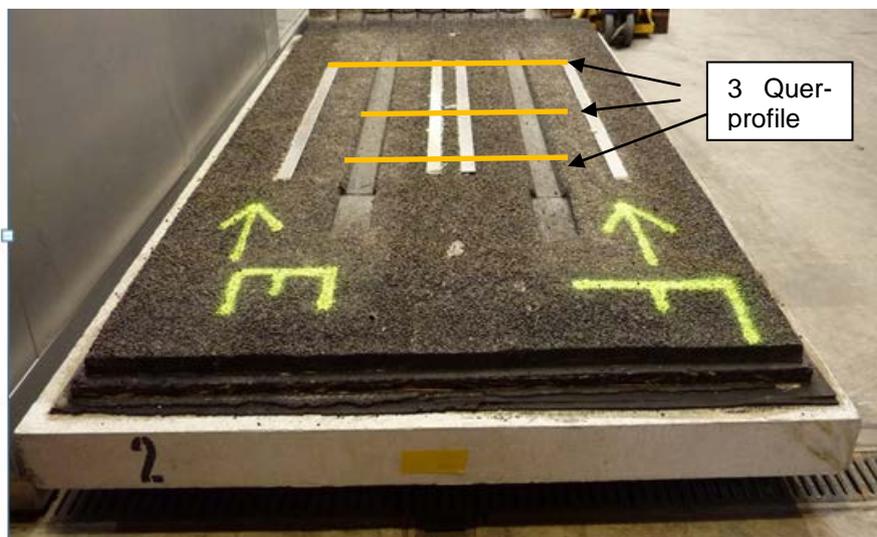


Abb. 5.5 Platte 2 nach der Beanspruchung mit Verkehrslastsimulator MMLS3 (500000 Zyklen), gelbe Linie zeigen die Lage der Messprofile in Querrichtung, E und F sind Längsprofile

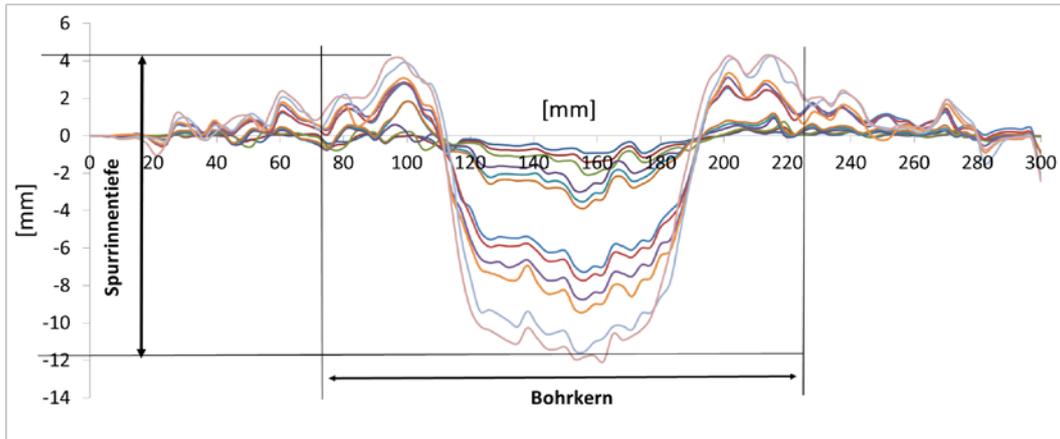


Abb. 5.6 Beispiel: Spurrinnenprofil in einem Messprofilquerschnitt nach der Beanspruchung mit Verkehrslastsimulator MMLS3

## 5.5 Ergebnisse der Spurbildungsprüfung

Abbildungen 5.7 bis 5.10 zeigen die Kurven der Spurrinentiefe in Funktion der Belastungszyklen getrennt für je zwei Längsprofile pro Platte sowie die Trendlinie der gemittelte Kurve der beiden Längsprofile inkl. deren Regressionsfunktion und dem Bestimmtheitsmaß  $R^2$ . In Abbildung 5.11 sind die Trendlinien der mittleren Kurven für alle Platten dargestellt. Tabelle 5.1 enthält, die gemessene Spurrinentiefe nach 500'000 Belastungszyklen (gemittelter Wert) und die für 1'000'000 Belastungszyklen berechneten Werte.

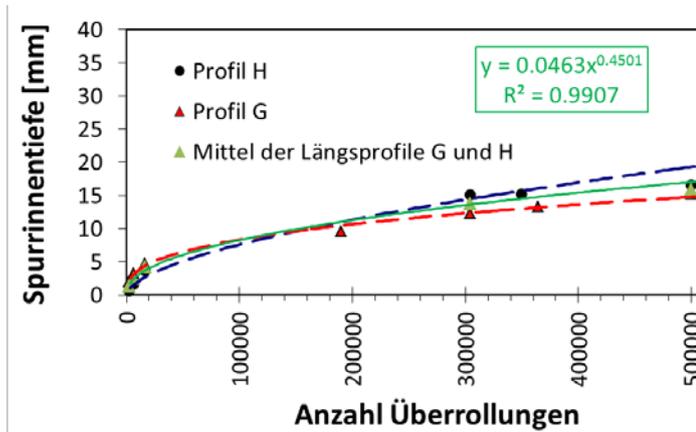


Abb. 5.7 Auswertung der Spurrinentiefe der Platte 1

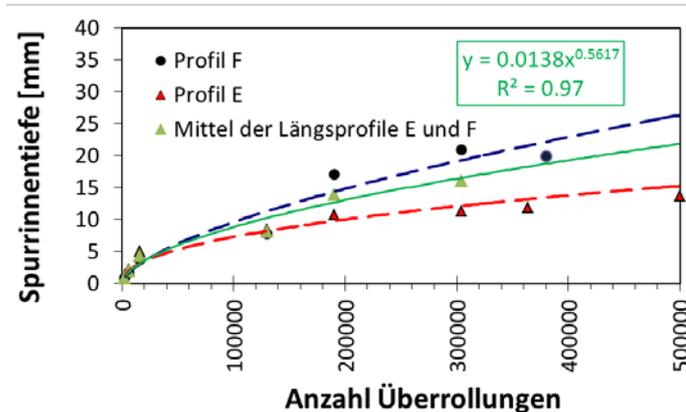


Abb. 5.8 Auswertung der Spurrinentiefe der Platte 2

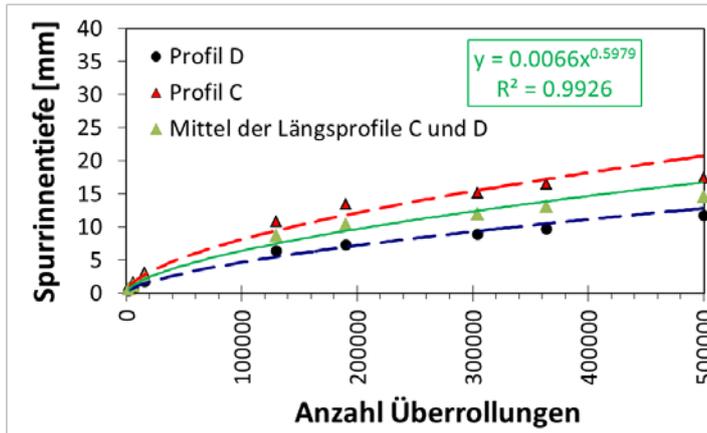


Abb. 5.9 Auswertung der Spurrinnentiefe der Platte 5

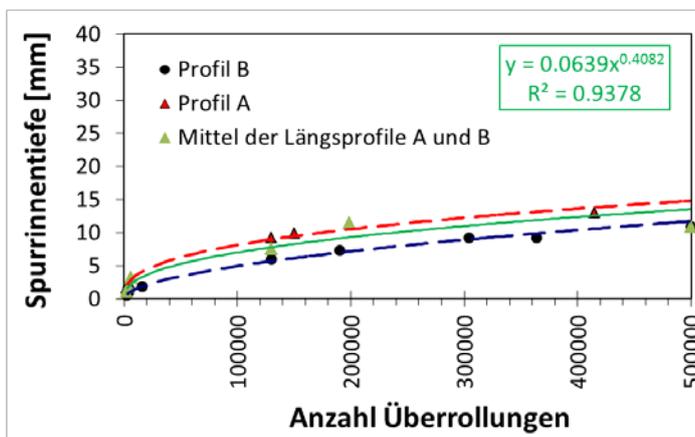


Abb. 5.10 Auswertung der Spurrinnentiefe der Platte 6

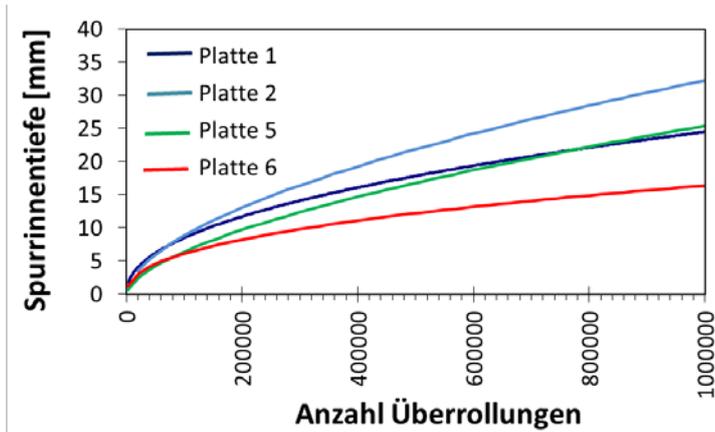


Abb. 5.11 Auswertung der Spurrinnentiefen aller Platten (mittlere Kurven der einzelnen Platten)

Tab. 5.1 Spurrinntiefe in Abhängigkeit der Belastungszyklen

Spurrinntiefe [mm]	Platte 1	Platte 2	Platte 5	Platte 6
500'000 Zyklen	15.9	13.7 (Profil E)	14.6	10.9
		> 20 (Profil F)		
1'000'000 Zyklen	24.5*	32.4*	25.5*	18.0*

\* berechnet

Wie aus Tabelle 5.1 hervorgeht, zeigt das System 6 die geringste Spurrinntiefe und damit den größten Widerstand gegen plastische Verformungen und System 2 die größte Spurrinntiefe. Die anderen Systeme verhalten sich relativ ähnlich. Insgesamt muss jedoch festgehalten werden, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Platten und innerhalb einer Platte (System 2 mit den größten Verformungen zeigt deutliche Unterschiede zwischen den beiden Spurrinnenprofilen, siehe Tabelle 5.1) etwa gleich groß sind, so dass hier von einer Variation durch die Materialqualität ausgegangen werden muss.

Abbildung 5.12 zeigt die Entnahme von Bohrkernen zur Schichtdickenermittlung aus den geprüften Platten 1, 2, 5 und 6 außerhalb und innerhalb der MMLS3 Spur.



Abb. 5.12 Prüfkörperentnahme innerhalb und außerhalb der Spurrinnen

Die Schichtdicken wurden an jeweils 6 Bohrkernen ermittelt und gemittelt. Für die in der MMLS3-Belastungsspur entnommenen Bohrkern wurden die Schichtdicken, wie in Abbildung 5.13 schematisch gezeigt, auf zwei Seiten des Bohrkerns an den Rändern (links und rechts) sowie in der Mitte bestimmt und gemittelt.

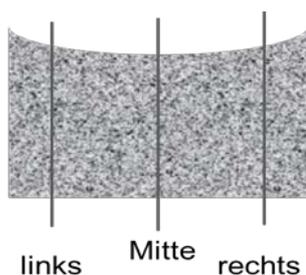


Abb. 5.13 Schichtdickenbestimmung an belastetem Bohrkern (schematisch)

Die Schichtdicken zur Ermittlung der Verformungsanteile der einzelnen Schichten sind in Tabelle 5.2 dargestellt. Abbildung 5.13 zeigt die Schichtdickenänderung der einzelnen Schichten.

Abb. 5.2 Schichtdickenermittlung vor und nach MMLS3 Belastung

Schichtdicke [mm]	Deckschicht Spurrinne/außerhalb	Schutzschicht Spurrinne/außerhalb	Abdichtung Spurrinne/außerhalb
Platte 1	33/36.5	32/33	5/5
Platte 2	28/36	35/36	3.5/4
Platte 5	27/34	33/33	5/5
Platte 6	31/34.5	36/36	3/3

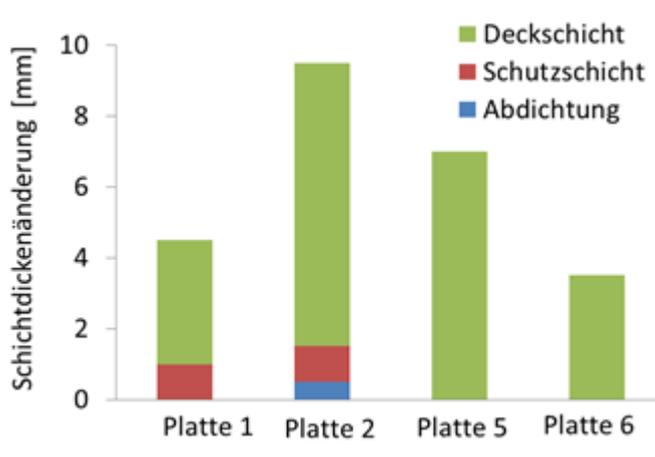


Abb. 5.14 Schichtdickenänderungen der einzelnen Schichten durch MMLS3 Belastung

Die in Abbildung 5.14 dargestellte Schichtdickenänderung verdeutlicht, dass die Verformung hauptsächlich in der Deckschicht stattfindet, d.h. dass sich dort die größten Verformungsanteile finden. Teilweise (bei Platten 1 und 2) findet in geringen Maße auch eine Verformung der Schutzschicht statt, die bei Platte 2 auch auf die Abdichtung betrifft, wobei aufgrund der geringen Schichtdicke der Abdichtung, diese Änderung im Bereich der Messgenauigkeit liegt und daher vernachlässigbar ist. Die Ergebnisse des Spurbildungstest mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 zeigen, dass die Verformungen sich auf die oberen Schichten beschränken und sich praktisch nicht auf die Abdichtung auswirken. Nur im Fall der relativ weichen PBD SBS (System) kann vermutet werden, dass es zu einer leichten Verformung führen könnte. Insgesamt zeigt aber das System 2, die höchsten Spurrinntiefen bei gleichem Deck- und Schutzschichtaufbau aus Gussasphalt wie die anderen Systeme (Systeme 1, 5 und 6). Es muss also von Materialunterschieden in diesen Gussasphaltschichten ausgegangen werden.

Aufgrund der Feststellung, dass die Verformung im Spurbildungstest mit dem Modell-Verkehrslastsimulator MMLS3 auf die Deckschicht beschränkt bleibt, sollten zur Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformungen von Brückenabdichtungssystemen vorzugsweise in situ Verkehrslastsimulatoren wie der Mobile Load Simulator MLS10 eingesetzt werden. Für Laboruntersuchungen mit MMLS3 oder ähnlichen Geräten sollten die Schichtdicken der Systeme reduziert werden, um das Verhalten des Gesamtsystems beurteilen zu können.

## 6 Dynamischer Stempeleindringversuch nach deutscher Prüfvorschrift (Widerstand gegen plastische Verformung bzw. Kontrolle der Gussasphalthärte)

### 6.1 Prüfung der dynamischen Stempeleindringtiefe

Auf Anregung der Gesamtprojektleitung wurde die dynamische Stempeleindringtiefe an den jeweiligen Gesamtaufbauten der untersuchten Systeme 1, 2, 5 und 6 ermittelt, um Hinweise auf allfällige Qualitätsunterschiede in den Gussasphaltschichten der einzelnen Platten zu erhalten bzw. die Vermutung von Qualitätsunterschieden zu erhärten. Hierzu wurden Bohrkern (Durchmesser 150 mm) entnommen, von denen der Beton und die Abdichtungen entfernt wurden.

Die Prüfung der dynamischen Stempeleindringtiefe erfolgte dann wie in den Schweizer Normen SN 640441b-NA [14] und SN 640431-20b NA [22] beschrieben nach der Europäischen Norm EN 13108-20 [15] bzw. nach der in Deutschland gültigen Technischen Prüfvorschrift für Asphalt TP Asphalt-StB Teil 25 A1 (TP A-StB, Teil 25, A1) [16] an je zwei Prüfkörpern. Diese Prüfvorschrift weicht bei der Größe des Prüfstempels einerseits und im Hinblick auf die Belastungsfunktion andererseits von den Angaben in der EN 13108-25 [19] ab. Nach der Prüfvorschrift wird ein zylindrischer Prüfkörper (Durchmesser 150 mm) mit ebener Grundfläche über einen mittig aufgesetzten Stempel mit einem Durchmesser von ca. 56 mm einer Druckschwellbeanspruchung ausgesetzt, (siehe Abbildung 6.1). Die Impulsbelastung setzt sich aus einer Abfolge von Lastimpulsen und Lastpausen entsprechend der TP A-StB Teil: „Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme“ [20] zusammen (vgl. Abbildung 6.2). Die Oberspannung  $\sigma_o$  ist auf 0.35 MPa und die Unterspannung  $\sigma_u$  auf 0.08 MPa festgelegt. Aus der wiederholten Belastung wird die Stempeleindringtiefe unter dem Stempel in Abhängigkeit von der Anzahl der Lastwechsel bei einer Prüftemperatur von 50°C registriert. Als Ergebnis des dynamischen Stempeleindringversuches wird nach der deutschen Prüfvorschrift (ähnlich wie nach Schweizer Norm, wo zusätzlich noch die Zunahme der Eindringtiefe zwischen 2500 und 5000 Zyklen ermittelt wird) die Stempeleindringtiefe nach 2'500 Lastwechseln herangezogen, sofern die gemessene Eindringtiefe unterhalb des Abbruchkriteriums von 5 mm liegt. Nach Norm wurden pro Platte 2 Bohrkern entnommen und geprüft. Die Höhe der Prüfkörper lag zwischen ca. 54 mm und 64 mm.



Abb. 6.1 Prüfvorrichtung Stempeleindringversuch nach (TP A-StB, Teil 25, A1)

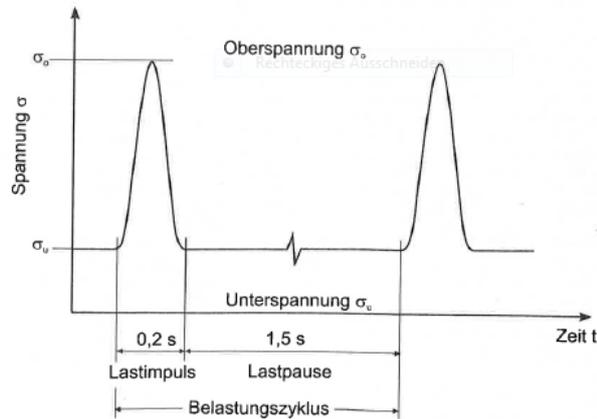


Abb. 6.2°Prinzip des Spannungsverlaufs während einer Impulsbelastung (nach [16])

## 6.2 Ergebnisse der dynamischen Stempelleindringtiefe

Abbildung 6.3 zeigt die Ergebnisse des dynamischen Stempelleindringversuchs, wobei alle Einzelwerte dargestellt sind. In Abbildung 6.4 ist dagegen der aus den Kriechkurven jeweils zweier Prüfkörpern berechnete Mittelwert dargestellt. In Abbildung 6.5 wurde der Mittelwert der Systeme 1 und 2 sowie System 5 und 6 gebildet, bei denen es sich jeweils um das gleiche System (gleicher Schichtaufbau und Material) handelt.

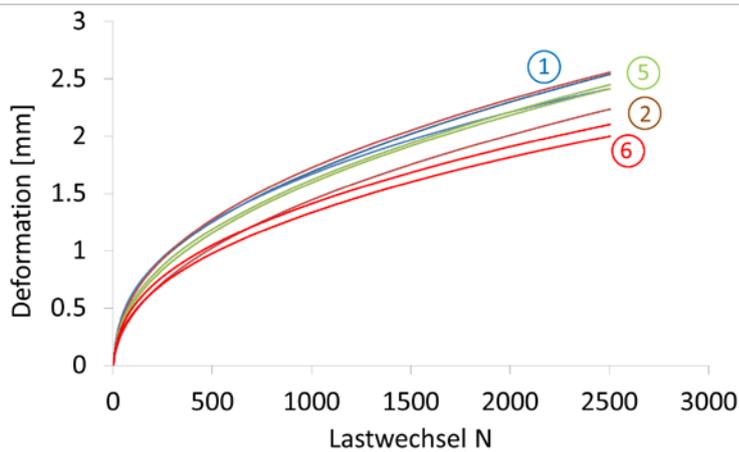


Abb. 6.3 Prozentuale Deformationen der Platten 1, 2, 5 und 6 (Einzelwerte)

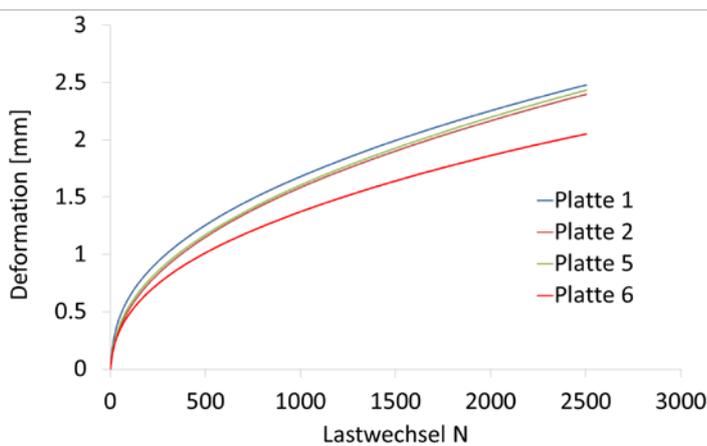


Abb. 6.4 Prozentuale Deformationen der Platten 1, 2, 5 und 6 (Mittelwert aus je 2 Prüfkörpern)

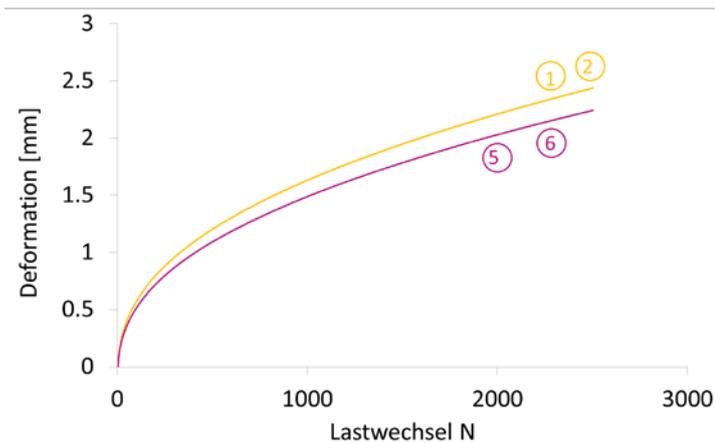


Abb. 6.5 Prozentuale Deformationen der Platten 1, 2, 5 und 6 (Mittelwerte Platte 1 und 2 sowie Platte 5 und 6)

Aus den ermittelten Kriechkurven zeigt sich, dass die Eindringtiefen aller Platten zwischen 2.0 mm und 2.5 mm liegen, womit die Anforderungen der Schweizer Norm mit max. 3 mm für Mischgut der Typs S erfüllt sind. Anhand der Kriechkurven des dynamischen Stempeleindringversuches sind Systeme 1 und 2 allerdings etwas schwächer als die Systeme 5 und 6. Insgesamt ist System 6 am steifsten, gefolgt von System 2, System 5 und System 1, wobei die Einzelwerte des Systems 2 relativ unterschiedlich sind, ein Ergebnis, das die im Spurbildungstest gefundenen Unterschiede bestätigt und die Schwankungen in der Materialqualität zeigt.

Abbildung 6.6 zeigt einzelne Prüfkörper nach dem dynamischen Stempeleindringversuch. Die Verformung der Prüfkörper ist hier vor allem in einem Eindruck unter dem Prüfstempel sichtbar.

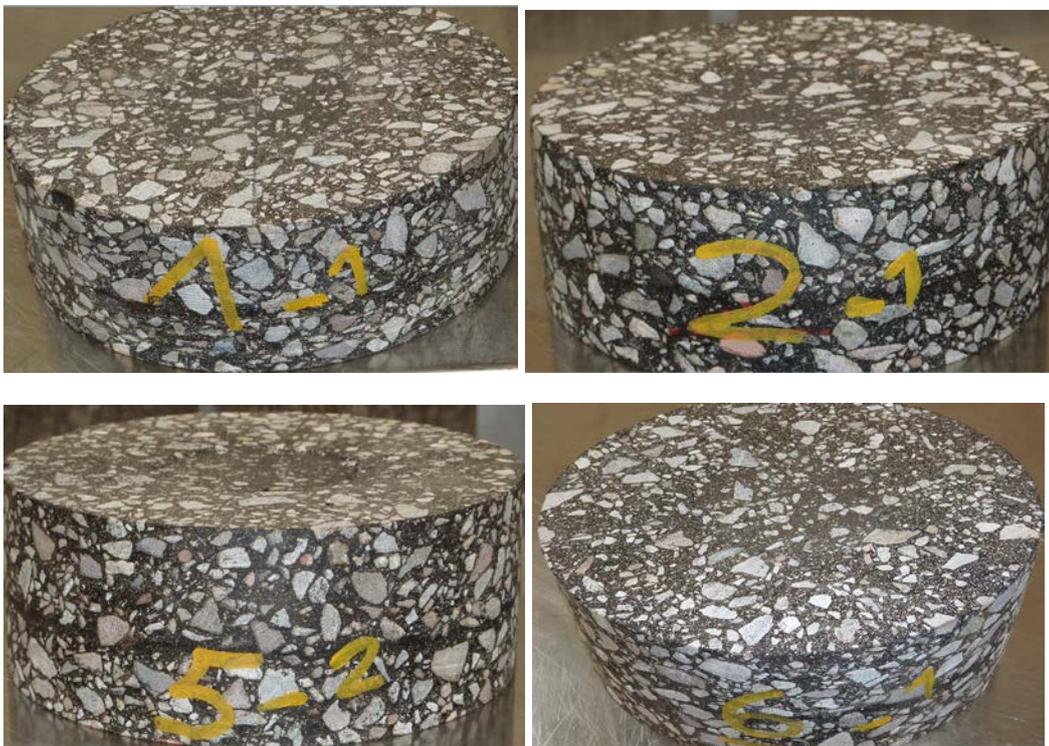


Abb. 6.6 Prüfkörper aus Platten 1, 2, 5 und 6 nach dem Stempeleindringversuch

Tabelle 6.1 und Abbildung 6.7 zeigen die Ergebnisse der Schichtdickenmessung. Die Schichtdicken wurden an jeweils 2 Prüfkörpern der untersuchten Prüfplatten 1, 2, 5 und 6 vor und nach dem dynamischen Stempeleindringversuch bestimmt und gemittelt. Um die Verformungsanteile der einzelnen Schichten bestimmen zu können, wurden die Prüfkörper nach der Prüfung in der Mitte (unter dem Stempeleindruck) auseinandergeschnitten. Abbildung 6.8 zeigt beispielhaft die halbierten Prüfkörper 2\_1 und 5\_2.

Tab. 6.1 Schichtdickenermittlung vor und nach Druck-Schwellversuch Platten 1-4

Schichtdicke [mm]	Deckschicht vor/nach	Schutzschicht vor/nach
1_1	32.4/30.5	21.3/21.3
1_2	29.0/27.9	27.0/27.0
<b>Mittelwert</b>	<b>30.7/29.2</b>	<b>24.2/24.2</b>
2_1	36.0/33.6	23.7/23.7
2_2	39.0/36.7	21.0/21.0
<b>Mittelwert</b>	<b>37.5/35.2</b>	<b>22.4/22.4</b>
5_1	30.0/27.7	27.0/27.0
5_2	35.5/33.4	21.5/21.5
<b>Mittelwert</b>	<b>32.8/30.6</b>	<b>24.3/24.3</b>
6_1	34.5/32.4	30.0/30.0
6_2	30.0/29.3	33.2/33.2
<b>Mittelwert</b>	<b>32.3/30.9</b>	<b>31.6/31.6</b>

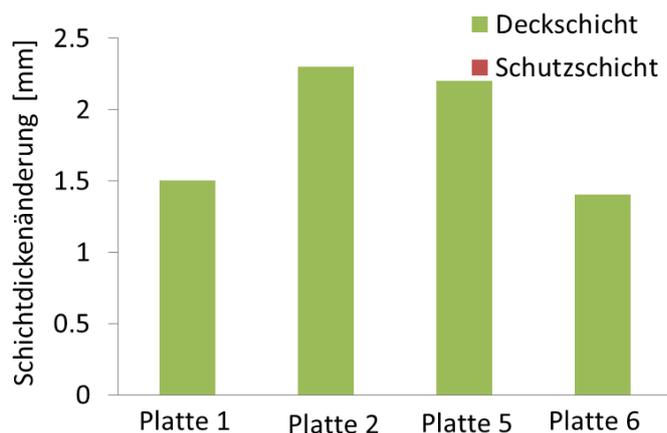


Abb. 6.7 Schichtdickenänderung nach dem Stempeleindringversuch



Abb. 6.8 Prüfkörper PK 2\_1 und 5\_2 nach dem Stempeleindringversuch

Die in Tabelle 6.1 aufgeführten Schichtdickenmessungen bestätigen, die optischen Feststellungen an den Prüfkörpern, nach der die Verformung am Prüfkörper in einem Eindruck unter dem Prüfstempel zu finden ist. Die Schichtdickenmessungen an den halbierten Prüfkörpern zeigen weiterhin, dass die Verformung auf die Deckschicht beschränkt bleibt (vergleiche Abbildung 6.7). Im Vergleich zum Spurbildungstest, bei der die Reihenfolge der Systeme wie folgt lautet: Spurrinntiefe System 6 < System 5 < System 1 < System 2, kommt es im dynamischen Stempeleindringversuch zu einer Umordnung zwischen System 1 und System 5. Auch hier ist aber die Eindringtiefe des Systems 6 am kleinsten (allerdings vergleichbar mit System 1) und diejenige des Systems 2 am größten. Wie im Spurbildungstest wurde bei System 2 eine große Abweichung zwischen den beiden Messwerten festgestellt, was auf eine grundlegende Inhomogenität des Materials von System 2 hindeutet. Die Ergebnisse des Stempeleindringversuchs bestätigen damit die Vermutung von Qualitätsunterschiede in den Gussasphaltschichten.

## 7 Prüfung des Schichtenverbunds

### 7.1 Allgemeines

Nach Abschluss der Spurbildungsprüfung mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 wurden aus allen acht Platten Bohrkerne  $\varnothing$  150 mm zur Bestimmung des Schichtenverbunds nach Leutner entnommen. Im Fall der mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 geprüften Platten erfolgte die Entnahme sowohl innerhalb als auch außerhalb des geprüften Bereichs (Radspur MMLS3). Hier wurden in jedem Profil 3 Bohrkerne entnommen und je 3 Bohrkerne außerhalb der Profile (siehe auch Abbildung 5.12). Aus allen nicht mit der MMLS3 geprüften Platten wurden 6 Bohrkerne entnommen.

### 7.2 Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner

Zur Durchführung der Prüfungen die direkte Scherprüfung nach Leutner [17] wurde die von der EMPA modifizierte Schereinrichtung verwendet. Die modifizierte EMPA-Prüfeinrichtung LPDS ist in eine servohydraulische Prüfmaschine integrierbar und erlaubt die Prüfung von Bohrkernen mit einem Durchmesser zwischen  $d = 148$  mm und 156 mm, wobei die beiden u-förmigen Scherbackeneinsätze dem Bohrkerndurchmesser im Millimeterabstand angepasst werden können (vgl. Abbildung 7.1).

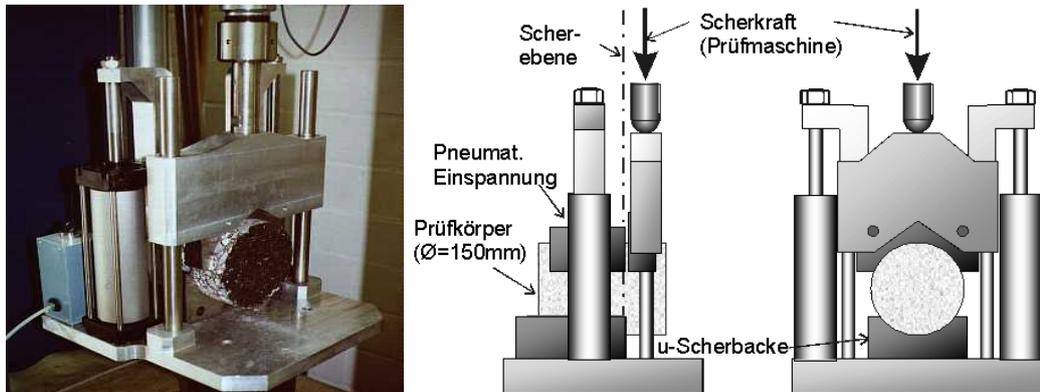


Abb. 7.1 EMPA-Prüfeinrichtung LPDS für die Prüfung des Schichtenverbunds nach Leutner (nach [19])

Wie aus Abbildung 7.1 und den in [18] dargestellten Konstruktionsskizzen ersichtlich, liegt bei der Prüfung das eine Ende des Bohrkerns bis zur gewählten Scherebene auf einer u-förmigen Auflagefläche und wird von einer pneumatischen Einspannvorrichtung mit definiertem Druck angepresst, während das andere Ende des Prüfkörpers nicht gehalten wird. Die Scherkraft wird vom Kolben über den an einem Joch befestigten Scherbackeneinsatz weggesteuert mit einer Geschwindigkeit von 50 mm/min in die Scherebene eingeleitet. Dabei wird der Prüfkörper bis zum Bruch belastet. Eine Normalkraft in Achsrichtung des Prüfkörpers wird nicht aufgebracht. Der Durchmesser der Prüfkörper betrug 150 mm, die Prüftemperatur 20°C. Die Abscherprüfung erfolgte in Belastungsrichtung der MMLS3. Ermittelt wurden die maximale Scherkraft und der Scherweg. Berechnet wurde die auf die Ausgangsfläche bezogene Schubspannung sowie die der maximalen Steigung entsprechende Schubsteifigkeit.

### 7.3 Ergebnisse der Prüfung des Schichtenverbunds

Tabelle 7.1 und Abbildungen 7.2 bis 7.9 zeigen die Ergebnisse der Prüfung des Schichtenverbunds. Die Prüfung wurde zwischen allen Schichten durchgeführt. Im Fall der mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 geprüften Platten sind die Ergebnisse der Bohrkerne in der Radspur („nach Belastung“) denjenigen außerhalb der Radspur („vor Belastung“) gegenübergestellt. Die Kurven stellen den Mittelwert aus 6 Einzelmessungen dar. Zusätzlich ist die Standardabweichung eingezeichnet.

Tab. 7.1 Ergebnisse der Abscherprüfung, Standardabweichung in Klammern

	Kraft [kN]	Spannung [MPa]	Steigung [kN/mm]	Weg [mm]
<b>MA 11/MA 16</b>				
<b>vor/nach MMLS3 Belastung</b>				
<b>Platte 1 DS/SS</b>	60.4 (5.1)	3.4 (0.3)	25.4 (4.6)	4.0 (0.6)
	61.2 (4.1)	3.5 (0.2)	26.9 (4.0)	4.2 (0.6)
<b>Platte 2 DS/SS</b>	58.2 (3.4)	3.3 (0.1)	27.0 (2.1)	3.8 (0.3)
	61.0 (3.4)	3.4 (0.2)	31.4 (0.2)	3.5 (0.2)
<b>Platte 5 DS/SS</b>	61.2 (5.1)	3.5 (0.1)	25.8 (3.5)	4.0 (0.3)
	61.5 (2.2)	3.5 (0.1)	27.0 (4.0)	3.6 (0.2)
<b>Platte 6 DS/SS</b>	58.5 (3.1)	3.3 (0.2)	25.4 (4.7)	4.0 (0.5)
	65.0 (3.7)	3.7 (0.2)	30.5 (1.3)	3.6 (0.2)
<b>Platte 3 BS/SS</b>	52.5 (3.2)	3.0 (0.2)	21.7 (4.8)	4.4 (0.9)
<b>Platte 4 BS/SS</b>	51.5 (2-1)	2.9 (0.1)	23.5 (5.9)	4.3 (0.4)
<b>MA 8/MA 11</b>				
<b>Platte 4 DS/SS</b>	67.2 (1.1)	3.8 (0.1)	34.4 812.3)	3.2 (0.3)
<b>Platte 7 DS/SS</b>	68.5 (2.0)	3.9 (0.1)	31.3 (4.4)	3.3 (0.2)
<b>MR 8/MA 11</b>				
<b>Platte 3 DS/BS</b>	13.4 (2.8)	0.8 (0.2)	10.4 (2.2)	1.7 80.5)
<b>Platte 8 DS/SS</b>	18.1 84.8)	1.0 80.3)	12.3 (1.6)	1.8 (0.4)
<b>MA 11/MA 8</b>				
<b>Platte 7 SS/Abdichtung</b>	56.0 (1.7)	3.2(0.1)	27.9 (3.2)	3.0 (0.4)
<b>Platte 8 SS/Abdichtung</b>	57.2 (4.89)	3.0 (0.3)	31.3 (3.4)	2.8 (0.3)
<b>MA 16/PBD APP/Beton</b>				
<b>vor/nach MMLS3 Belastung</b>				
<b>Platte 1</b>	10.4 (2.9)	0.6 (0.2)	8.1 (1.9)	1.5 (0.2)
	11.1 (2.4)	0.6 (0.1)	7.9 (1.6)	1.8 (0.3)
<b>MA 16/PBD SBS/Beton</b>				
<b>Platte 2</b>	10.6 (3.5)	0.6 (0.2)	4.2 (3.4)	7.9 (4.3)
	9.4 (1.0)	0.5 (0.1)	3.6 (1.9)	9.2 (3.3)
<b>Platte 3</b>	7.9 (1.3)	0.4 (0.1)	2.9 (1.4)	13.1 (3.6)
<b>Platte 4</b>	12.7 (5.7)	0.7 (0.3)	8.2 (7.5)	6.8 (5.5)
<b>MA 16/FLK PU/Beton</b>				
<b>Platte 5</b>	10.1 (1.9)	0.6 (0.1)	8.5 (2.3)	1.6 (0.4)
	8.2 (1.5)	0.5 (0.1)	5.4 (3.4)	2.2 (0.7)
<b>MA 16/FLK PMMA/Beton</b>				
<b>vor/nach MMLS3 Belastung</b>				
<b>Platte 6</b>	55.3 (4.8)	3.1 (0.3)	32.7 (4.7)	2.1 (0.4)
	53.8 (4.2)	3.0 (0.2)	34.9 (5.6)	1.8 (0.5)

### 7.3.1 Platte 1

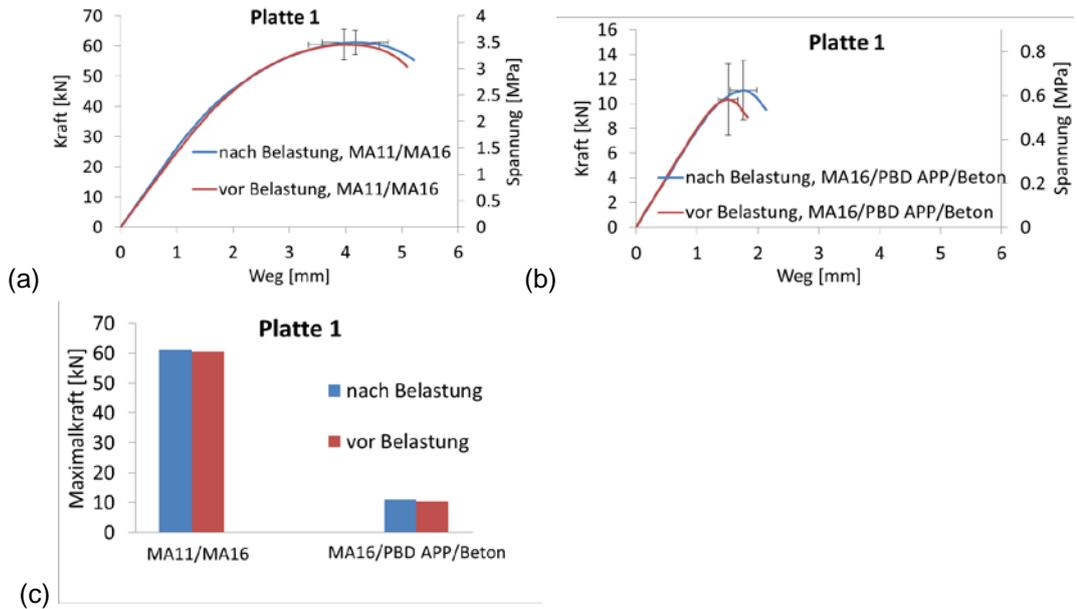


Abb. 7.2 Auswertung Schichtenverbund Platte 1, a)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA11/MA16 vor und nach Belastung mit MMLS3, b)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA16/PBD APP/Beton vor und nach Belastung mit MMLS3, c)Maximalkraft vor und nach der Belastung mit MMLS3 für beide Schichtgrenzen

### 7.3.2 Platte 2

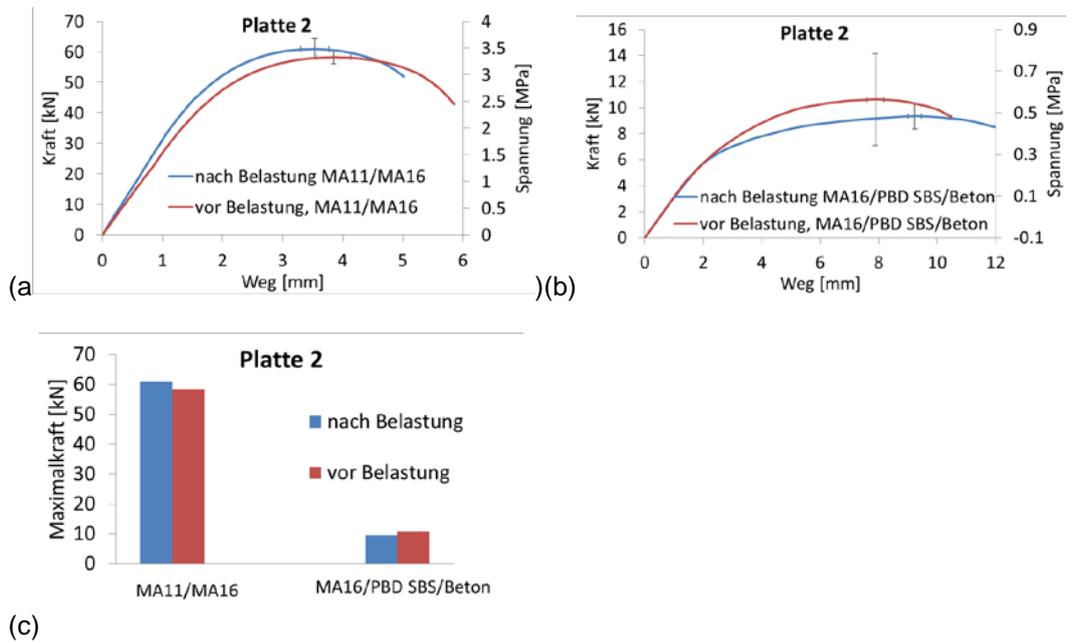


Abb. 7.3 Auswertung Schichtenverbund Platte 2, a)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA11/MA16 vor und nach Belastung mit MMLS3, b)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA16/PBD SBS/Beton vor und nach Belastung mit MMLS3, c)Maximalkraft vor und nach der Belastung mit MMLS3 für beide Schichtgrenzen

### 7.3.3 Platte 3

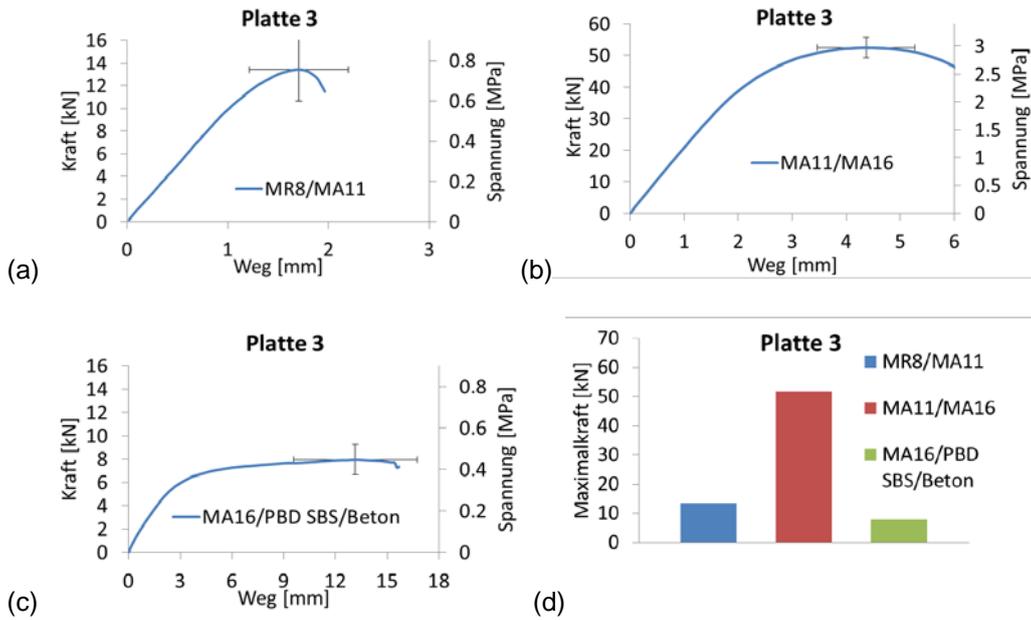


Abb. 7.4 Auswertung Schichtenverbund Platte 3, a)Kraft/Spannung-Weg-Diagramm für MR8/MA11, b)Kraft/Spannung-Weg-Diagramm für MA11/MA16, c)Kraft/Spannung-Weg-Diagramm für MA16/PBD SBS/Beton d)Maximalkraft für alle Schichtgrenzen

### 7.3.4 Platte 4

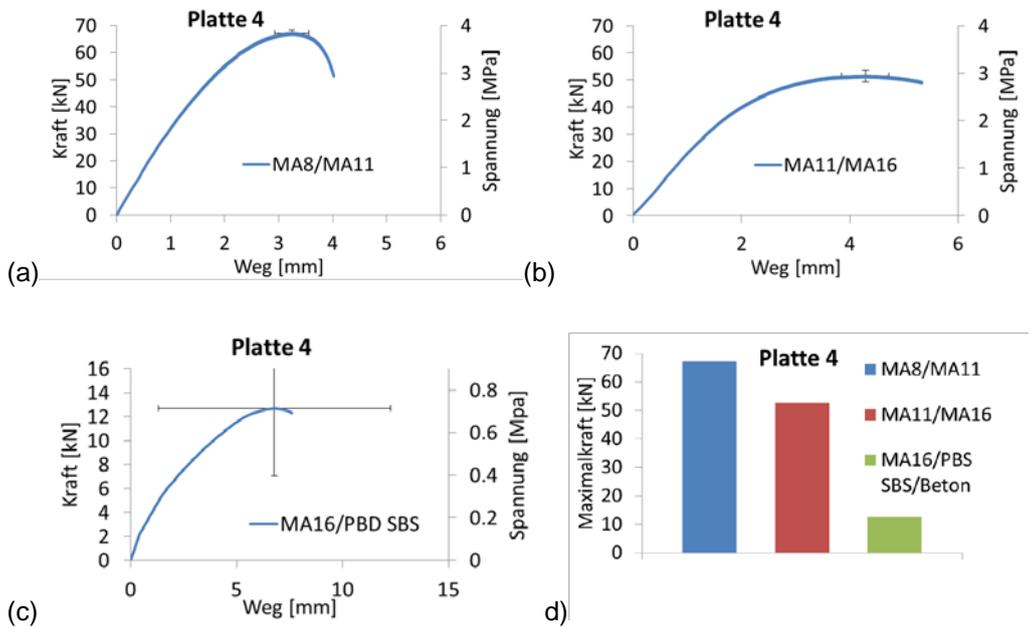


Abb. 7.5 Auswertung Schichtenverbund Platte 4, a)Kraft/Spannung-Weg-Diagramm für MA8/MA11, b)Kraft/Spannung-Weg-Diagramm für MA11/MA16, c)Kraft/Spannung-Weg-Diagramm für MA16/PBD SBS/Beton d)Maximalkraft für alle Schichtgrenzen

### 7.3.5 Platte 5

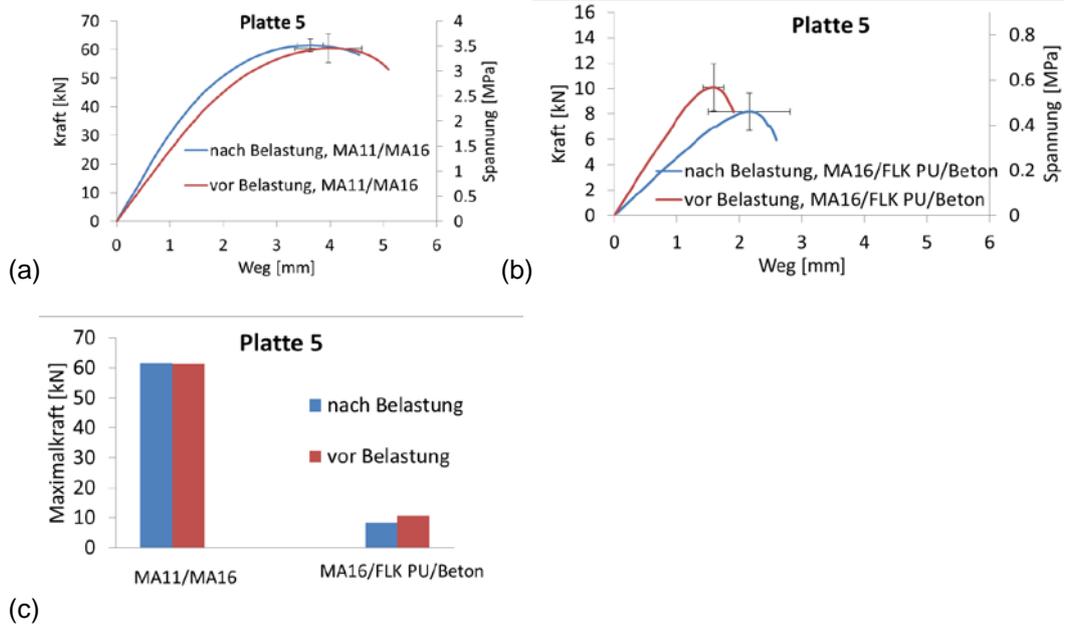


Abb. 7.6 Auswertung Schichtenverbund Platte 5, a)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA11/MA16 vor und nach Belastung mit MMLS3, b)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA16/FLK PU/Beton vor und nach Belastung mit MMLS3, c)Maximalkraft vor und nach der Belastung mit MMLS3 für beide Schichtgrenzen

### 7.3.6 Platte 6

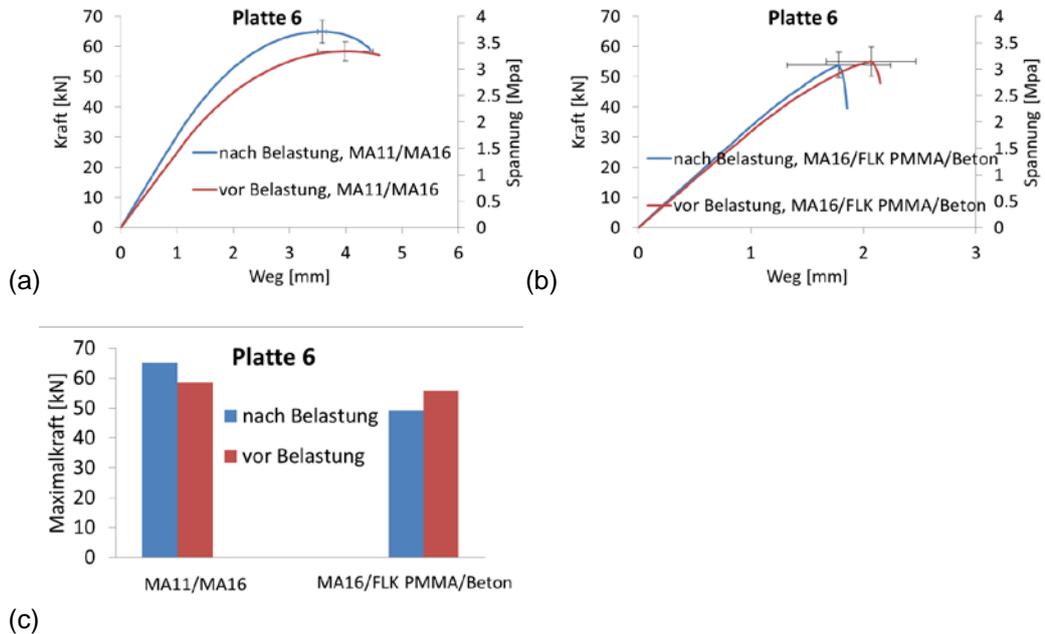


Abb. 7.7 Auswertung Schichtenverbund Platte 6, a)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA11/MA16 vor und nach Belastung mit MMLS3, b)Kraft/Druck-Weg-Diagramm für MA16/FLK PMMA/Beton vor und nach Belastung mit MMLS3, c)Maximalkraft vor und nach der Belastung mit MMLS3 für beide Schichtgrenzen

### 7.3.7 Platte 7

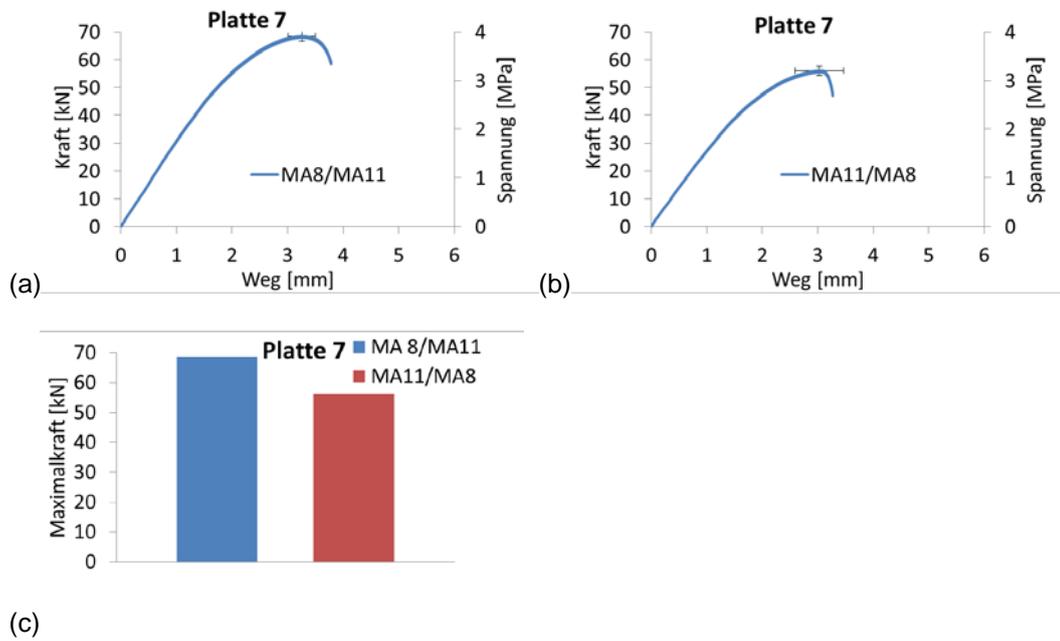


Abb. 7.8 Auswertung Schichtenverbund Platte 7, a)Kraft/Spaltung-Weg-Diagramm für MA8/MA11, b)Kraft/Spaltung-Weg-Diagramm für MA11/MA8, c)Maximalkraft für beide Schichtgrenzen

### 7.3.8 Platte 8

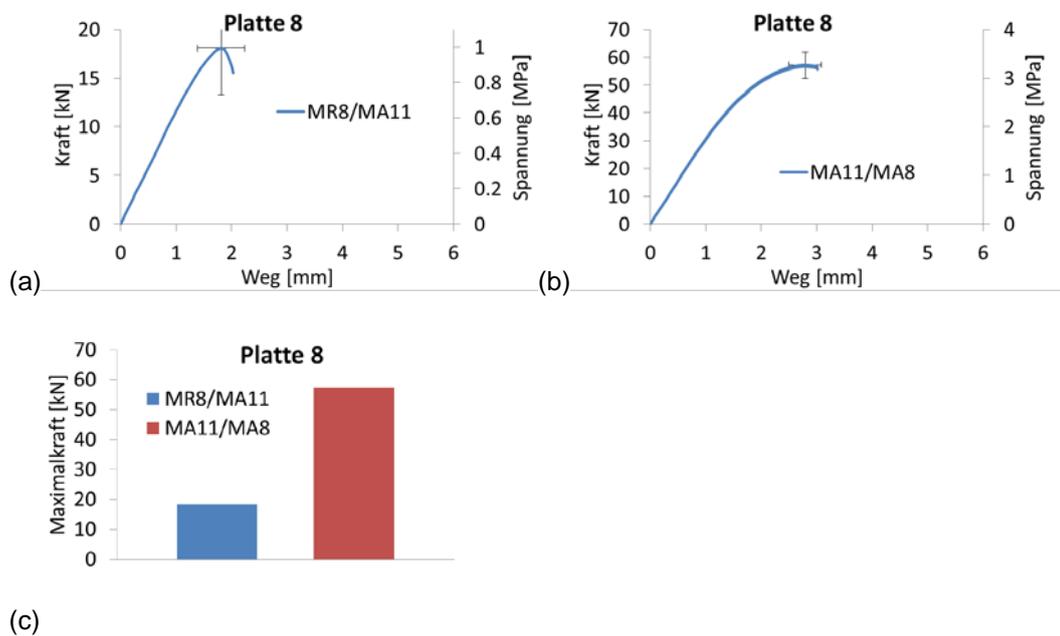


Abb. 7.9 Auswertung Schichtenverbund Platte 8, a)Kraft/Spaltung-Weg-Diagramm für MR8/MA11, b)Kraft/Spaltung-Weg-Diagramm für MA11/MA8, c)Maximalkraft für beide Schichtgrenzen

### 7.3.9 Auswertung aufgrund der Materialien

Abbildungen 7.10 und 7.11 zeigen eine Zusammenfassung der Prüfergebnisse zwischen allen Schichten in Form von Balkendiagrammen. In Abbildungen 7.12 bis 7.17 sind die Scherflächen zwischen Abdichtung und Beton nach der Prüfung des Schichtenverbunds dargestellt.

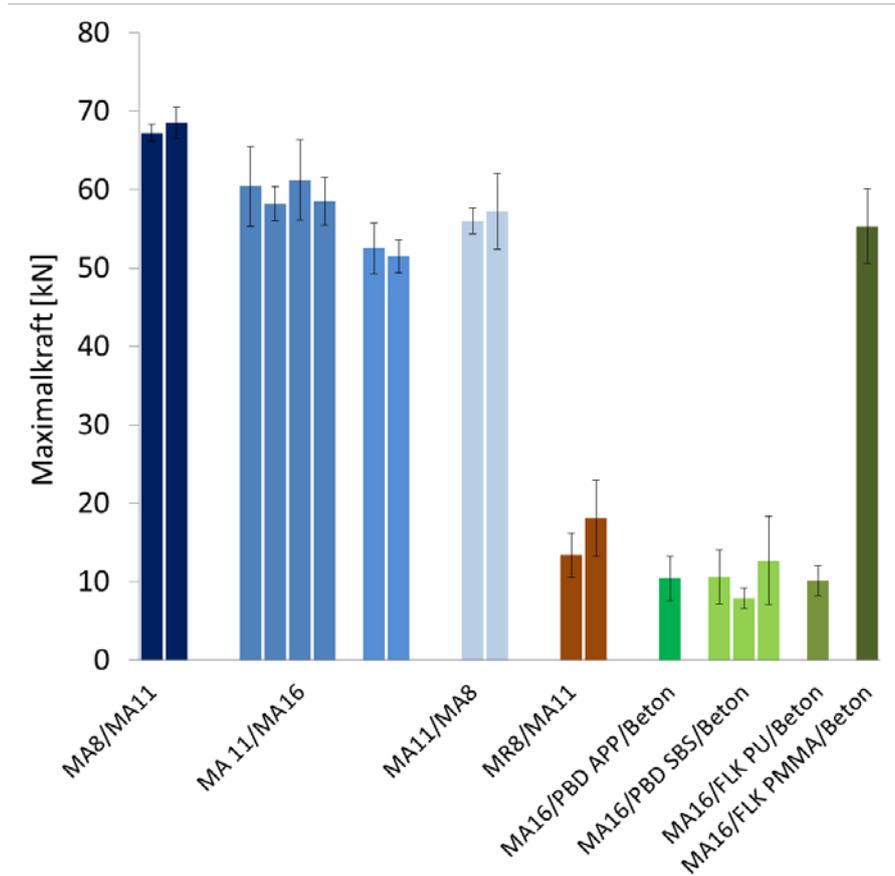


Abb. 7.10 Auswertung Schichtenverbund, Maximalkraft (vor der MMLS3 Prüfung) für alle Platten

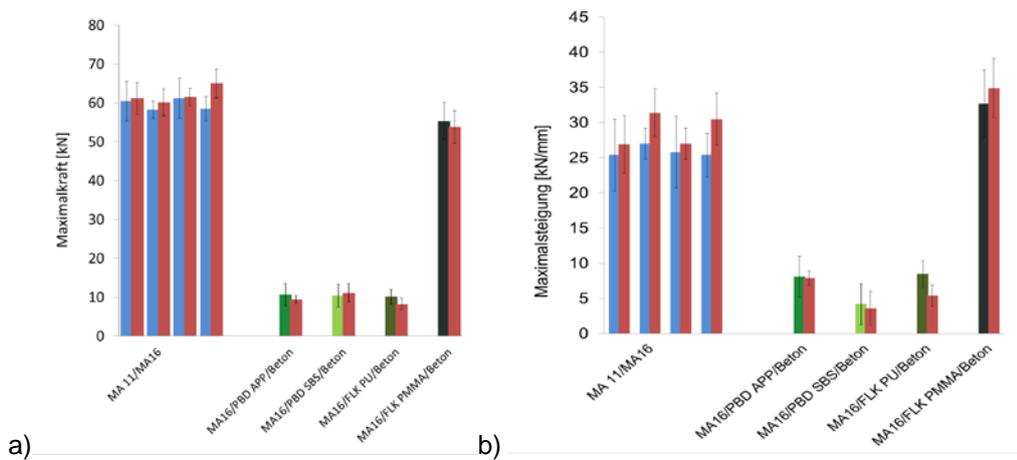


Abb. 7.11 Auswertung Schichtenverbund, a) Maximalkraft vor und nach der MMLS3 Prüfung) für alle Systeme, b) Maximale Steigung vor und nach der MMLS3 Prüfung) für alle Platten



Abb. 7.12 Bohrkern der Platte 1, MA16/PBD APP/Beton nach der Scherprüfung. Die Schichttrennung erfolgte zwischen PBD und Epoxidversiegelung



Abb. 7.13 Bohrkern der Platte 2, MA16/PBD SBS/Beton nach der Scherprüfung. Die Schichttrennung erfolgte zwischen Schutzschicht und PBD



Abb. 7.14 Bohrkern der Platte 3, MA16/PBD SBS/Beton nach der Scherprüfung. Die Schichttrennung erfolgte zwischen Schutzschicht und PBD



Abb. 7.15 Bohrkern der Platte 4, MA16/PBD SBS/Beton nach der Scherprüfung. Die Schichttrennung erfolgte zwischen PBD und Epoxidversiegelung



Abb. 7.16 Bohrkern der Platte 5, MA16/FLK PU/Beton nach der Scherprüfung. Die Schichttrennung erfolgte zwischen Schutzschicht und FLK-PU



Abb. 7.17 Bohrkern der Platte 6, MA16/FLK PMMA/Beton nach der Scherprüfung. Die Schichttrennung erfolgte zwischen FLK-PMMA und Betonuntergrund

## 7.4 Auswertung der Prüfung des Schichtenverbunds

Die Werte des Schichtenverbunds zwischen Deck- und Schutzschicht (MA11/MA16) für die Systeme 1 und 2 liegen in beiden Fällen bei ca. 60 kN. Die mittlere Scherkraft zwischen Schutzschicht und Abdichtung und Beton ist dagegen deutlich niedriger und liegt bei beiden Systemen zwischen 10 kN und 12 kN. Die in den Diagrammen dargestellten Kraft-Verformungskurven (siehe Abb. 7.2b und 7.3b) und die der Schubsteifigkeit entsprechende Maximalsteigung zeigen aber für die APP Abdichtung ein deutlich steiferes Verhalten als für die SBS Abdichtung (APP Kurven haben eine größere Steigung und eine deutlich geringere Dehnung).

Die max. Scherkraft zwischen Binder- und Schutzschicht (MA11/MA 16) ist bei Systemen 3 und 4 erwartungsgemäß gleich hoch und beträgt ca. 60 kN. Auch wenn der Mittelwert der maximalen Scherkraft zwischen Schutzschicht und Abdichtung und Beton (MA 16/PBD SBS/Beton) bei den beiden Systemen (System 3: ca. 12 kN und System 4: ca. 8 kN) etwas unterschiedlich ist, zeigt doch die Standardabweichung im Fall des Systems 4, dass die Streuung der Werte recht groß ist. Sehr unterschiedlich ist dagegen die Schichtverbund zwischen Deck- und Binderschicht. Im Fall des Systems 3 mit einer MR 8 Deckschicht beträgt die mittlere max. Scherkraft ca. 14 kN, während bei System 4 zwischen MA 8 und MA 11 mehr als 60 kN erreicht werden.

Während bei den Systemen 5 und 6 kaum Unterschiede der max. Scherkraft zwischen Deck- und Schutzschicht (MA 11/MA 16) mit Werten um ca. 60 kN gibt, zeigen sich große Unterschiede zwischen Schutzschicht und Abdichtung und Beton. Bei System 5 mit einer FLK PU Abdichtung liegt die mittlere Scherkraft nur bei ca. 10 kN, während sie bei System 6 mit einer FLK PMMA Abdichtung deutlich höhere Werte von >50 kN erreicht werden.

Bei Systemen 7 und 8 ergeben sich in Bezug auf den Schichtenverbund zwischen Deck-

schicht und Schutzschicht ähnliche Ergebnisse wie bei Systemen 3 und 4. Wiederum erreicht die MA 8 Deckschicht bei System 7 mit Werten um 70 kN deutlich höhere Werte als die MR 8 Deckschicht des Systems 8, die nur knapp 20 kN aufweist. Dagegen sind die mittleren Scherkräfte zwischen Schutzschicht (MA 11) und Abdichtung (MA 8) mit knapp 60 kN vergleichbar.

Der Auswirkung des Verkehrs aufgrund der Prüfung mit der MMLS3 auf den Schichtenverbund ist unterschiedlich. In den meisten Fällen kommt es zwischen Deck- und Schutzschicht zu einer geringfügigen Verbesserung des Schichtenverbundes (Zunahme der maximalen Scherkraft), vor allem auch einer Zunahme der Steifigkeit (größere Steigung). In den untenliegenden Schichten, d.h. zwischen Schutzschicht und Abdichtung kommt es dagegen hauptsächlich zu einer Verschlechterung, was sich vor allem in der Abnahme der Steifigkeit zeigt (siehe besonders System 5) und darauf hindeutet, dass der durch den Verkehr aufgebrachte Schub zu einer Schwächung führt.

Von der Zusammenfassung in der Abbildung 7.10 ist es offensichtlich, dass, im Fall intakter Schichten der Verbund zwischen den Gussasphaltschichten überhaupt nicht kritisch ist, während für die MR 8 Deckschicht die Anforderung von 15 kN für den Verbund zwischen Deck- und Binderschichten nicht immer ohne weiteres erreicht wird.

Die Verbundkräfte aller Abdichtungsschichten liegen zwischen 8 kN und 12 kN und zeigen keine Unterschiede zwischen den APP und den SBS modifizierten Dichtungsbahnen, dagegen ist die Steifigkeit im Fall der SBS modifizierten Dichtungsbahnen in der Regel geringer. Für die FLK PMMA (System 6) erhält man mit 55 kN für die Verbundkraft und 32 kN/mm für die Verbundsteifigkeit sehr hohe Werte. Die FLK PMMA Abdichtung liegt mit 8.5 kN für die Verbundkraft ebenfalls im Bereich der PBD Abdichtungen, besitzt aber eine der APP modifizierten Dichtungsbahn vergleichbare Verbundsteifigkeit.

## 8 Einaxialer Druckschwellversuch (Untersuchung des Verformungsverhaltens)

### 8.1 Allgemeines

Als Kennwert für den Verformungswiderstand wird die bleibende Dehnung nach einer bestimmten Anzahl von Lastwechseln (beim einaxialen Druckschwellversuch nach 10000 Lastwechseln) oder an einem markanten Punkt der Impulskriechkurve der bleibenden Dehnung (Wendepunkt beim Druckschwellversuch) verwendet. Eine weitere charakteristische Größe für die bleibende Dehnung ist die Dehnungsrate z.B. die Steigung der Impulskriechkurve am Versuchsende oder an einem definierten Punkt (Wendepunkt beim einaxialen Druckschwellversuch).

### 8.2 Einaxialer Druckschwellversuch nach TP A-StB

Der Druckschwellversuch ist ein einaxialer Druckversuch (vgl. Abb. 8.1) mit schwellendem Axialdruck und wird in Deutschland nach der EN 12697-25 TP Asphalt-StB Teil 25 B1: „Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme“ [19], [20] durchgeführt. Die Technische Prüfvorschrift beschreibt ein Verfahren, mit dem das Verformungsverhalten von Asphalt bei hohen Gebrauchstemperaturen unter dynamischer Beanspruchung angesprochen werden kann. Dabei wird ein zylindrischer Asphaltprobekörper bei isothermen Versuchsbedingungen einer auf der Grundfläche des Probekörpers gleichmäßig verteilten haversineimpulsförmigen Druckschwellbelastung unterworfen. Beim Druckschwellversuch erfolgt die dynamische Beanspruchung in einzelnen Lastimpulsen mit entsprechender zwischenliegender Ruhepause. In Abbildung 8.2 ist der Verlauf der Spannung schematisch dargestellt, die Prüfbedingungen sind in Tabelle 8.1 wiedergegeben. Die Deformation wird als Funktion der Anzahl Lastimpulse aufgenommen.

Auf den Probekörper wird eine Unterspannung  $\sigma_u$  von 0,025 MPa und eine Oberspannung von  $\sigma_0$  von 0,35 MPa für Walzasphalte mit besonderer Belastung und  $\sigma_0$  von 0,2 MPa für Walzasphalte mit normaler Beanspruchung aufzubringen. Die Prüftemperatur ist auf 50°C festgelegt. Während des Versuches wird für jeden Belastungszyklus die sich am Probekörper einstellende Verformung in Belastungsrichtung über induktive Wegaufnehmer erfasst. Die Grundlage der Auswertung bildet in Abbildung 8.3 schematisch dargestellte Impulskriechkurve, die den Verlauf der irreversiblen Verformung des Probekörpers wiedergibt. Die Steigung der Kurve im Wendepunkt gilt als Maß für den Verformungswiderstand. Der Versuch gilt als beendet, wenn mehr als 10'000 Lastwechsel erreicht werden oder eine Dehnung von 4% überschritten wird.



Abb. 8.1 Prüfvorrichtung Einaxialer Druckschwellversuch

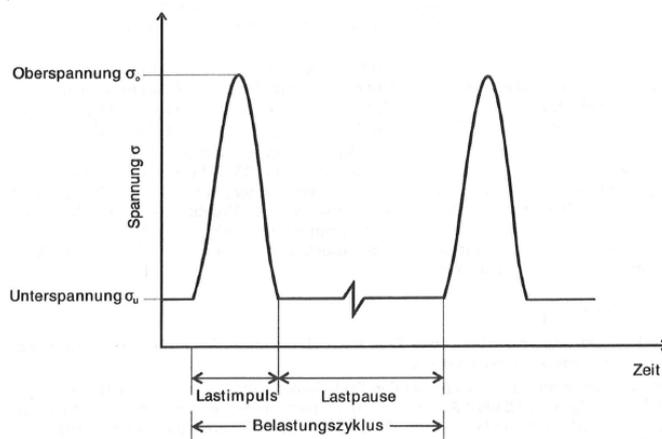


Abb. 8.2 Prinzip des Spannungsverlaufs während des Druckschwellversuchs nach [20]

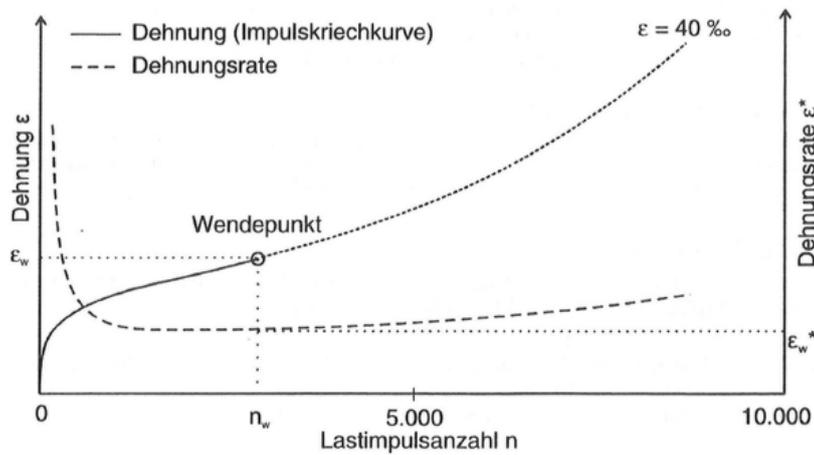


Abb. 8.3 Prinzip des Dehnungsverlaufs während des Druckschwellversuchs nach [20]

Tab. 8.1 Versuchsbedingungen einachsialer Druckschwellversuch

Prüftemperatur	50 ± 0.3°C
Prüfkörperdurchmesser	150 ± 5 mm
Dauer des Lastimpulses	0.2 s
Lastpause	1.5 s
Oberspannung	0.2 MPa
Unterspannung	0.025 MPa

Die Versuchsdurchführung in der Empa erfolgte an Prüfkörpern, die aus den Platten entnommen wurden. Für die Auswertung wurde der Mittelwert aus jeweils 3 Prüfkörpern bestimmt. Es wurde der gesamte Prüfkörperaufbau verwendet, wobei der Beton auf eine Höhe von 150 mm zugeschnitten wurde.

### 8.3 Ergebnisse des einachsialen Druckschwellversuchs

Abbildung 8.4 zeigt die Ergebnisse des einachsialen Druckschwellversuchs. Die Kurven repräsentieren jeweils den Mittelwert aus drei Messungen. Es ist die auf die Prüfkörperdicke bezogene prozentuale Dehnung dargestellt.

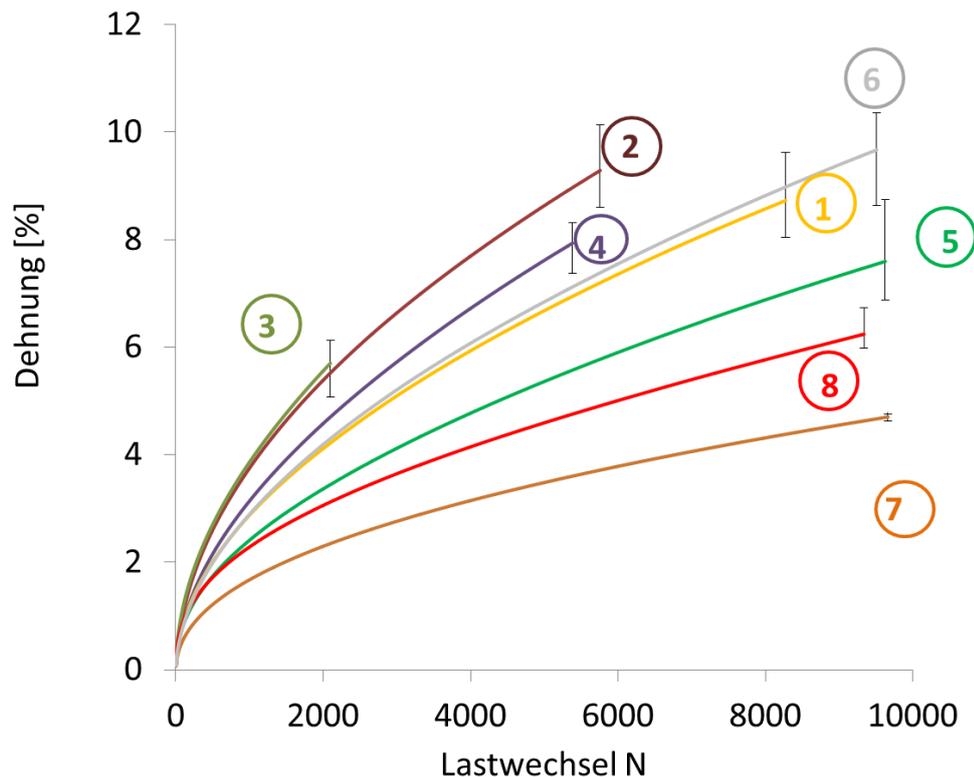


Abb. 8.4 Axiale nominelle Dehnung der Platten 1 bis 8 (Mittelwert aus je 3 Prüfkörpern) und mit max. und min. Abweichungen

Betrachtet man die Verformungskurven der Prüfkörper nach der Versuchsdurchführung, so sieht man, dass in keinem Fall der Wendepunkt erreicht wird und dass die Verformung aller Systeme (Platten 1-8) relativ groß ist.

Besonders wenig standfest ist das System 3, was noch nicht einmal 2'500 Lastwechsel erreicht. Am standfestesten ist das System 7 mit mehr als 8'000 Lastwechseln bei 4%

Dehnung, gefolgt von System 8 mit ca. 4'000 Lastwechseln bei 4% Dehnung. Für beide Systeme ist der Unterschied zwischen maximalen und minimalen Werten sehr klein, wobei System 7 hat eine äußerst niedrige Streuung aufweist. System 5 erreicht knapp 3000 Lastwechsel, alle anderen Systeme liegen bei 4% Dehnung unter 2000 Lastwechseln.

Abbildungen 8.6 bis 8.9 zeigen die Prüfkörper nach der Verformung und die durch die Prüfung hervorgerufenen Verformungen derselben.

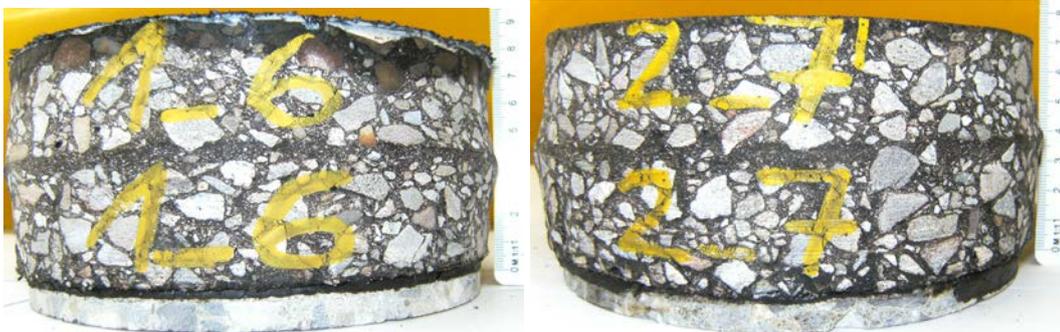


Abb. 8.6 Deformationen der Prüfkörper aus Platten 1 und 2



Abb. 8.7 Deformationen der Prüfkörper aus Platten 5 und 6



Abb. 8.8 Deformationen der Prüfkörper aus Platten 3 und 4



Abb. 8.9 Deformationen der Prüfkörper aus Platten 7 und 8

Bei Platten 1 und 2, Platte 5 und 6 findet die Verformung über den gesamten Prüfkörper statt, wobei es in der Mitte zu einer Auswölbung kommt. Bei Platte 3 und Platte 4 findet die Verformung über den gesamten Prüfkörper statt. Bei Platte 3 verformt sich zusätzlich die MR 8 Deckschicht geringfügig. Die Dichtungsbahn wird bei beiden Systemen verdrückt (ausgewölbt) bzw. verschoben.

Bei Platte 7 und Platte 8 verformt sich hauptsächlich die MA 11 Schutzschicht (2. Schicht) und die Abdichtung (MA 8), wobei es zu einer sichtbaren Auswölbung in der Mitte des Prüfkörpers kommt. Bei Platte 8 verformt sich zusätzlich wiederum die MR 8 Deckschicht.

Zur Bestimmung der Verformungen der einzelnen Schichten wurden an jeweils 3 Prüfkörpern pro Musterplatte vor und nach dem Druck-Schwellversuch Schichtdickenmessungen durchgeführt. Sie sind in Tabellen 8.2 und 8.3 und in Abbildung 8.10 dargestellt. In den Tabellen sind die Einzelwerten aus 3 Schichtdickenmessungen und der Mittelwert angegeben, in der Grafik ist der jeweilige Mittelwert dargestellt.

Tab. 8.2 Schichtdickenermittlung vor und nach Druck-Schwellversuch Platten 1-4

Schichtdicke [mm]	Deckschicht vor/nach	Binderschicht vor/nach	Schutzschicht vor/nach	Abdichtung vor/nach
1_6	38/35	-	36/33	4.5/4
1_9	36/33	-	31/28	5/5
1_11	35/32	-	32/29	5/5
<b>Mittelwert</b>	<b>36/33</b>	-	<b>33/30</b>	<b>5/5</b>
2_4	35/33	-	35/30	4.5/3
2_7	35/32	-	35/32.5	3.5/3
2_11	38/33	-	37.5/32.5	4/2.5
<b>Mittelwert</b>	<b>36/33</b>	-	<b>36/32</b>	<b>4/4.5</b>
3_9	37/36	36/33	35/32	5/3.5
3_10	37/35	37/37	35/31	5/3
3_11	36/35	40/35	34/32	5/5
<b>Mittelwert</b>	<b>37/35</b>	<b>38/35</b>	<b>35/32</b>	<b>5/4.5</b>
4_2	27/27	35/32	33/31	6/5.5
4_4	29/28	35/32	32/30	5/4.5
4_7	28/27	38/35	31/27	4.5/4.5
<b>Mittelwert</b>	<b>28/27</b>	<b>36/33</b>	<b>32/29</b>	<b>5/4.5</b>

Tab. 8.3 Schichtdickenermittlung vor und nach Druck-Schwellversuch Platten 5-8

Schichtdicke [mm]	Deckschicht vor/nach	Binderschicht vor/nach	Schutzschicht vor/nach	Abdichtung vor/nach
5_2	35/33	-	33/30	5/5
5_4	32/30	-	33/29.5	2/2
5_11	35.5/31	-	33.5/32	6.5/6
<b>Mittelwert</b>	<b>34/31</b>	-	<b>33/30.5</b>	<b>5/4.5</b>
6_4	35/33	-	36/30.5	3/2
6_9	36/35	-	33.5/29	2.5/2.3
6_11	36/34	-	35/31	3/3
<b>Mittelwert</b>	<b>36/34</b>	-	<b>35/30</b>	<b>3/2.8</b>
7_5	30.5/29	-	34.5/33	30/28
7_7	30/29	-	36.5/35.5	27/25
7_8	30/29	-	35/34	29.5/27
<b>Mittelwert</b>	<b>30/29</b>	-	<b>35/34</b>	<b>29/26.5</b>
8_7	37/36	-	34/33	28.5/26
8_8	40/39	-	32/30	32.5/28
8_9	39/36	-	32/30	30/29
<b>Mittelwert</b>	<b>39/37</b>	-	<b>32/31</b>	<b>30/27.5</b>

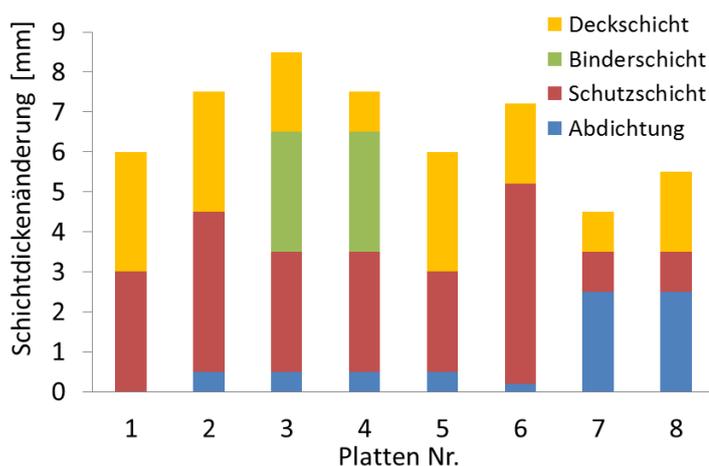


Abb. 8.10 Schichtdickenänderungen der einzelnen Schichten durch Druckschwellbelastung

Hinweis: Die Gesamthöhe der Säulen gibt keinen Hinweis auf die Verformungsanfälligkeit, da sie den Zustand nach unterschiedlichen Anzahlen von Lastwechseln darstellen.

Die Ergebnisse der Schichtdickenmessungen bestätigen die von Auge sichtbaren Verformungen an den einzelnen Systemen. Beim System 1 und 2 verformen sich sowohl

Deckschicht (MA 11) als auch Schutzschicht (MA 16), die Abdichtung verformt sich (soweit messbar) in beiden Fällen, wenn überhaupt nur sehr geringfügig.

Bei System 3 und System 4 findet die Verformung hauptsächlich in der Binder- (MA 11) und Schutzschicht (MA 16) statt. Bei System 3 zusätzlich in der Deckschicht (MR 8), während sich bei System 4 die Dicke der Deckschicht (MA 8) durch die Prüfung deutlich weniger ändert. Hier ist allerdings von einer Verformung der Abdichtung (SSB) auszugehen.

Wie beim Systemen 1 und 2 verformen sich bei System 5 und 6 sowohl Deckschicht (MA 11) als auch Schutzschicht (MA 16), die Abdichtung verformt sich (soweit messbar) in beiden Fällen, wenn überhaupt nur sehr geringfügig.

Die kleinsten Schichtdickenänderungen finden sich bei System 7 und 8, wobei bei System 8 die Änderung in der Deckschicht größer ist als bei System 7. Bei diesen Systemen verformt sich die aus Mastixasphalt bestehende Abdichtungsschicht (MA 8) ebenfalls.

## 9 Diskussion

### 9.1 Vergleich der Ergebnisse des Spurbildungstest mit MMLS3 und des dynamischen Stempeleindringversuchs

Wie aus Tabelle 5.1 hervorgeht, zeigt das System 6 die geringste Spurrinnentiefe und damit den größten Widerstand gegen plastische Verformungen. Alle anderen Systeme verhalten sich untereinander relativ ähnlich. Das System 2 mit den größten Verformungen zeigt deutliche Unterschiede zwischen den beiden Spurrinnenprofilen, so dass hier von einer stark variierenden Materialqualität ausgegangen werden muss. Die Schichtdickenermittlung innerhalb und außerhalb der Radspur verdeutlicht, dass die Verformung im Spurbildungstest hauptsächlich in der Deckschicht stattfindet, d.h. dass sich dort die größten Verformungsanteile finden.

Der Spurbildungstest mit dem mobilen Verkehrslastsimulator MMLS3 und der dynamische Stempeleindringversuch, der für die gleichen Systeme durchgeführt wurde, zeigen ähnliche Ergebnisse. Der Belag des System 6 erweist sich als der widerstandsfähigste gegen bleibende Deformationen, während die Systeme 1, 2 und 5 mehr oder weniger vergleichbar sind, obgleich mit einer Änderung in der Klassifizierung für die zwei Prüfmethoden. Im Gegensatz zum einaxialen Druckschwellversuch, wo die Deformation über dem ganzen Prüfkörper erfolgt, ist sie im Spurbildungstest und im dynamischen Stempeleindringversuch hauptsächlich in der Deckschicht konzentriert. Die Ergebnisse des dynamischen Stempeleindringversuchs und des Spurbildungstests mit dem mobilen Verkehrslastsimulator weisen auf Variationen in den Materialeigenschaften innerhalb einer Schicht (System 2) hin und zeigen Unterschiede zwischen den Materialeigenschaften nominell gleicher Schichtmaterialien (z.B. MA 11 für Systeme 1, 2, 5 und 6).

### 9.2 Vergleich der Ergebnisse des einaxialen Druckschwellversuchs und des Stempeleindringversuches

Die Testergebnisse des einaxialen Druckschwellversuchs (alle Systeme) und des Stempeleindringversuchs (Systeme, 1, 2, 5 und 6), die den Widerstand gegen Deformation und die Stabilität bei warmen Temperaturen (Temperatur 50°C) charakterisieren, zeigen, dass die Anforderungen für Asphaltbeton nicht einfach übertragbar sind. Im Druckschwellversuch kommen nur Systeme mit einer Gussasphaltabdichtung (Systeme 7 und 8) in die Nähe der geforderten 10'000 Lastzyklen. Alle anderen Systeme sind deutlich verformungsanfällig, Systeme mit 3 Asphaltsschichten auf SBS modifizierten Polymerbitumenbahn (Systeme 3 und 4) sind ganz besonders verformungsanfällig.

Aus der Auswertung geht weiterhin hervor, dass die Gussasphaltdeckschichten weniger zu bleibenden Vertikalverformungen neigen als die MR Deckschichten. Dieses Ergebnis konnte so nicht unbedingt vorausgesetzt werden, da die Ausfallkörnung der MR-Deckschichten und die dadurch vorhandene Korn zu Korn Abstützung als weniger verformungsanfällig eingeschätzt wurde. Es scheint, dass die Korn zu Korn Abstützung auf dem „flüssigen“ Gussasphalt nicht mobilisiert werden kann. Für diese Annahme sprechen ebenfalls auch die Ergebnisse der Schichtenverbundprüfung nach Leutner.

### 9.3 Vergleich der Ergebnisse der Prüfung Spurbildungstest, des dynamischen Stempeleindringversuchs und des einaxialen Druckschwellversuchs

Es ist bemerkenswert, dass zwischen den Ergebnissen der beiden triaxialen Prüfungen wie dem Spurbildungstest mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 und der dynamische Stempeleindringversuch durchaus Parallelen bestehen. Dies sowohl bei der Bewertung des Widerstands gegen bleibende Verformung und als auch im Ranking der untersuchten Systeme. Bei den triaxialen Versuchsaufbauten bleiben die Verformungen im wesentlichen auf die oberste Schicht beschränkt. Dabei deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der

Gesamtaufbau möglicherweise das Ausmaß der Verformung in der Deckschicht mit beeinflusst. Die im einzelnen festgestellten großen Streuungen zeigen aber auch, dass Materialunterschiede einen erheblich Einfluss auf die Verformung der Deckschicht haben.

Die einaxiale Prüfung, wie sie im einaxialen Druckschwellversuch vorliegt, führt dagegen zu anderen Aussagen bezüglich der Bewertung des Widerstands gegen bleibende Verformung und des Rankings der Systeme. Sie zeigt, dass durch die von der monoaxialen Belastung hervorgerufenen Verformungen, alle Schichten in Mitleidenschaft gezogen werden.

## 9.4 Diskussion der Ergebnisse der Prüfung des Schichtenverbunds

Die Prüfung des Schichtenverbunds zeigt einen sehr guten Verbund für alle Gussasphaltschichten mit Mittelwerten der maximalen Scherkraft zwischen 60 kN und 70 kN, während die Mittelwerte der Scherkraft zwischen MR Deckschichten und Gussasphaltbinderschichten nur zwischen 12 kN and 16 kN liegen, was in Bezug auf den in der Schweizer Norm enthaltenen Anforderungswert von 15 kN durchaus kritisch werden kann, zumal es sich um an Laborprüfkörpern, d.h. unter optimalen Bedingungen hergestellte Prüfkörper (kein Staub, Schmutz etc.) handelt. Im Forschungsbericht [18] wurde beispielweise die Verbundscherkraft zwischen Gussasphaltdeckschicht (MA 11) und Gussasphaltbinderschicht (MA 16) an aus der Straße entnommenen Bohrkernen mit ca. 40 kN bestimmt, wogegen unter Laborbedingungen hergestellte Prüfkörper zwischen 50 kN und 60 kN liegende Verbundscherkraft erreichen.

Die Verbundscherkräfte aller Abdichtungsschichten liegen zwischen 8 kN und 12 kN und zeigen keine Unterschiede zwischen den APP und den SBS modifizierten Dichtungsbahnen, dagegen ist die Steifigkeit im Fall der SBS modifizierten Dichtungsbahnen in der Regel geringer. Für die FLK PMMA (System 6) erhält man mit 55 kN für die Verbundkraft und 32 kN/mm für die Verbundsteifigkeit sehr hohe Werte. Die FLK PMMA Abdichtung liegt mit 8.5 kN für die Verbundkraft ebenfalls im Bereich der PBD Abdichtungen, besitzt aber eine der APP modifizierten Dichtungsbahn vergleichbare Verbundsteifigkeit.

Auch wenn aufgrund des hohen Bindemittel- und Feinkornanteils davon auszugehen ist, dass der Schichtenverbund zwischen zwei Gussasphaltschichten wesentlich durch Verklebung hervorgerufen wird, gibt es doch einen gewissen Verzahnungsanteil. Dies zeigt sich in der Tatsache, dass der Verbund, wie an Modellmaterial nachgewiesen werden konnte [21], besser ist, wenn ein Mischgut mit kleinerem Größtkorn auf ein Mischgut mit größerem Größtkorn aufgebracht wird als im umgekehrten Fall (vergleiche MA 8 auf MA 11 ergibt Scherkraftwerte von nur ca. 55 kN, MA 11 auf MA 8 dagegen Scherkraftwerte von ca. 65 kN).

## 10 Schlussfolgerungen

Aus der Auswertung der Untersuchungsergebnisse geht hervor, dass Prüfungen, wie der Druckschwellversuch und der dynamische Stempel Eindringversuch, die für einzelne Schichten von Asphaltbetonprobekörpern entwickelt wurden, im Hinblick auf Versuchsdurchführung und Anforderungen nicht unbedacht auf die Prüfungen von Abdichtungssystemen für Brücken, die aus Gussasphalt bzw. AC MR Deckschichten bestehen, übertragen werden können. Ebenso stellt die Übertragung von Prüfungen für einzelne Schichten auf die Prüfung von Systemen, d.h. die gleichzeitige Prüfung mehrerer Schichten, ein Problem dar.

Wenn man den Widerstand gegen Verformung und die Stabilität bei hohen Temperaturen, wie er im Druckschwellversuch untersucht wird, betrachtet, schneiden Systeme mit einer Gussasphaltabdichtung (Systeme 7 und 8) eindeutig am besten ab. Besonders System 7 mit seiner extrem guten Wiederholbarkeit besitzt die beste Performance aller Systeme. Hingegen sollten Systeme mit einem dreilagigen Schichtaufbau über der PBD (Systeme 3 und 4) im Hinblick auf ihre Stabilität und ihr Verformungsverhalten eher vermieden werden. Aus dem Druckschwellversuch geht weiterhin hervor, dass semidichte AC MR 8 Deckschichten wegen ihrer geringeren Widerstandsfähigkeit nicht Gussasphaltschichten vorgezogen bzw. nicht auf Gussasphaltschichten eingebaut werden sollten.

Da nur die Systeme 1, 2, 5 und 6 für den Spurbildungstest mit MMLS3 ausgewählt worden waren, um den Einfluss der unterschiedlichen Abdichtungssysteme (PBD APP, PBD SBS, FLK PU and FKL PMMA) auf den Widerstand gegen bleibende Verformungen zu untersuchen, ist es aufgrund der vorliegenden Untersuchung nicht möglich, alle Brückenabdichtungssysteme zu beurteilen. Allerdings zeigen die Ergebnisse des Spurbildungstests, dass die Verformung im wesentlichen auf die Deckschicht beschränkt bleiben und dass die Variationen der Materialqualität zwischen nominell gleichen Mischguttypen so groß sind, dass die Prüfung nicht in der Lage ist, das Verhalten des Gesamtsystems zu beschreiben. Für die Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformungen von Brückenabdichtungssystemen sollten vorzugsweise in situ Verkehrslastsimulatoren im Maßstab 1:1 wie der Mobile Load Simulator MLS10 eingesetzt werden. Für Laboruntersuchungen mit MMLS3 oder ähnlichen Geräten sollten wegen der geringen Tiefenwirkung die Schichtdicken der Systeme reduziert werden.

Insgesamt gesehen handelt es sich aber beim Spurbildungstest um eine der Praxis (rollendes Rad) entsprechende Belastung, während im einaxialen Druckschwellversuch eine praxisferne Belastung vorliegt. Da die Ergebnisse und Schlussfolgerungen beider Prüfungen aber sehr unterschiedlich sind, bedarf es sicher einer statistisch abgesicherten Validierung bzw. Verifizierung unter Berücksichtigung der oben genannten Modifikation beim Spurbildungstest. Interessanterweise stimmen denn auch die Ergebnisse des Spurbildungstestes weit besser mit jenen des dynamischen Stempel Eindringversuches überein.

Die Prüfung des Schichtenverbunds zeigt einen sehr guten Verbund für alle Gussasphaltschichten mit Mittelwerten der maximalen Scherkraft von mehr als 60 kN. Das Verbundverhalten der AC MR Deckschichten ist mit Mittelwerten der Scherkraft zwischen MR Deckschichten und Gussasphaltbinderschichten nur zwischen 12 kN und 16 kN deutlich niedriger und in Bezug auf den in der Norm enthaltenen Anforderungswert von 15 kN deutlich kritischer. Für die Abdichtungen ergeben sich Werte der maximalen Scherkraft zwischen 8 kN und 12 kN, wobei kein Unterschied zwischen APP und SBS modifizierten Polymerbitumendichtungsbahnen erkennbar ist. Im Gegensatz dazu, besitzt die mit PMMA modifizierte Flüssigkunststoffabdichtung (System 6) eine sehr hohe mittlere Scherkraft von 55 kN, und damit den besten Wert aller untersuchten Abdichtungen mit Verbund zum Beton.

## 10.1 Fazit

In Bezug auf die im Forschungsantrag formulierten Ziele lässt sich folgendes sagen:

- Evaluation und Einstufung von Prüfungen und Prüfverfahren zur Bewertung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus im Sinne eines Eignungsnachweises (unter Berücksichtigung von Aussagekraft, Prüfdauer und Prüfaufwand).

Lediglich der im Rahmen der Forschungsarbeit durchgeführte einaxiale Druckschwellversuch war in der Lage, Aussagen über die Standfestigkeit des Gesamtaufbaus der Belagsaufbauten für Betonbrücken zu machen.

Auch die Prüfung des Schichtenverbunds ermöglicht Aussagen über das Systemverhalten, da fehlender Schichtenverbund zum einen das horizontale Verschieben einer nachgebenden Schicht erlaubt wodurch die Standfestigkeit des Aufbaus reduziert werden kann und zum anderen die Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems direkt beeinflusst wird. Dies bedeutet allerdings nicht, dass Systeme mit schwimmender Abdichtung (Systeme 7 und 8), die keinen Verbund zwischen Abdichtung und Beton aufweisen, wie das gute Abschneiden dieser Bauweise beim Druck-Schwellversuch zeigt, durchaus verwendet werden können.

- Bestimmung und Zuordnung der Verformungsanteile der einzelnen Schichten im Gesamtaufbau.

Grundsätzlich ist es mit dem einaxialen Druckschwellversuch (Schichtdickenmessung) möglich, die Verformungsanteile einzelner Schichten zu bestimmen. Allerdings war es, bedingt durch große Variationen in der Materialqualität nicht möglich, abschließende Aussagen über die Eignung eines Systems zu machen. Die Abdichtung trägt nur im Fall einer Gussasphaltabdichtung zur Verformung bei. AC MR Deckschichten verformen sich stärker als Gussasphaltdeckschichten.

- Eruierung besonders verformungsempfindlicher Schichten (beziehungsweise Materialien, aus denen sie bestehen) inkl. Begründung ihres Verhaltens.

Obwohl wegen der Variationen in der Materialqualität Vorsicht geboten ist, sind Systeme mit 3-schichtigen Gussasphaltaufbauten auf Polymerbitumendichtungsbahnen besonders verformungsanfällig. Ihre besondere Verformungsanfälligkeit leitet sich dabei aus der Dicke der Gussasphaltschichten her.

Auch konnte gezeigt werden, dass Deckschichten aus AC MR deutlich verformungsanfälliger sind als Gussasphaltdeckschichten. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Korn zu Korn Abstützung auf dem „flüssigen“ Gussasphalt nicht mobilisiert werden kann, wofür auch die Ergebnisse der Schichtenverbundprüfung nach Leutner sprechen.

- Beschreibung des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten typischer Aufbauten im Sinne der Schweizer Norm (SN 640450).

In Bezug auf Standfestigkeit und Widerstand gegen bleibende Verformungen zeigen Systeme mit einer schwimmend verlegten Gussasphaltabdichtungsschicht, aber auch Systeme mit Flüssigkunststoffabdichtungen im Vergleich aller Systeme das beste Verformungsverhalten und sind daher zu empfehlen. Dagegen sind Systeme mit einem dreilagigen Gussasphaltaufbau über einer Polymerbitumenbahn zu vermeiden. Insgesamt müssen aber im Zuge der weiteren Evaluation von Prüfmethode hier genaue Anforderungen festgelegt werden.

- Formulierung erster Vorschläge für Anforderungswerte (im Sinne eines Eignungsnachweises) für den Gesamtaufbau von Abdichtungssystemen und bitumenhaltigen Schichten auf Betonbrücken aufgrund der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit.

Im Rahmen der durchgeführten Forschung ist es aufgrund der ungenügenden Eignung der Prüfverfahren und der Variationen in der Materialqualität nicht möglich, Anforderungswerte festzulegen. Einzig bezüglich des Schichtenverbunds sollten für den Verbund zwischen Abdichtung und Beton Werte von 12 kN nicht unterschritten werden.

## 11 Empfehlungen

Die Ergebnisse der Untersuchung beweisen die Notwendigkeit weiterer Forschungen zur Entwicklung geeigneter Prüfmethode für andere Materialien als Asphaltbeton und für Systemaufbauten. Neben der Definition von Prüfbedingungen und Anforderungen für verschiedene Materialien, ist es wichtig, mehr Erfahrungen mit der Prüfung von Mehrschichtsystemen zu sammeln. Im Rahmen weiterer Forschungen muss aber unbedingt Qualität und Gleichmäßigkeit der untersuchten Materialien sichergestellt sein.

In Bezug auf Standfestigkeit und Widerstand gegen bleibende Verformungen zeigen Systeme mit einer schwimmend verlegten Gussasphaltabdichtungsschicht, aber auch Systeme mit Flüssigkunststoffabdichtungen das beste Verformungsverhalten und sind daher zu empfehlen. Dagegen sind Systeme mit einem dreilagigen Gussasphaltaufbau über einer Polymerbitumenbahn zu vermeiden. Insgesamt müssen aber im Zuge der weiteren Evaluation von Prüfmethode hier genaue Anforderungen festgelegt werden.

Der Einsatz von AC-MR Deckschichten anstelle von Gussasphaltdeckschichten ist wegen der geringeren Stabilität und der deutlich geringeren Schichtverbundwerte nicht zu empfehlen und sollte nur in Fällen, in denen besonderer Lärmschutz erforderlich ist, in Erwägung gezogen werden.

Für die Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformungen von Brückenabdichtungssystemen sollten vorzugsweise in situ Verkehrslastsimulatoren wie der Mobile Load Simulator MLS10 eingesetzt werden. Für Laboruntersuchungen mit MMLS3 oder ähnlichen Geräten müssen die Schichtdicken der Systeme reduziert werden, um den Widerstand gegen bleibende Verformungen des Gesamtsystems beurteilen zu können.

## Anhang: Materialkennwerte

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 1														
<b>Baumassnahme</b>	Deckschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c			
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG										
Sorte	MA 11		Typ TS		Rezept 51183				Datum 08.2009						
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil															
<b>BINDEMittel</b>															
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	6.0		Masse%	lösl.Anteil	5.7		Masse%				
<b>ZUSÄTZE</b>															
Art/Sorte	TP			Dosierung	2.0		Masse%	lösl.Anteil	1.1		Masse%				
<b>Bindemittel Gesamtdosierung</b>				<b>7.1</b>		<b>Masse%</b>		<b><sup>1</sup>lösl.Anteil</b>		<b>6.8</b>		<b>Masse%</b>			
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 68 °C			
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>															
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>															
Filler	Kalkwerk Istein				Sand KIBO				Splitt Kieswerk Boningen						
Brechhorn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte 2.69 g/cm <sup>3</sup>							
<b>EINDRINGTIEFE</b>															
<sup>1</sup> statisch				30'				≤ 2.5 <sup>1</sup> mm		Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup> mm					
<sup>1</sup> dynamisch				I				≤ 3.0 <sup>1</sup> mm		Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup> mm					
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>															
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4		
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100			
Masse%	Filler 25.4				Sand 24.5				Splitt 50.1						
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.															
Revision															
Datum 13. April 2010															
Visum															

Tabelle I.1 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 TS, Platte 1

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 1															
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c				
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG											
Sorte	MA 16			Typ S			Rezept 51632				Datum 08.2009					
Prüfstelle	Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg, Rottweil															
<b>BINDEMITTEL</b>																
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung 6.7			Masse%			lösl.Anteil 6.5		Masse%				
<b>ZUSÄTZE</b>																
Art/Sorte				Dosierung			Masse%			lösl.Anteil		Masse%				
Bindemittel Gesamtdosierung				6.7			Masse%			<sup>1</sup> lösl.Anteil 6.5		Masse%				
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C			≥ 15			0.1mm		EP R+K		≥ 70 °C		
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>																
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>																
Filler	Kalkwerk Istein			Sand KIBO			Splitte Kieswerk Boningen									
Brech Korn	im Sand 35%			≥ 2.8 mm 100%			Rohdichte 2.500 g/cm <sup>3</sup>									
<b>EINDRINGTIEFE</b>																
<sup>1</sup> statisch			30'			≤ 1.7 <sup>1</sup> mm			Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup>			mm				
<sup>1</sup> dynamisch			I			≤ 3.0 <sup>1</sup> mm			Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup>			mm				
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>																
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4			
Durchgang Masse%	25	29	33	37	38	41	44	53	61	70	79	97	100			
Masse%	Filler 25			Sand 22			Splitt 53									
Bemerkungen	<sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.															
Revision																
Datum	13. April 2010															
Visum																

Tabelle I.2 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 16 TS, Platte 1

## Platte 2

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 2															
<b>Baumassnahme</b>	Deckschicht										Schichtdicke gem. SN 640 440c					
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG											
Sorte	MA 11			Typ TS			Rezept 51183				Datum 08.2009					
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil																
<b>BINDEMITTEL</b>																
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung		6.0		Masse%		lösl.Anteil		5.7		Masse%		
<b>ZUSÄTZE</b>																
Art/Sorte	TP			Dosierung		2.0		Masse%		lösl.Anteil		1.1		Masse%		
<b>Bindemittel Gesamtdosierung</b>						7.1		<b>Masse%</b>		<sup>1</sup> lösl.Anteil		6.8		<b>Masse%</b>		
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 68		°C		
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>																
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>																
Filler	Kalkwerk Istein				Sand				KIBO				Splitte			Kieswerk Boningen
Brech Korn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm		100%						Rohdichte			2.69 g/cm <sup>3</sup>	
<b>EINDRINGTIEFE</b>																
<sup>1</sup> statisch				30'		≤ 2.5 <sup>1</sup>		mm		Zunahme		≤ 0.4 <sup>1</sup>		mm		
<sup>1</sup> dynamisch				I		≤ 3.0 <sup>1</sup>		mm		Zunahme		≤ 1.3 <sup>1</sup>		mm		
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>																
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4			
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100				
Masse%	Filler 25.4				Sand 24.5				Splitt 50.1							
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.																
Revision																
Datum 13. April 2010																
Visum																

Tabelle I.3 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 TS, Platte 2

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 2															
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht												Schichtdicke gem. SN 640 440c			
Aufbereitungsanlage	Boningen			Unternehmer AESCHLIMANN AG												
Sorte	<b>MA 16</b>		Typ	<b>S</b>		Rezept				<b>51632</b>				Datum	08.2009	
Prüfstelle	Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg, Rottweil															
<b>BINDEMITTEL</b>																
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	6.7		Masse%		lösl.Anteil	6.5		Masse%				
<b>ZUSÄTZE</b>																
Art/Sorte				Dosierung			Masse%		lösl.Anteil			Masse%				
Bindemittel Gesamtdosierung				6.7		Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil	6.5		Masse%					
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70 °C				
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>																
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>																
Filler	Kalkwerk Istein			Sand				KIBO		Splitte		Kieswerk Boningen				
Brech Korn	im Sand 35%			≥ 2.8 mm				100%		Rohdichte		2.500 g/cm <sup>3</sup>				
<b>EINDRINGTIEFE</b>																
<sup>1</sup> statisch				30'		≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme		≤ 0.4 <sup>1</sup> mm				
<sup>1</sup> dynamisch				I		≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme		≤ 1.3 <sup>1</sup> mm				
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>																
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4			
Durchgang Masse%	25	29	33	37	38	41	44	53	61	70	79	97	100			
Masse%	Filler 25			Sand 22				Splitt 53								
Bemerkungen	<sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.															
<b>Revision</b>																
Datum	13. April 2010															
<b>Visum</b>																

Tabelle I.4 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 16 TS, Platte 2

Platte 3

Unternehmung	-	Probenahme	Auftraggeber	
Aufbereitungsanlage	BLB Boningen	Temperatur/Zeit	°C / . h	
Lieferschein	446147	Rezept	1382	
Bindemittel	PmB-E 45/80-65	Dosierung	-	M.-%
Zusatz	Kalkhydrat	Dosierung	2.0	M.-%

Angaben des Kunden

**Erstprüfungsbericht  
Asphaltmischgut**  
SN 640 431-20b-NA

Sorte/Typ

**AC MR 8**

Bericht Nr.: 4  
Datum: 18.06.2010  
ersetzt Bericht vom: 15.07.2005

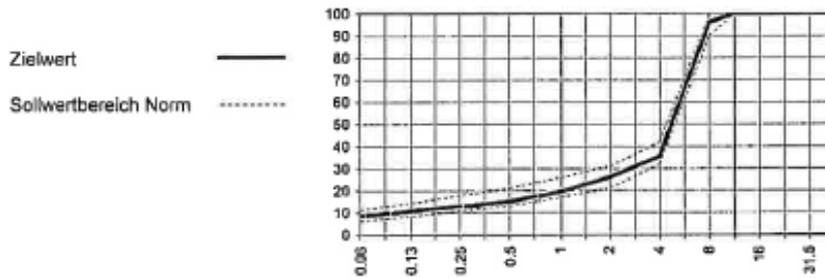
Anlage/Standort **BLB Boningen / 4618 Boningen**

Ergebnis-Sollzusammensetzung / Zielwert	Probe: Nr.: 10-02230-001											Bindemittelgehalt	
	0.063	0.5	1	2	4	8	11.2	16	22.4	31.5	45	dosiert M-%	löslich M-%
Durchgang mm	0.063	0.5	1	2	4	8	11.2	16	22.4	31.5	45		
Sollwertbereich Norm * min.	6	13	17	21	32	90	100	100	100	100	100	≥ 5.80	
Durchgang M% max.	11	21	26	31	42	100	100	100	100	100	100		
<b>Ergebnis Sollzusammensetzung: Zielwert M-% **</b>	<b>8.5</b>	<b>15.0</b>	<b>19.5</b>	<b>26.0</b>	<b>35.5</b>	<b>96.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>5.90</b>	<b>6.70</b>
Ergebnis Mischgutprobe	8.7	14.6	18.6	26.7	35.2	96.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		5.65

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

\*\* festgelegter Zielwert = Mittelwert von mehreren Proben od. angepasst da zur Zeit wenig Prüfergebnisse vorhanden

Anforderung erfüllt:



ja  
 nein

**Marshallversuch (SN EN 12697-6/8/30/34)**

Probe: Nr.: 10-02230-001

	pm	kg/m <sup>3</sup>	Anforderung *	Ergebnis
Rohdichte	pm	kg/m <sup>3</sup>	-	2450
Raumdichte Marshall	pb	kg/m <sup>3</sup>	-	2271
Hohlraumgehalt	Vm	Vol.-%	6.0 - 10.0	7.3
Bindemittelauf.-Grad	VFB	%	-	63.0
Stabilität	S	kN	-	9.9
Fließen	F	mm	-	2.7

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

ja  
 nein

**Wasserempfindlichkeit (SN EN 12697-12)**

Probe: Nr.: 10-02230-001

Verhältnis	ITSR	%	Anforderung *	Ergebnis
			≥ 70	97.0

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

ja  
 nein

**Widerstand gegen bleibende Verformungen (SN EN 12697-22 oder SN EN 12697-25)**

Prüfmethode  Spurrinntest SN EN 12697-22  
 Druckschwellversuch SN EN 12697-25

Probe: Nr.: 10-02230-001

		%	Anforderung *	Ergebnis
Spurrinntiefe 10'000 Zyklen		%	-	-
Spurrinntiefe 30'000 Zyklen		%	≤ 7.5	2.9
Steigung im Wendepunkt		[(%) / 10 <sup>4</sup> n]	-	-

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

ja  
 nein

**Bindemittelabfluss (SN EN 12697-18)**

Probe: Nr.: 10-02230-001

Ablaufen	D	M-%	Anforderung *	Ergebnis
			keine	-

ja  
 nein

Tabelle I.5 Erstprüfung, Mischgutsollwerte AC MR 8, Platte 3

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 3												
<b>Baumassnahme</b>	Binderschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c	
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG								
Sorte	MA 11		Typ S		Rezept 51133				Datum 08.2009				
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil													
<b>BINDEMITTEL</b>													
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	7.2		Masse%	lösl.Anteil	7.0		Masse%		
<b>ZUSÄTZE</b>													
Art/Sorte				Dosierung			Masse%	lösl.Anteil			Masse%		
Bindemittel Gesamtdosierung				7.2		Masse%	<sup>1</sup> lösl.Anteil	7.0		Masse%			
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm	EP R+K	≥ 70		°C	
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>													
Filler	Kalkwerk Istein			Sand	KIBO				Splitte Kieswerk Boningen				
Brech Korn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte 2.69 g/cm <sup>3</sup>					
<b>EINDRINGTIEFE</b>													
<sup>1</sup> statisch				30' ≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup> mm					
<sup>1</sup> dynamisch				30' ≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup> mm					
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>													
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100	
Masse%	Filler 26			Sand 24				Splitt 50					
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.													
Revision													
Datum	13. April 2010												
Visum													

Tabelle I.6 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 S, Platte 3

## Platte 4

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 4													
<b>Baumassnahme</b>	Deckschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c		
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG									
Sorte <b>MA 8</b>	Typ <b>TSG</b>			Rezept <b>50882</b>				Datum 08.2009						
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil														
<b>BINDEMITTEL</b>														
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	7.6	Masse%	lösl.Anteil	7.2	Masse%					
<b>ZUSÄTZE</b>														
Art/Sorte	TP			Dosierung	2.0	Masse%	lösl.Anteil	1.1	Masse%					
<b>Bindemittel Gesamtdosierung</b>				<b>7.6</b>	<b>Masse%</b>	<b><sup>1</sup>lösl.Anteil</b>	<b>7.2</b>	<b>Masse%</b>						
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C	≥ 15	0.1mm	EP R+K	≥ 70	°C					
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>														
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>														
Filler	Kalkwerk Istein				Sand	KIBO				Splitte	Kieswerk Boningen			
Brech Korn	im Sand 35%			≥ 2.8mm	100%				Rohdichte	2.356 g/cm <sup>3</sup>				
<b>EINDRINGTIEFE</b>														
<sup>1</sup> statisch				30'	≤ 2.5 <sup>1</sup> mm				Zunahme	≤ 0.4 <sup>1</sup> mm				
<sup>1</sup> dynamisch				l	≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme	≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>														
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4	
Durchgang Masse%	28	31	37	47	53	60	65	76	86	93	100			
Masse%	Filler 28				Sand 37				Splitt 35					
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.														
Revision														
Datum 13. April 2010														
Visum														

Tabelle I.7 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 8 TS, Platte 4

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 4												
<b>Baumassnahme</b>	Binderschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c	
Aufbereitungsanlage	Boningen			Unternehmer AESCHLIMANN AG									
Sorte	MA 11		Typ S		Rezept 51133				Datum 08.2009				
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil													
<b>BINDEMITTEL</b>													
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	7.2		Masse%	lösl.Anteil	7.0		Masse%		
<b>ZUSÄTZE</b>													
Art/Sorte				Dosierung			Masse%	lösl.Anteil			Masse%		
Bindemittel Gesamtdosierung				7.2		Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil	7.0		Masse%		
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70 °C	
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>													
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>													
Filler	Kalkwerk Istein			Sand KIBO				Splitte Kieswerk Boningen					
Brech Korn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte 2.69 g/cm <sup>3</sup>					
<b>EINDRINGTIEFE</b>													
<sup>1</sup> statisch				30' ≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup> mm					
<sup>1</sup> dynamisch				30' ≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup> mm					
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>													
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100	
Masse%	Filler 26			Sand 24				Splitt 50					
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.													
Revision													
Datum 13. April 2010													
Visum													

Tabelle I.8 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 S, Platte 4

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 4														
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c			
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG										
Sorte	MA 16			Typ S			Rezept 51632				Datum 08.2009				
Prüfstelle	Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg, Rottweil														
<b>BINDEMITTEL</b>															
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung		6.7		Masse%		lösl.Anteil		6.5		Masse%	
<b>ZUSÄTZE</b>															
Art/Sorte					Dosierung		Masse%		lösl.Anteil		Masse%				
Bindemittel Gesamtdosierung				6.7		Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil		6.5		Masse%			
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70 °C			
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>															
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>															
Filler	Kalkwerk Istein				Sand				KIBO		Splitte				Kieswerk Boningen
Brech Korn	im Sand 35%			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte				2.500 g/cm <sup>3</sup>			
<b>EINDRINGTIEFE</b>															
<sup>1</sup> statisch				30'				≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme			≤ 0.4 <sup>1</sup> mm
<sup>1</sup> dynamisch				I				≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme			≤ 1.3 <sup>1</sup> mm
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>															
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4		
Durchgang Masse%	25	29	33	37	38	41	44	53	61	70	79	97	100		
Masse%	Filler 25				Sand 22				Splitt 53						
Bemerkungen	<sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.														
Revision															
Datum	13. April 2010														
Visum															

Tabelle I.9 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 16 S, Platte 4

## Platte 5

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 5													
<b>Baumassnahme</b>	Deckschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c		
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG									
Sorte	MA 11		Typ TS		Rezept 51183				Datum 08.2009					
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil														
<b>BINDEMITTEL</b>														
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	6.0		Masse%	lösl.Anteil	5.7		Masse%			
<b>ZUSÄTZE</b>														
Art/Sorte	TP			Dosierung	2.0		Masse%	lösl.Anteil	1.1		Masse%			
<b>Bindemittel Gesamtdosierung</b>				<b>7.1</b>		<b>Masse%</b>		<b><sup>1</sup>lösl.Anteil</b>		<b>6.8</b>		<b>Masse%</b>		
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 68 °C		
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>														
Filler	Kalkwerk Istein				Sand KIBO				Splitte Kieswerk Boningen					
Brechhorn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm		100%		Rohdichte 2.69 g/cm <sup>3</sup>						
<b>EINDRINGTIEFE</b>														
<sup>1</sup> statisch				30'		≤ 2.5 <sup>1</sup>		mm		Zunahme		≤ 0.4 <sup>1</sup> mm		
<sup>1</sup> dynamisch				I		≤ 3.0 <sup>1</sup>		mm		Zunahme		≤ 1.3 <sup>1</sup> mm		
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>														
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4	
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100		
Masse%	Filler 25.4				Sand 24.5				Splitt 50.1					
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.														
Revision														
Datum 13. April 2010														
Visum														

Tabelle I.10 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 TS, Platte 5

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 5														
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht Schichtdicke gem. SN 640 440c														
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG										
Sorte	MA 16			Typ S			Rezept 51632				Datum 08.2009				
Prüfstelle	Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg, Rottweil														
<b>BINDEMITTEL</b>															
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung		6.7 Masse%		lösl.Anteil		6.5		Masse%			
<b>ZUSÄTZE</b>															
Art/Sorte					Dosierung		Masse%		lösl.Anteil		Masse%				
Bindemittel Gesamtdosierung						6.7 Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil		6.5		Masse%			
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70		°C	
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>															
Filler	Kalkwerk Istein				Sand KIBO				Splitte Kieswerk Boningen						
Brech Korn	im Sand 35%			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte 2.500 g/cm <sup>3</sup>							
<b>EINDRINGTIEFE</b>															
<sup>1</sup> statisch				30'				≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup> mm			
<sup>1</sup> dynamisch				I				≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup> mm			
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>															
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4		
Durchgang Masse%	25	29	33	37	38	41	44	53	61	70	79	97	100		
Masse%	Filler 25				Sand 22				Splitt 53						
Bemerkungen	<sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.														
Revision															
Datum	13. April 2010														
Visum															

Tabelle I.11 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 16 S, Platte 5

## Platte 6

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 6														
<b>Baumassnahme</b>	Deckschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c			
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG										
Sorte	MA 11		Typ TS		Rezept 51183				Datum 08.2009						
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil															
<b>BINDEMITTEL</b>															
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	6.0		Masse%	lösl.Anteil	5.7		Masse%				
<b>ZUSÄTZE</b>															
Art/Sorte	TP			Dosierung	2.0		Masse%	lösl.Anteil	1.1		Masse%				
<b>Bindemittel Gesamtdosierung</b>				<b>7.1</b>		<b>Masse%</b>		<b><sup>1</sup>lösl.Anteil 6.8</b>		<b>Masse%</b>					
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 68 °C			
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>															
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>															
Filler	Kalkwerk Istein				Sand KIBO				Splitte Kieswerk Boningen						
Brech Korn	im Sand 35 %				≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte 2.69 g/cm <sup>3</sup>						
<b>EINDRINGTIEFE</b>															
<b><sup>1</sup>statisch</b>				<b>30'</b>				<b>≤ 2.5<sup>1</sup> mm</b>				<b>Zunahme ≤ 0.4<sup>1</sup> mm</b>			
<b><sup>1</sup>dynamisch</b>				<b>I</b>				<b>≤ 3.0<sup>1</sup> mm</b>				<b>Zunahme ≤ 1.3<sup>1</sup> mm</b>			
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>															
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4		
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100			
Masse%	Filler 25.4				Sand 24.5				Splitt 50.1						
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.															
Revision															
Datum 13. April 2010															
Visum															

Tabelle I.12 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 TS, Platte 6

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 6															
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c				
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG											
Sorte	MA 16			Typ S			Rezept 51632				Datum 08.2009					
Prüfstelle	Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg, Rottweil															
<b>BINDEMITTEL</b>																
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung		6.7		Masse%		lösl.Anteil		6.5		Masse%		
<b>ZUSÄTZE</b>																
Art/Sorte					Dosierung			Masse%		lösl.Anteil		Masse%				
Bindemittel Gesamtdosierung				6.7		Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil		6.5		Masse%				
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70 °C				
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>																
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>																
Filler	Kalkwerk Istein				Sand				KIBO		Splitte					Kieswerk Boningen
Brech Korn	im Sand		35%		≥ 2.8 mm		100%			Rohdichte					2.500 g/cm <sup>3</sup>	
<b>EINDRINGTIEFE</b>																
<sup>1</sup> statisch				30'		≤ 1.7 <sup>1</sup> mm			Zunahme		≤ 0.4 <sup>1</sup> mm					
<sup>1</sup> dynamisch				I		≤ 3.0 <sup>1</sup> mm			Zunahme		≤ 1.3 <sup>1</sup> mm					
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>																
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4			
Durchgang Masse%	25	29	33	37	38	41	44	53	61	70	79	97	100			
Masse%	Filler 25				Sand 22				Splitt 53							
Bemerkungen	<sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.															
Revision																
Datum	13. April 2010															
Visum																

Tabelle I.13 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 16 S, Platte 6

## Platte 7

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 7															
<b>Baumassnahme</b>	Deckschicht						Schichtdicke gem. SN 640 440c									
Aufbereitungsanlage	Boningen			Unternehmer AESCHLIMANN AG												
Sorte <b>MA 8</b>	Typ <b>TSG</b>		Rezept <b>50882</b>			Datum 08.2009										
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil																
<b>BINDEMITTEL</b>																
Art/Sorte	Nypave PX 25		Dosierung		7.6	Masse%		lösl.Anteil		7.2	Masse%					
<b>ZUSÄTZE</b>																
Art/Sorte	TP		Dosierung		2.0	Masse%		lösl.Anteil		1.1	Masse%					
<b>Bindemittel Gesamtdosierung</b>					<b>7.6</b>	<b>Masse%</b>		<b><sup>1</sup>lösl.Anteil</b>		<b>7.2</b>	<b>Masse%</b>					
Bindemittelrückgewinnung			Pen. 25°C		≥ 15	0.1mm		EP R+K		≥ 70	°C					
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>																
Filler	Kalkwerk Istein			Sand			KIBO			Splitte				Kieswerk Boningen		
Brech Korn	im Sand 35%			≥ 2.8mm			100%			Rohdichte				2.356 g/cm <sup>3</sup>		
<b>EINDRINGTIEFE</b>																
<sup>1</sup> statisch			30'			≤ 2.5 <sup>1</sup> mm			Zunahme			≤ 0.4 <sup>1</sup> mm				
<sup>1</sup> dynamisch			I			≤ 3.0 <sup>1</sup> mm			Zunahme			≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>																
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4			
Durchgang Masse%	28	31	37	47	53	60	65	76	86	93	100					
Masse%	Filler 28			Sand 37			Splitt 35									
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.																
Revision																
Datum 13. April 2010																
Visum																

Tabelle I.14 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 8 TS, Platte 7

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 7													
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht												Schichtdicke gem. SN 640 440c	
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG									
Sorte	<b>MA 11</b>		Typ <b>S</b>		Rezept <b>51133</b>				Datum 08.2009					
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil														
<b>BINDEMITTEL</b>														
Art/Sorte	Nypave PX 25			Dosierung	7.2		Masse%	lösl.Anteil	7.0		Masse%			
<b>ZUSÄTZE</b>														
Art/Sorte				Dosierung			Masse%	lösl.Anteil			Masse%			
Bindemittel Gesamtdosierung				7.2		Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil	7.0		Masse%			
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm	EP R+K	≥ 70		°C		
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>														
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>														
Filler	Kalkwerk Istein			Sand	KIBO				Splitt					Kieswerk Boningen
Brech Korn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm		100%			Rohdichte					2.69 g/cm <sup>3</sup>
<b>EINDRINGTIEFE</b>														
<sup>1</sup> statisch				30' ≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup> mm						
<sup>1</sup> dynamisch				30' ≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup> mm						
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>														
Prüfsieb mm	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4	
Durchgang Masse%	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100		
Masse%	Filler 26			Sand 24				Splitt 50						
Bemerkungen <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.														
Revision														
Datum 13. April 2010														
Visum														

Tabelle I.15 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 S, Platte 7

Platte 8

Unternehmung	-	Probenahme	Auftraggeber	
Aufbereitungsanlage	BLB Boningen	Temperatur/Zeit	°C / . h	
Lieferschein	446147	Rezept	1382	
Bindemittel	PmB-E 45/80-65	Dosierung	-	M.-%
Zusatz	Kalkhydrat	Dosierung	2.0	M.-%

Angaben des Kunden

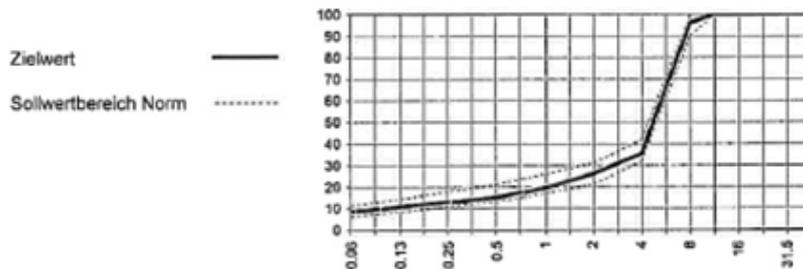
<b>Erstprüfungsbericht</b>	Sorte/Typ	<b>AC MR 8</b>
<b>Asphaltmischgut</b>	Bericht Nr.:	4
<b>SN 640 431-20b-NA</b>	Datum:	18.06.2010
	ersetzt Bericht vom:	15.07.2005
<b>Anlage/Standort</b>	<b>BLB Boningen / 4618 Boningen</b>	

Ergebnis-Sollzusammensetzung / Zielwert	Probe: Nr.: 10-02230-001											Bindemittelgehalt	
	0,063	0,5	1	2	4	8	11,2	16	22,4	31,5	45	dosiert M.-%	löslich M.-%
Durchgang mm	0,063	0,5	1	2	4	8	11,2	16	22,4	31,5	45		
Sollwertbereich Norm * min.	6	13	17	21	32	90	100	100	100	100	100	≥ 5,80	
Durchgang M% max.	11	21	26	31	42	100	100	100	100	100	100		
Ergebnis Sollzusammensetzung: Zielwert M.-% **	8,5	15,0	19,5	26,0	35,5	96,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	5,90	6,70
Ergebnis Mischgutprobe	8,7	14,6	18,6	26,7	35,2	96,6	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		5,65

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

\*\* festgelegter Zielwert = Mittelwert von mehreren Proben od. angepasst da zur Zeit wenig Prüfangebrisse vorhanden

Anforderung erfüllt:



ja  
 nein

Marshallversuch (SN EN 12697-6/8/30/34)			Probe: Nr.: 10-02230-001	
			Anforderung *	Ergebnis
Rohdichte	ρ <sub>m</sub>	kg/m <sup>3</sup>	-	2450
Raumdichte Marshall	ρ <sub>b</sub>	kg/m <sup>3</sup>	-	2271
Hohlraumgehalt	V <sub>m</sub>	Vol.-%	6,0 - 10,0	7,3
Bindemittelausf.-Grad	V <sub>F</sub> B	%	-	63,0
Stabilität	S	kN	-	9,9
Fließen	F	mm	-	2,7

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

ja  
 nein

Wasserempfindlichkeit (SN EN 12697-12)			Probe: Nr.: 10-02230-001	
			Anforderung *	Ergebnis
Verhältnis	ITSR	%	≥ 70	97,0

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

ja  
 nein

**Widerstand gegen bleibende Verformungen (SN EN 12697-22 oder SN EN 12697-25)**

- Prüfmethode  Spurrinntest SN EN 12697-22  
 Druckschwellversuch SN EN 12697-25

Probe: Nr.: 10-02230-001			Probe: Nr.: 10-02230-001	
			Anforderung *	Ergebnis
Spurrinntiefe 10'000 Zyklen		%	-	-
Spurrinntiefe 30'000 Zyklen		%	≤ 7,5	2,9
Steigung im Wendepunkt		[(%) / 10 <sup>4</sup> n]	-	-

\* Norm EN 13108-1: 2006 / AC: 2008 (SN 640 431-1b NA)

ja  
 nein

Bindemittelabfluss (SN EN 12697-18)			Probe: Nr.: 10-02230-001	
			Anforderung *	Ergebnis
Ablaufen	D	M.-%	keine	-

ja  
 nein

Tabelle I.16 Erstprüfung, Mischgutsollwerte AC MR 8, Platte 8

<b>Baustelle</b>	Musterplatte 8												
<b>Baumassnahme</b>	Schutzschicht											Schichtdicke gem. SN 640 440c	
<b>Aufbereitungsanlage</b>	Boningen			Unternehmer AESCHLIMANN AG									
<b>Sorte</b>	<b>MA 11</b>		Typ <b>S</b>		Rezept <b>51133</b>				Datum 08.2009				
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil													
<b>BINDEMITTEL</b>													
<b>Art/Sorte</b>	Nypave PX 25			<b>Dosierung</b>	7.2		<b>Masse%</b>	lösl.Anteil		7.0		<b>Masse%</b>	
<b>ZUSÄTZE</b>													
<b>Art/Sorte</b>				<b>Dosierung</b>			<b>Masse%</b>	lösl.Anteil				<b>Masse%</b>	
Bindemittel Gesamtdosierung				7.2		Masse%		<sup>1</sup> lösl.Anteil		7.0		Masse%	
Bindemittelrückgewinnung				Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70 °C	
<b>MINERALSTOFFE HERKUNFT</b>													
<b>ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE</b>													
<b>Filler</b>	Kalkwerk Istein			Sand KIBO				Splitt Kieswerk Boningen					
<b>Brechhorn</b>	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte 2.69 g/cm <sup>3</sup>					
<b>EINDRINGTIEFE</b>													
<sup>1</sup> statisch				30' ≤ 1.7 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 0.4 <sup>1</sup> mm					
<sup>1</sup> dynamisch				30' ≤ 3.0 <sup>1</sup> mm				Zunahme ≤ 1.3 <sup>1</sup> mm					
<b>KORNGRÖSSENVERTEILUNG</b>													
<b>Prüfsieb mm</b>	0.063	0.13	0.25	0.5	1	2	2.8	4	5.6	8	11.2	16	22.4
<b>Durchgang Masse%</b>	26	31	36	42	43	47	51	61	70	83	96	100	
<b>Masse%</b>	Filler 26			Sand 24				Splitt 50					
<b>Bemerkungen</b> <sup>1</sup> Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.													
<b>Revision</b>													
<b>Datum</b>	13. April 2010												
<b>Visum</b>													

Tabelle I.17 Erstprüfung, Mischgutsollwerte MA 11 S, Platte 8

## Abkürzungen

<b>Begriff</b>	<b>Bedeutung</b>
AC MR	Asphalt concrete magro rugueux
APP	Ataktisches Polypropylen
BS	Binderschicht
DS	Deckschicht
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EP	Einzelprojekt
FLK	Flüssigkunststoff
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LPDS	Layer Parallel Direct Shear Tester
mm	Millimeter
kN	Kilo Newton
MA	Gussasphalt
MMLS	Modell Mobile Load Simulator
MLS	Mobile Load Simulator
N	Zahl der Lastwechsel
PBD	Polymerbitumendichtungsbahn
PMMA	Polymethylmethacrylat
PU	Polyurethan
SBS	Styrol Butadien Styrol
SN	Schweizer Norm
SS	Schutzschicht
TP	Technische Prüfvorschrift
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute

## Literaturverzeichnis

- 
- [1] Witczak, M. "Simple Performance Tests: Summary of Recommended Methods and Database", NCHRP Report 547, Washington, TRB (2005)
- 
- [2] Bhasin, A ; Button, J W; Chowdhury, A.: "Evaluation of Simple Performance Tests on Hot-Mix Asphalt Mixtures from South Central United States", Transportation Research Record No. 1891, p. 174–181, ISSN 0361-1981 (2004)
- 
- [3] Sarsam, S.I.: "Improving asphalt concrete quality for ramps and approaches", Indian Highways, vol. 34, no. 3. p. 61-66, ISSN: 0376-7256 (2006)
- 
- [4] Partl, M.N. [Editor]: "Performance testing and evaluation of bituminous materials PTEBM'03", Proceeding of 6<sup>th</sup> International RILEM Symposium, Zuerich, Switzerland (2003)
- 
- [5] Sousa, J. B., Craus, J., Monismith, C.: "Permanent Deformation in Asphalt Concrete" SHRP-A-318, (1991)
- 
- [6] Elliott, R.C., Sida, M.: "Performance testing of mastic asphalt for bridge surfacing", Proceedings of 2nd Euraspalt and Eurobitume Congress, 20..22 Sept Barcelona, p1022-8, ISBN: 90-8028884-3-8 (2000)
- 
- [7] Eulitz, H.-J, Damm, K.-W., Ammadi, M.: "Erweiterte Eignungsprüfungen für Brückenbeläge aus Gußasphalt", Bitumen vol. 6, No. 4, ISSN 0006-3916 (2004)
- 
- [8] Crispino, M., P, Nicolosi, V. 1997. "Temperature analysis in prediction of the rutting of asphalt concrete". International Journal of Road Materials and Pavement Design. Vol. 2 No. 4, p 403-419, ISSN 1468-0229 (2001)
- 
- [9] Hugenschmidt, J.: "Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung), VSS 2005/701, (2010)
- 
- [10] Hugo, F, Epps, A.: "Significant Findings From Accelerated Pavement Testing", NCHRP Synthesis 325, TRB (2004)
- 
- [11] Partl, M.N., Flisch, A., Jönsson, M.: "Comparison of Laboratory Compaction Methods Using X-ray Computer Tomography" International Journal of Road Materials and Pavement Design. Vol. 8 No. 2 (2007)
- 
- [12] SN 640450 Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten, Systemaufbauten, Anforderungen und Ausführung,
- 
- [13] Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormaßstab, Forschungsauftrag VSS 2007/502, Bericht Nr. 1335 (2011)
- 
- [14] SN 640 441b NA Nationales Vorwort Asphaltmischgut, Mischgutanforderungen – Teil 6: Gussasphalt
- 
- [15] EN 13108-20 Asphalt – Mischgutanforderungen – Teil 20 - Erstprüfung
- 
- [16] Technischen Prüfvorschrift für Asphalt TP Asphalt-StB Teil 25 A1, Dynamischer Stempeleindruckversuch an Gussasphalt, FGSV (2009)
- 
- [17] Leutner, R. 1979. Untersuchungen des Schichtenverbunds beim bituminösen Oberbau. Fachartikel. Bitumen 3 (1979)
- 
- [18] Raab, C., Partl, M. N. „Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbunds von Asphaltbelägen“, ASTRA-Project FA 12/94, Report No 44 (1999)
- 
- [19] EN 13108-25 Asphalt – Prüfverfahren für Heißasphalt – Teil 25: Druckschwellversuch
- 
- [20] Technischen Prüfvorschrift für Asphalt TP Asphalt-StB Teil 25 B1, „Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme“ FGSV ( 2010)
- 
- [21] Raab, C., Abd El Halim A. O., Partl, M.N.: Interlayer Bond Testing using a Model Material, Construction and Building Materials 26, pp. 190..199 (2012)
- 
- [22] SN 640431-20b-NA Nationales Vorwort Asphaltmischgut – Mischgutanforderungen – Teil 20 - Erstprüfung
-

# 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

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 21.01.2014

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2006/511\_OBF

Projekttitel: Forschungspaket Brücken: EP1 - Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung

Enddatum:

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Belagsaufbauten für Betonbrücken sind komplexe Systeme, die eine Vielzahl von Anforderungen zu erfüllen haben. Neben der Aufgabe der Abdichtung der Betonkonstruktion gegen Wasser und Tausalz müssen sie dem besonders spurtreuen Verkehr und den aufgrund ihrer Exposition auftretenden Temperaturschwankungen große Hitze und Kältebelastungen standhalten. Weiterhin wird heute oft gefordert, dass ihre Deckschichten den allgemeinen Lärmanforderungen genügen, weshalb traditionelle Gussasphaltschicht durch lösmindernde semidichte Deckbeläge ersetzt werden sollen. Das vorliegende, im Rahmen eines Forschungspakets „Brücken“ angesiedelte Einzelprojekt „EP1- Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung“ hatte zum Ziel:

- die Evaluation und Einstufung von Prüfungen und Prüfverfahren zur Bewertung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus des Abdichtungssystems,
- die Bestimmung und Zuordnung der Verformungsanteile der einzelnen Schichten im Gesamtaufbau,
- die Erläuterung besonders verformungsempfindlicher Schichten (beziehungswise Materialien) und
- die Beschreibung des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten im Sinne der Schweizer Norm „Brückenabdichtungen“ (SN 640450).

Aus der Auswertung geht hervor, dass sich Prüfungen, wie der Druckschwellversuch und der dynamische Stempelpenetrationsversuch, die für die Prüfung von Asphaltbetonprobekörpern entwickelt wurden, im Hinblick auf Versuchsdurchführung und Anforderungen nicht einfach auf die Prüfungen von Abdichtungssysteme für Brücken, die aus Gussasphalt bzw. semidichten Deckschichten bestehen, übertragen werden können. Ebenfalls ist die Übertragung von Prüfungen für einzelne Schichten auf Systeme, d.h. die gleichzeitige Prüfung mehrerer Schichten, nicht ohne weiteres möglich. Wenn man den Widerstand gegen Verformung und die Stabilität bei hohen Temperaturen, wie er im Druckschwellversuch untersucht wird, betrachtet, schneiden Systeme mit einer schwimmend verlegten Gussasphaltabdichtung am besten ab. Hingegen zeigen die Untersuchungsergebnisse, dass Systeme mit einem dreilagigen Schichtaufbau über der Polymerbitumendichtungsbahn im Hinblick auf ihre Stabilität und ihr Verformungsverhalten eher vermieden werden sollten. Aus dem Druckschwellversuch geht weiterhin hervor, dass semidichte Deckschichten wegen ihrer geringeren Standfestigkeit nicht Gussasphaltschichten vorgezogen werden sollten. Da in diesem Forschungsprojekt nur ein Teil des Systeme für den Spurbildungstest ausgewählt worden war, um den Einfluss der unterschiedlichen Abdichtungsschichten (PBD APP, PBD SBS, FLK PU and FLK PMMA) auf den Widerstand gegen bleibende Verformungen zu untersuchen, ist es aufgrund der vorliegenden Untersuchung nicht möglich, alle Brückenabdichtungssysteme zu beurteilen. Allerdings zeigen die Ergebnisse des Spurbildungstests, dass die Verformung im wesentlichen auf die Deckschicht beschränkt bleiben und dass die Streuungen der Materialqualität zwischen nominell gleichen Mischguttypen so groß ist, dass die Prüfungen daher nicht in der Lage sind, das Verhalten des Gesamtsystems (inklusive Abdichtung) zu beschreiben.

Für die Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformungen von Brückenabdichtungssystemen sollten vorzugsweise 1:1 in situ Verkehrslastsimulatoren wie der Mobile Load Simulator MLS10 eingesetzt werden. Für Laboruntersuchungen mit MMLS3 oder ähnlichen Geräten sollten die Schichtdicken der Systeme reduziert werden.

Die Prüfung des Schichtenverbunds zeigt einen sehr guten Verbund für alle Gussasphaltschichten mit Mittelwerten der maximalen Scherkraft von mehr als 60 kN bei einer Prüftemperatur von 20°C. Das Verbundverhalten der semidichten Deckschichten ist mit Mittelwerten der Scherkraft zwischen 12 kN and 18 kN deutlich niedriger und in Bezug auf den in der Norm enthaltenen Anforderungswert von 15 kN deutlich kritischer. Für die Polymerbitumendichtungsbahnen auf Beton ergeben sich Werte der maximalen Scherkraft zwischen 8 kN und 12 kN, wobei kein Unterschied zwischen APP und SBS modifizierten Dichtungsbahnen erkennbar ist. Im Gegensatz dazu, ergibt sich für die mit PMMA modifizierte Flüssigkunststoffabdichtung eine sehr hohe mittlere Scherkraft von 55 kN, und damit der beste Wert aller untersuchten Abdichtungen. Insgesamt sollte der Einsatz von semidichten Deckschichten anstelle von Gussasphaltdeckschichten wegen der geringeren Stabilität und der deutlich geringeren Schichtverbundwerte nur in Fällen in Erwägung gezogen werden, in denen besonderer Lärmschutz erforderlich ist.

Es ist bemerkenswert, dass zwischen den Ergebnissen der beiden triaxialen Prüfungen wie dem Spurbildungstest mit dem Verkehrslastsimulator MMLS3 und der dynamische Stempelpenetrationsversuch durchaus Parallelen bestehen. Dies sowohl bei der Bewertung und als auch im Ranking der untersuchten Systeme. Bei den triaxialen Versuchsaufbauten bleiben die Verformungen im wesentlichen auf die oberste Schicht beschränkt. Dabei deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der Gesamtaufbau möglicherweise das Ausmaß der Verformung in der Deckschicht mit beeinflusst. Die im einzelnen festgestellten großen Streuungen zeigen aber auch, dass Materialunterschiede einen erheblichen Einfluss auf die Verformung der Deckschicht haben.

Die einaxiale Prüfung, wie sie im einaxialen Druckschwellversuch vorliegt führt dagegen zu anderen Aussagen bezüglich Bewertung und Ranking der Systeme und zeigt, dass die durch die monoaxiale Belastung hervorgerufenen Verformungen, alle Schichten in Mitleidenschaft gezogen werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

### Zielerreichung:

In Bezug auf die Erreichung der im Forschungsantrag formulierten Ziele liess sich folgendes sagen:  
- Evaluations und Erstellung von Prüfungen und Prüfverfahren zur Bewertung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus im Sinne eines Eignungsnachweises (unter Berücksichtigung von Aussagekraft, Prüfdauer und Prüfkosten).  
Lediglich der im Rahmen der Forschungsarbeit durchgeführte einaxiale Druckschwellversuch war in der Lage, Aussagen über die Standfestigkeit des Gesamtaufbaus der Belagsaufbauten für Betonbrücken zu machen.  
Auch die Prüfung des Schichtenverbands ermöglicht Aussagen über das Systemverhalten, da folgender Schichtenverbund zum einen das horizontale Verschieben einer nachgebenden Schicht erlaubt wodurch die Standfestigkeit des Aufbaus reduziert werden kann und zum anderen die Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems direkt einfluss hat.  
- Bestimmung und Zuordnung der Verformungsanteile der einzelnen Schichten im Gesamtaufbau.  
Grundsätzlich ist es mit dem einaxialen Druckschwellversuch möglich, die Verformungsanteile einzelner Schichten zu bestimmen. Allerdings war es, bedingt durch große Streuungen in der Materialqualität nicht möglich, abschließende Aussagen über die Eignung eines Systems zu machen.  
- Ermittlung besonders verformungsempfindlicher Schichten (beziehungsweise Materialien, aus denen sie bestehen) inkl. Begründung ihres Verhaltens.  
Obwohl wegen der Streuungen in der Materialqualität Vorsicht geboten ist, lassen sich Systeme mit 3-schichtigen Gussasphaltaufbauten auf Polymerbitumenabdichtungsbahnen als besonders verformungsanfällig bezeichnen, ihre besondere Verformungsanfälligkeit lässt sich dabei aus der Dicke der Gussasphaltschichten her.  
Auch konnte gezeigt werden, dass Deckschichten aus AC MR als deutlich verformungsanfälliger sind als Gussasphaltdeckschichten. In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Korn zu Korn Abreibung auf dem „lässigen“ Gussasphalt nicht mobilisiert werden kann, worfür auch die Ergebnisse der Schichtenverbundprüfung nach Leisler sprechen.  
- Beschreibung des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten des Verformungsverhaltens typischer Aufbauten im Sinne der Schweizer Norm (SN 840450).  
In Bezug auf Standfestigkeit und Widerstand gegen bleibende Verformungen zeigen Systeme mit einer schwimmend verlegten Gussasphaltabdichtungsschicht, aber auch Systeme mit Flüssigkunststoffabdichtungen im Vergleich das beste Verformungsverhalten und sind daher zu empfehlen. Dagegen sind Systeme mit einem dreilagigen Gussasphaltaufbau über einer Polymerbitumenbahn zu vermeiden, insgesamt müssen aber im Zuge der weiteren Evaluation von Prüfmethoden hier genauere Anforderungen festgelegt werden.  
- Formulierung erster Vorschläge für Anforderungswerte (im Sinne eines Eignungsnachweises) für den Gesamtaufbau von Abdichtungssystemen und bitumenhaltigen Schichten auf Betonbrücken aufgrund der Ergebnisse dieser Forschungsarbeit.  
Im Rahmen der durchgeführten Forschung ist es aufgrund der Variabilität der Materialqualität und der für mehrschichtige Aufbauten noch zu wenig optimierten Prüfverfahren nicht möglich, Anforderungswerte festzulegen. Einzig bezüglich des Schichtenverbands sollten für den Verbund zwischen Abdichtung und Beton Werte von 12 kN nicht unterschritten werden.

### Folgerungen und Empfehlungen:

Die Ergebnisse der Untersuchung beweisen die Notwendigkeit weiterer Forschungen zur Entwicklung von für andere Materialien als Asphaltbeton und für Systemaufbauten geeigneten Prüfmethoden. Neben der Definition von Prüfbedingungen und Anforderungen für verschiedene Materialien, ist es wichtig, mehr Erfahrungen mit der Prüfung von Mehrschichtsystemen zu bekommen, wobei vor allem ein Augenmerk auf die Qualität und Gleichmäßigkeit der Materialien gelegt werden sollte.  
In Bezug auf Standfestigkeit und Widerstand gegen bleibende Verformungen zeigen Systeme mit einer schwimmend verlegten Gussasphaltabdichtungsschicht, aber auch Systeme mit Flüssigkunststoffabdichtungen im Vergleich das beste Verformungsverhalten und sind daher zu empfehlen. Dagegen sind Systeme mit einem dreilagigen Gussasphaltaufbau über einer Polymerbitumenbahn zu vermeiden. Insgesamt müssen aber im Zuge der weiteren Evaluation von Prüfmethoden hier genauere Anforderungen festgelegt werden.  
Der Einsatz von AC-MR Deckschichten anstelle von Gussasphaltdeckschichten ist wegen der geringeren Stabilität und der deutlich geringeren Schichtverbundwerte nicht zu empfehlen und sollte nur in Fällen, in denen besonderer Lärmschutz erforderlich ist, in Erwägung gezogen werden.  
Für die Ermittlung des Widerstands gegen bleibende Verformungen von Brückenabdichtungssystemen sollten vorzugsweise in situ Verkehrslastsimulatoren wie der Mobile Load Simulator MLS10 eingesetzt werden. Für Laboruntersuchungen mit MMLS3 oder ähnlicher Geräten müssen die Schichtdicken der Systeme reduziert werden, um den Widerstand gegen bleibende Verformungen des Gesamtsystems beurteilen zu können.  
Um die zwischen den mono- und triaxialen Prüfungen gefundenen Unterschiede zu verifizieren oder zu widerlegen, sind auch hier weitere Untersuchungen mit breiterer statistischer Absicherung zu empfehlen.

### Publikationen:

Es ist geplant, die Forschungsergebnisse in "Strasse und Verkehr" sowie auf einer internationalen Konferenz zu publizieren.

### Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Raab

Vorname: Christiane

Amt, Firma, Institut: Empa, Dübendorf

### Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

*C. Raab*

## **FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK**

### **Formular Nr. 3: Projektabschluss**

#### **Beurteilung der Begleitkommission:**

##### **Beurteilung:**

Die durchgeführten Arbeiten weichen in einigen Punkten von den ursprünglich beabsichtigten ab. Das ergab sich aus den Zwängen der Einpassung in ein Gesamtprojekt und wurde jeweils mit der Begleitkommission des jeweiligen Einzelprojekts abgesprochen. Unter Berücksichtigung dieser Modifikationen entspricht die Arbeit in Umfang und Qualität den gestellten Forderungen.

Aus verschiedenen Gründen, schon beginnend mit Verzögerungen bei der Bewilligung der Einzelprojekte, aber auch wegen der Suche nach Praxisobjekten und wegen technischen Problemen der einzelnen Forschungen, verzögerte sich der Ablauf des Gesamtprojektes, was auch dieses Einzelprojekt etwas bremste.

Die vorliegende Forschung umfasst für die Beurteilung der Standfestigkeit wichtige Prüfverfahren und konnte zeigen, dass dem Praxisverhalten nahestehende triaxiale Versuche vielversprechend sind, dass aber auch die Anwendung dieser Prüfungen auf mehrschichtige Systemaufbauten keineswegs trivial ist.

##### **Umsetzung:**

Da es sich zeigte, dass das Prüfen mehrschichtiger Systemaufbauten weiter zu erforschen ist, gibt die Arbeit nur erste Hinweise, wie in Praxis vorgegangen werden kann. Mit der Einschränkung auf triaxiale Prüfgeometrien kann vorgeschlagen werden, Fragen der Standfestigkeit im Sinne eines Quervergleiches mehrerer möglicher Systemaufbauten entweder mit dem dynamischen Stempel Eindringversuch oder mit einem Verkehrssimulator anzugehen, um die optimale Variante zu ermitteln.

##### **weitergehender Forschungsbedarf:**

Es empfiehlt sich, den dynamischen Stempel Eindringversuch und Verkehrssimulatoren vertieft und mit engem Bezug zu realen Objekten mit hohen Verkehrslasten zu untersuchen. Es müssen dabei genügend Prüfungen für eine statistisch gesicherte Auswertung durchgeführt werden. Für die Probenherstellung sollten Versuchsfelder aufgebaut werden und die Resultate sollten mit dem Praxisverhalten verglichen werden, welches während einiger Jahre zu verfolgen wäre.

##### **Einfluss auf Normenwerk:**

Die Arbeit liefert wertvolle Hinweise wie Anforderungen an Systemaufbauten formuliert werden können. Allerdings reichen die Ergebnisse nicht aus, um schon Grenzwerte festlegen zu können. Zu erwägen ist, wie das schon mehrfach gehandhabt wurde, bei diesen Werten "wird geprüft" hinzuschreiben, und damit die Durchführung und Dokumentation zu verlangen.

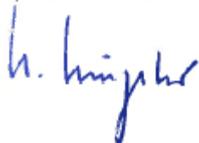
#### **Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:**

Name: Hürzeler

Vorname: Hans

Amt, Firma, Institut: Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt

#### **Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:**



# Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 31.10.2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	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	Viellissement 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
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
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 Technologientransfer 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 Treppenwegen	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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	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
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitversuche 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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	Entwurfsgrundlagen 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
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschieben 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 Verkehrpsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisell	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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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: Griffigkeit 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 Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln 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	Kaphaltestellen 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
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 verkehrintensiven 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 Ausbauphosphat 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
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
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 Netzrisikos	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