



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: EP3 - Langzeitverhalten des Verbundes

Paquet de recherche étanchéité de pont: EP3 - comportement de l'adhérence à long terme

Research package bridge-deck system: EP3 - Long term behaviour of the bond-layer

IMP Bautest AG
Dr. Christian Angst

Forschungsprojekt VSS 2006/513_OBF auf Antrag des Schweizerischen Verbands 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)



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 Brückenab- dichtungen: EP3 - Langzeitver- halten des Verbundes

**Paquet de recherche étanchéité de pont: EP3 - comporte-
ment de l'adhérence à long terme**

**Research package bridge-deck system: EP3 - Long term
behaviour of the bond-layer**

IMP Bautest AG
Dr. Christian Angst

**Forschungsprojekt VSS 2006/513_OBF auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Christian Angst

Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Bautechnik

Gesamtprojektleiter: Dr. Remy Gubler

Begleitkommission

Präsident, Gesamtprojekt

Hans Hürzeler

Mitglieder Gesamtprojekt

Heinz Aeschlimann

Harry Fehlmann

Kurt Frei

Jean-Christoph Putallaz

Jean-Marc Waeber

Hans Wahlen

Präsident, Einzelprojekt

Martin Horat

Mitglieder Einzelprojekt

Robert Braber

Erhard Kälin

Dr. Manfred Partl

Christiane Raab

Rolf Werner

Christian Balz

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	5
	Zusammenfassung	9
	Résumé	11
	Summary	13
1	Schlussbericht	15
1.1	Ausgangslage	15
1.2	Aufgabenstellung EP3 Langzeitverhalten des Verbundes	15
1.3	Erwartete Ergebnisse	16
1.4	Nutzer und Nutzniesser der Erkenntnisse	16
2	Konzept	17
2.1	Untersuchte Brückenabdichtungssysteme	17
2.2	Verwendete Materialien/Systeme	18
2.3	Konditionierung der Platten	19
2.4	Herstellung der Platten	19
2.5	Prüfmethoden im Labor	21
3	Methodenentwicklung	23
3.1	Zug- / Schwellversuch	23
3.1.1	Vorbereitung der Prüfkörper	23
3.1.2	Parameterstudie	26
3.1.2.1	Einfluss der Unterlast	29
3.1.2.2	Einfluss der Oberlast	30
3.1.2.3	Einfluss der Temperatur	31
3.1.3	Festlegung der Prüfparameter	32
3.1.4	Präzision der Prüfmethode	32
3.2	Schubschwellversuch	34
3.2.1	Grundlagen der Prüfung	34
3.2.2	Parameterstudie	35
3.2.2.1	Prüfparameter	35
3.2.2.2	Einfluss der Temperatur	36
3.2.3	Festlegung der Prüfparameter	37
3.2.4	Präzision des Prüfverfahrens	37
3.3	In-situ Versuche	39
3.3.1	Allgemeines	39
3.3.2	Zug-Schwellversuche	39
3.3.3	Schubversuche	40
3.3.4	Torsionsversuche	41
3.3.5	Fazit in situ Prüfungen	42
4	Prüfungen der Abdichtungssysteme	43
4.1	Prüfplan	43
4.2	Zugschwellversuche	44
4.3	Schubschwellversuche	46
5	Einfluss der Lagerung auf den Haftverbund	49
6	Einfluss des Betonuntergrundes auf den Haftverbund	51
6.1	Zielsetzung	51
6.2	Vorgehen	51
6.3	Ergebnisse	53
6.4	Diskussion	53

7	Folgerungen	55
	Anhänge.....	57
	Literaturverzeichnis.....	87
	Projektabschluss	89
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	93

Zusammenfassung

Der Verbund der Abdichtung auf die Betonunterlage wird durch die unter Verkehr auftretenden Scherkräfte beansprucht. Ein, durch geringe Mängel beim Einbau oder aufgrund einer reduzierten Materialverträglichkeit, geschwächter Verbund kann durch die Einwirkung des Verkehrs weiter abnehmen, wenn Scherkräfte bis auf die Abdichtung übertragen werden oder wenn Pumpeffekte auftreten.

Das Hauptziel des Forschungsprojektes besteht darin, ein Laborprüfverfahren zu entwickeln mit welchem die Eignung eines Brückenabdichtungssystems in Bezug auf das Langzeitverhalten des Verbundes zwischen Abdichtung und Betonunterlage bewertet werden kann.

Zu diesem Zweck wurden Platten mit Brückenabdichtungsaufbauten im Labor unter verschiedenen klimatischen Bedingungen hergestellt. Als Abdichtung wurden Polymerbitumendichtungsbahnen PBD auf bitumenhaltiger Grundierung sowie auf Epoxid-Harz-Versiegelung, Flüssigkunststoff-Abdichtungen PU sowie PMMA verwendet. Vor dem Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt MA 8 wurde die Abdichtung unterschiedlich konditioniert; diese Konditionierung entspricht verschiedenen in der Praxis vorkommenden Fällen: "optimale Bedingungen", "Regen am Vortag" sowie "Taufeuchte". Obwohl das Hauptziel des vorliegenden Forschungsauftrages auf dem Haftverbund Abdichtung zum Betonuntergrund liegt, wurden die obenerwähnten Prüfplatten aus einem anderen Einzelprojekt des Forschungspaketes verwendet, um die Prüfergebnisse innerhalb des Forschungspaketes „Brückenforschung“ weiter verwenden zu können.

Um den Haftverbund der Abdichtung zur Unterlage unter dynamischer Beanspruchung zu prüfen, mussten neue Prüfmethode entwickelt werden. Dabei wurden zwei Ansätze parallel verfolgt, nämlich einen dynamischen Zugversuch und einen dynamischen Schubversuch. In beiden Fällen waren die Parameter derart festzulegen, dass eine hohe Anzahl von Belastungszyklen aufgebracht werden kann, ohne dass eine Schichthaftung bzw. ein Bruch erfolgt. Um eine möglichst hohe Wiederholbarkeit zu erreichen, wurden für die dynamischen Versuche sog. Zug-Schwellversuche bzw. Schubschwell-Versuche gewählt. Dabei wird von einer Unterlast ausgehend eine entsprechende Oberlast angesteuert. Das Verhältnis von Unter- zu Oberlast wurde zu 1:10 festgelegt.

Sowohl für den Zugschwellversuch wie auch für den Schubschwellversuch wurden entsprechende Prüfmethode entwickelt und folgende Prüfparameter festgelegt: Unter- und Oberlast, Prüftemperatur, Belastungskurve (Haversine mit Lastpausen). Anschliessend wurde die Präzision der Prüfverfahren untersucht. Mit einer Reihenuntersuchung wurde die Wiederholbarkeit (Vergleichbarkeit mit gleichem Gerät und gleichem Prüfer) der beiden entwickelten Prüfmethode Zug- und Schub-Schwellversuch bestimmt. Für den Zugschwellversuch wurde eine Wiederholbarkeit von 64%; für den Schubschwellversuch eine von 16% festgestellt. Für weitere Arbeiten wird empfohlen den dynamischen Schubschwellversuch zu bevorzugen.

Es konnte kein systematischer Einfluss der Konditionierung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht auf den Haftverbund Abdichtung/Unterlage festgestellt werden.

Im Rahmen einer Untersuchung des Haftverbundes von PBD-Abdichtungen mit unterschiedlichem Haftvermittler (bitumenhaltig bzw. auf Epoxidharzbasis), sowie auf unterschiedlichen Betonoberflächen, konnte festgestellt werden, dass der Luftporengehalt des Betons bei bituminöser Grundierung einen Einfluss auf die Haftung der Abdichtung auf den Betonuntergrund ausübt.

Im Vergleich der beiden Betone mit Luftporengehalte von 1.1 bzw. 5.4 Vol.-% erfolgte bei den Prüfkörpern mit einem höheren Luftporengehalt, ein Ablösen der Abdichtung vor dem Erreichen der 2000 Belastungs-Zyklen. Diese Feststellung konnte bei zwei verschiedenen Arten der Oberflächenbearbeitung (Flügelmaschine bzw. Vibrobalken) beobachtet werden. Im Vergleich der Oberflächenbearbeitung bei gleichbleibendem Luftporengehalt zeigt sich, dass mit einer Flügelmaschine kleinere Deformationen (besseres Verhalten) erreicht werden können.

Résumé

L'adhérence de l'étanchéité au support en béton est sollicitée par les forces de cisaillement entraînées par le trafic. Une adhérence affaiblie, due à des défauts mineurs de pose ou à un problème de compatibilité des matériaux, peut se dégrader d'avantage sous l'influence du trafic, si les forces de cisaillement sont transmises jusqu'à l'étanchéité ou en cas d'effet de pompage.

L'objectif principal de ce projet de recherche est de développer une méthode d'essai en laboratoire permettant d'évaluer l'aptitude d'un système d'étanchéité par rapport à l'évolution à long terme de l'adhérence entre l'étanchéité et le support en béton.

Dans ce but, des dalles avec différents systèmes d'étanchéités ont été confectionnées sous différentes conditions climatiques en laboratoire. Deux types d'étanchéités ont été mises en place: lés en PBD sur enduit bitumineux resp. sur vitrification époxy et une étanchéité liquide FLK en PU resp. en PMMA. Avant la pose de la couche de protection en asphalte coulé MA 8, les dalles ont été soumises à des conditions climatiques spécifiques, correspondant aux différents cas réels de la pratique : "condition optimale", "pluie la veille" et "humidité de rosée". Bien que l'objectif principal de ce projet de recherche soit l'analyse de l'adhérence entre l'étanchéité et le support en béton, les dalles analysées ont été reprises d'un autre projet partiel du paquet de recherche, afin de pouvoir réintégrer ces résultats dans le paquet de recherche "Brückenforschung".

Afin de pouvoir analyser l'adhérence entre l'étanchéité et le support en béton sous des sollicitations dynamiques, il a été nécessaire de développer des nouvelles méthodes d'essai. Deux approches ont été évaluées en parallèle : un essai de traction dynamique et un essai de cisaillement dynamique. Dans les deux cas, les paramètres d'essai devaient être définis de telle manière à ce que les systèmes d'étanchéité supportent un grand nombre de cycles de sollicitations sans qu'il y ait perte d'adhérence ou rupture. Afin d'optimiser la répétabilité des résultats, le choix des méthodes s'est porté sur des essais de tractions-cycliques resp. de cisaillements cycliques. Pour ces essais, la charge appliquée varie entre une charge minimale et une charge maximale. Le rapport entre la charge minimale et la charge maximale a été défini à 1:10.

Pour les essais de tractions cycliques et de cisaillements cycliques, des nouvelles méthodes d'essai spécifiques ont été développées et les paramètres d'essai définis : charge minimale et maximale, température d'essai, courbe de charge (Haversine à charge intermittente). Par la suite, la précision des méthodes a été analysée. La répétabilité des essais de tractions cycliques et de cisaillements cycliques a été déterminée par des séries d'essai (reproductibilité avec même appareillage et même opérateur). Une répétabilité de 64% a été déterminée pour l'essai de tractions cycliques et de 16% pour l'essai de cisaillements cycliques. Pour la suite des travaux, il est recommandé de favoriser l'essai de cisaillements cycliques.

Aucune relation systématique n'a pu être démontrée entre les conditions climatiques appliquées avant la pose de la couche de protection et l'adhérence entre l'étanchéité et le support. Dans le cadre de la recherche sur l'adhérence des lés d'étanchéités en PBD sur différents enduits d'accrochage (bitumineux, sur base d'époxy) et différentes surfaces en béton, il a été démontré, qu'en cas d'enduit d'accrochage bitumineux, la teneur en air du béton influence l'adhérence entre l'étanchéité et le support.

En comparant les deux supports en béton avec des teneurs en air de 1.1 resp. 5.4%-vol, l'étanchéité s'est décollée avant 20'000 cycles de charge sur les éprouvettes avec la teneur en air plus élevée. Ce même phénomène a été constaté sur des surfaces en bétons préparées de deux manières différentes : talochage à l'hélicoptère resp. à la règle vibrante. A une teneur en air égale, il s'est avéré que les déformations sont plus faibles (comportement meilleure) en cas de talochage à l'hélicoptère.

Summary

Bridge deck systems have to withstand heavy traffic and high temperature fluctuations. Particularly the bonding between the sealing and the concrete are affected by the shear forces and pumping effects of the passing traffic. These forces can aggravate flaws of the sealing that were present already after the laying of the sealing system. Whether those flaws originate from installation lack or from incompatibility of the used materials is irrelevant. The shear forces reach the sealing and weaken it further at those weak spots.

The aim of this study is to develop a procedure to test bridge sealing systems. This test should give information on the long-term behaviour of the bonding between sealing and concrete.

For the purpose of testing different climate influences, bridge sealing systems were constructed in the lab under controlled environmental conditions. For the sealing liquid plastic waterproofing materials based on PU and PMMA were used as well as a polymer modified bituminous waterproofing membrane (PBD) laid on two different primers. The primers used were a bituminous binder and an epoxy resin. After the application of the sealing layer the specimen were treated to various climatic weather conditions. The simulated weather conditions were chosen as 'perfect conditions', 'rain the day before', and 'dewy' conditions. After the conditioning the protection layer MA 8 was applied.

New methods had to be developed to be able to measure the bonding of the sealing to the base in cycling tests. Two different methods got selected. The so called dynamic tensile test and dynamic shear test were developed. In both cases the testing parameters had to be chosen with the aim to reach a high number of load cycles without breaking of the specimen. To get the best possible repeatability swell tests as been chosen.

For the dynamic shear test and dynamic tensile test the main parameters were evaluated and determined. This includes the lower and upper load, the temperature, and stress curves (Haversine with breaks). The ratio used between the upper and lower load forces was 1:10. Afterwards the precision of the newly developed procedure was tested. Repeated measurements were conducted with the same machine and same operator performing the experiment. For the dynamic tensile test a reproducibility of 64% was reached. For the dynamic shear test the reproducibility is 16%. Therefore for any further tests it is recommended to use the dynamic shear test.

The conditioning of the sealing before being covered by the protective layer showed no systematic influence on the bonding between sealing and base.

Tests with polymer modified bituminous waterproofing membrane on different primers (bituminous and epoxy base) and different concrete surfaces showed, that the air void contents of the concrete has a big influence on the bonding for membranes laid on bituminous primers.

The two different air void contents used were 1.1 Vol.-% and 5.4 Vol.-%. For the one with the higher air void content, the sealing came loose before 2'000 load cycles were achieved. The same weakness could be observed for two different kinds of surface treatment (wet screed/power trowel). A comparison of the different surface treatment methods shows however that the power trowel results in better behaviour and smaller deformations.

1 Schlussbericht

1.1 Ausgangslage

Im Zuge der Überarbeitung und Revision der Norm 640 450 „Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken“ [2], welche 2005 publiziert wurde, zeigten sich mehrere Wissenslücken. Um die offenen Fragen zu beantworten, wurde ein Initialprojekt „Forschungspaket Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Decken auf Betonbrücken“ [1] bearbeitet, in welchem die Ziele und der Ablauf des Forschungspaketes festgelegt wurden. Dieses Forschungspaket gliedert sich in folgende Einzelprojekte.

- EP1 Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung
- EP2 Flüssigkunststoff-Abdichtung, Erfassen der Verbundproblematik
- EP3 Langzeitverhalten des Verbundes
- EP4 Zerstörungsfreie Prüfungen, Beurteilung von Verbund und Oberflächen
- EP5 Mechanismen der Blasenbildung
- EP6 Randanschlüsse und Randabschlüsse sowie Anschlüsse an Einbauten

1.2 Aufgabenstellung EP3 Langzeitverhalten des Verbundes

Der Verbund der Abdichtung auf die Betonunterlage wird durch die unter Verkehr auftretenden Scherkräfte beansprucht. Ein durch geringe Mängel beim Einbau, oder aufgrund einer reduzierten Materialverträglichkeit, geschwächter Verbund kann durch die Einwirkung des Verkehrs weiter abnehmen, wenn Scherkräfte bis auf die Abdichtung übertragen werden, oder wenn Pumpeffekte auftreten.

Das Hauptziel des Forschungsprojektes besteht darin, ein Laborprüfverfahren zu entwickeln, mit welchem die Eignung eines Brücken-Abdichtungssystems in Bezug auf das Langzeitverhalten des Verbundes zwischen Abdichtung und Beton-Unterlage bewertet werden kann.

Gemäss Initialprojekt zum Forschungspaket Brückenabdichtungssysteme [1] hat das vorliegende Forschungsprojekt:

- Die Auswirkung der Konditionierung (Lagerung unter verschiedenen klimatischen Bedingungen) der Abdichtung auf das Langzeitverhalten des Verbundes zu bitumenhaltigen Schichten zu untersuchen.
- Die Eignung der angewendeten Prüfmethode zu bewerten, in wie weit sie die Systemtauglichkeit eines Brücken-Abdichtungssystems festzustellen kann.
- Den Einsatz dynamischer Prüfverfahren „in Situ“ zu untersuchen und dessen Machbarkeit zu ermitteln.
- Vorschläge zu Anforderungswerten (im Sinne eines Eignungsnachweises) aufgrund der ermittelten Kennwerte zu machen.

1.3 Erwartete Ergebnisse

Das Forschungsprojekt soll

- Grundlagen für das Schliessen von Wissenslücken im Bereich der Norm SN 640 450 liefern. Davon profitieren werden auch verwandte und zurzeit erst geplante Normen. So wird in Bezug auf Abdichtungssystem und bitumenhaltige Schichten auf Beton in Tunnels in der SN 640 450 nur gesagt, die Norm könne auch bei solchen Systemen angewendet werden. Wissenslücken in der SN 640 450 betreffen also auch solche Bauweisen.
- Das Verständnis für Schadensmechanismen fördern und dieses in den Dienst der Schadensvermeidung stellen. Damit kann das Qualitätsniveau angehoben und die Nutzungsdauer der Brücken verlängert werden.
- Nationale und internationale Erfahrungen für die Schweiz besser nutzbar machen. Es soll der Wissensvermittlung für die Praxis dienen.

1.4 Nutzer und Nutzniesser der Erkenntnisse

Die Schweiz hat allein auf den Nationalstrassen rund 4'000 Brücken, auf dem übrigen Strassennetz weit über 10'000 Brücken. Der Unterhalt ist ein wesentlicher Kostenfaktor und belastet die öffentliche Hand überproportional. Die Brücken sind zudem Schlüsselstellen im Verkehrsnetz. Einschränkungen des Verkehrs durch Baustellen fallen hier besonders ins Gewicht. Entsprechend gross ist die Motivation, Schäden zu vermeiden. Nutzniesser des Forschungspaketes und aller Einzelprojekte sind somit

- die Bauherren, da Informationen und Normen ihnen Planungshilfen liefern und da bessere Normen helfen die Kosten zu senken (Absenken der life cycle costs, insbesondere durch Schutz der Betonkonstruktion und damit verlängerter Nutzungsdauer)
- die Unternehmungen, die auf gute Normen angewiesen sind, um Baufehler zu vermeiden
- die Verkehrsteilnehmer, die von einer höheren Verfügbarkeit des Strassennetzes profitieren (Reduktion der Baustellen, weniger Verkehrsbehinderungen, verlängerte Nutzungsdauer). Die verringerten Verkehrsbehinderungen sind gerade bei Brücken von besonderer Bedeutung, da oft der Verkehr auf Brücken hin kanalisiert wird. Behinderungen können deshalb massive Rückstaus auslösen.
- Die Prüfinstitute, welche auf validierte, standardisierte Prüfmethode zurückgreifen können.

2 Konzept

2.1 Untersuchte Brückenabdichtungssysteme

Die vorliegende Arbeit zum Einzelprojekt EP3 ist Bestandteil eines Forschungspaketes bestehend aus insgesamt 6 Einzelprojekten.

Im Rahmen des gesamten Forschungspaketes wurden unter der Federführung des Gesamt-Projektleiters Dr. R. Gubler von den Projektleitern diverse Punkte gemeinsam festgelegt und koordiniert, um einen „roten Faden“ durch das Forschungspaket zu gewährleisten.

Die zu prüfenden Brückenabdichtungssysteme wurden auf der Basis der im Initialprojekt [1] festgelegten Aufbauten anlässlich der Projektleitersitzungen ausgewählt und mit den übrigen Projekten abgesprochen. Aus der Koordination des Gesamtprojektes sowie der Bedürfnisse des Einzelprojektes EP3 wurden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit die in der **Tab. 1** aufgeführten Aufbauten untersucht.

Tab. 1 Untersuchte Brückenabdichtungsaufbauten

Bez.	Grundierung	Abdichtung	Schutzschicht (SS)	Lagerung vor Einbau SS
FLK PU	Epoxid	PU	MA	L1
				L2
				L3
FLK PMMA	Epoxid	PMMA	MA	L1
				L2
PBD1	bitumenhaltig	PBD-SBS	MA	L1
				L2
PBD2	Epoxid	PBD-SBS	MA	L1
				L2
PBD3	Epoxid	PBD-APP	MA	L1
				L2

Die Abkürzungen L1, L2 und L3 werden in der Tab. 2 erläutert.

Im Verlauf der Arbeiten wurde das System PBD3 aufgegeben, da auf dem schweizerischen Markt seit einigen Jahren keine Bahnen mehr verwendet werden, welche auf der Basis von APP-Polymerbitumen modifiziert werden.

2.2 Verwendete Materialien/Systeme

Die diversen Hersteller bieten heute Brückenabdichtungen als System an; dazu gehören die Grundierung, die eigentliche Abdichtung und bei FLK-Abdichtungen zusätzlich eine Verbindungsschicht.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit werden keine Produktnamen genannt; die verwendeten Produkte wurden mit Typenbezeichnungen (zum Beispiel „FLK PU“) anonymisiert.

Die verwendeten Materialien sind wie folgt beschrieben:

- FLK PU; Polyurethan-Flüssigkunststoff (PU-FLK):
Es wurde eine füllstofffreie, rasch härtende Polyurethankombination aus zwei Komponenten zur Herstellung elastischer, rissüberbrückender Dichtungsschichten verwendet.
- FLK PMMA; Polymethylmethacrylat-Abdichtung (PMMA-FLK):
Es wurde eine rasch härtende, kalt applizierbare, PMMA-Monomer-Mischung aus zwei Komponenten zur Herstellung von fugenlosen Abdichtungen verwendet.
- Epoxidharz-Grundierung:
Grundierung 0.6 kg/m² Epoxidharz
leicht abgesandet mit 1 ... 1.5 kg/m² Quarzsand 0.3 ... 0.9 mm
- Epoxidharz-Versiegelung:
zusätzlich zur Grundierung: 0.5 kg/m², nicht abgesandet
- Bitumenhaltige Grundierung:
Voranstrich auf Basis von Elastomerbitumen, Lösungsmitteln und haftverbessernden Zusätzen
- PBD-SBS:
Elastomer-Bitumen-Dichtungsbahn
Bezeichnung gemäss SIA281: EP 5.0 ts, flam MA/AC
Schichtdicke 5.0 mm
Unterseite: Flammfolie
Oberseite: Talk/Sand
Für Gussasphalt und Asphaltbeton geeignet
- Gussasphalt :
MA 11 S mit polymermodifiziertem Bindemittel; Erstprüfung siehe ANHANG 1.1

2.3 Konditionierung der Platten

Eines der Ziele des Projektes besteht darin, den Einfluss der Konditionierung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht auf das Langzeitverhalten des Verbundes zu untersuchen. Aus diesem Grunde wurden verschiedene Prüfkörper unterschiedlich gelagert, bevor die Gussasphalt-Schutzschicht aufgebracht wurde. Diese Lagerungen wurden im Zusammenhang mit den übrigen Einzelprojekten besprochen und definiert. Für das vorliegende Forschungsprojekt waren die in der Tab. 2 festgelegten Konditionierungsparameter von Bedeutung.

Tab. 2 Wahl der Konditionierung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt MA8.

Bezeichnung	Bemerkung
L1 (trocken)	„ optimale Bedingungen “; entspricht Normalfall mit günstigem Wetter“: 7 Tage 23°C / 50% rel. Luftfeuchtigkeit (rF) Applikation Verbindungsschicht (nur bei FLK) Applikation Gussasphalt
L2 (nass)	„ Regen am Vortag “; entspricht einer Situation nach Regen und Entfernen des sichtbaren Wassers“ 7 Tage 23°C/50% rF 24h im Wasser Wasser abstreifen 24 Stunden 23°C/80% rF Applikation Verbindungsschicht (nur bei FLK) Applikation Gussasphalt
L3 (feucht)	„Feucht, neblig; entspricht einer Situation mit Taufeuchte “ 7 Tage 23°C/50% rF; 48 Stunden 23°C/80% rF Applikation Verbindungsschicht (nur bei FLK) Applikation Gussasphalt

2.4 Herstellung der Platten

Im Rahmen der Gesamtkoordination mit den übrigen Einzelprojekten wurden die Prüfplatten teilweise gemeinsam hergestellt. So stellte Technotest für unser Projekt folgende Platten her:

- FLK PU; Lagerung L1
- FLK PU; Lagerung L2
- FLK PU; Lagerung L3
- FLK PMMA; Lagerung L1
- FLK PMMA; Lagerung L2
- PBD 1; Lagerung L1

Ergänzend dazu hat IMP folgende Platten hergestellt:

- PBD 1; Lagerung L1
- PBD 1; Lagerung L2
- PBD 2; Lagerung L1
- PBD 2; Lagerung L2

Als Betonuntergrund wurden Betonplatten C (0,45) gemäss SN EN 1766 [3] mit dem Grösstkorn 20 mm verwendet. Die Platten wurden bis zur Verwendung bei 80 % relativer Feuchtigkeit gelagert. Damit entstand im Beton eine Feuchtigkeit die weitgehend der Praxis entspricht.

In Ziffer 6.2.1.2 der SN EN 1766 ist der Typ C (0,45) umschrieben mit «Die Mischung muss 360 kg/m^3 Zement enthalten und einen Wasserzementwert von 0.45 aufweisen. Die Mischungen müssen nach 28 Tagen, geprüft nach prEN 12390 [4], eine mittlere Druckfestigkeit von $(50 \pm 5) \text{ N/mm}^2$ für Würfel und $(40 \pm 5) \text{ N/mm}^2$ für Zylinder aufweisen, und, sofern zutreffend, eine Abreißfestigkeit, geprüft nach EN 1542, von mindestens 2.5 N/mm^2 .»

Zudem wurden für die Durchführungen der Methoden-Entwicklungen weitere 20 Platten PBD 2 am 07. April 2011 hergestellt. Für die Herstellung dieser Platten wurden herkömmliche Gartenplatten verwendet, bei denen eine mittlere Rautiefe von 0.35 mm gemessen wurde.



Abb.1 Herstellung von 20 Platten 40x40 cm mit dem Aufbau PBD 2 (EP-Versiegelung / PBD SBS-modifiziert / MA 11 40 mm)



Abb.2 Herstellung von 20 Platten 40x40 cm mit dem Aufbau PBD 2 (EP-Versiegelung / PBD SBS-modifiziert / MA 11 40 mm)

2.5 Prüfmethoden im Labor

Die Beanspruchung des Schubverbundes Abdichtung/Schutzschicht und Untergrund/Abdichtung unter dynamischer Belastung haben folgende Kriterien zu erfüllen:

- Die Versuchsparameter sind derart festzulegen, dass eine hohe Anzahl von Zyklen aufgebracht werden können, ohne dass eine Schichttrennung bzw. ein Bruch in einer Schicht erfolgt. Im Rahmen des Initialprojektes [1] wurde diese Anzahl zu 2'000 Zyklen vorgeschlagen.
- Die Beanspruchungsart soll der kritischen Beanspruchung in der Praxis möglichst nahe kommen. Aus diesem Grunde wurden dynamische Zugversuche wie auch dynamische Schubversuche festgelegt. Um eine möglichst hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen wurden für die dynamischen Versuche sogenannte Zug- / Schwellversuche beziehungsweise Schub- / Schwellversuche gewählt. Dabei wird von einer Unterlast ausgehend eine entsprechende Oberlast angesteuert. Das Verhältnis von Unter- zu Oberlast wurde mit 1:10 festgelegt.

Die Form der Belastungen wurde, in Anlehnung an andere dynamische Prüfungen in der Asphalttechnologie, haversine-förmig gewählt.

Die Einleitung der Kraft muss – insbesondere bei Zugversuchen – ohne Lastspitze erfolgen, um jegliche Überbelastung des Prüfkörpers zu vermeiden.

3 Methodenentwicklung

3.1 Zug- / Schwellversuch

3.1.1 Vorbereitung der Prüfkörper

- Abmessungen der Prüfkörper:

Die ersten Zug- / Schwellversuche wurden an Bohrkernen \varnothing 100 mm durchgeführt. Diese Bohrkern wurden gemäss Tab. 3 aus den Probeplatten gebohrt. Die ersten Versuche zur Entwicklung des Zug- Schwellversuches wurden den Prüfkörpern mit dem Systemaufbau FLK PU durchgeführt.

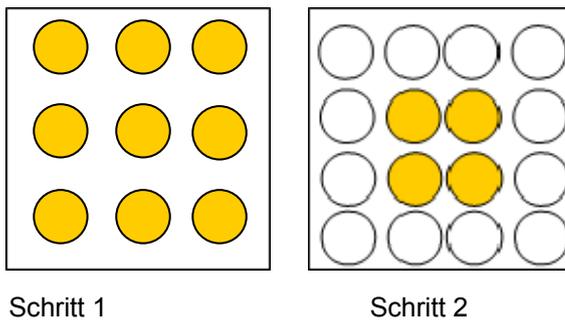


Abb.3 Schema der Bohrkern-Entnahme aus den Prüfplatten.

Da bei den ersten Ergebnissen, bei welchen die Bohrkern gemäss dem Schema „Schritt 1“ aus den Platten entnommen wurden viele Prüfkörper bereits bei der Bohrung einen Verlust des Schichtverbundes erlitten, wurde die Anordnung der Bohrkern gemäss „Schritt 2“ abgeändert. Damit sollten allfällige Effekte, welche den Verbund in den Randzonen negativ beeinflussen könnten, ausgeschlossen werden.

Tab. 3 Wahl der Prüfparameter für erste Versuchsreihen an Bohrkernen mit FLK PU Abdichtung

Unterlast N/mm ²	Oberlast N/mm ²		
	0.10	0.15	0.20
0.010	Versuch 1		
0.015		Versuch 3	
0.020	Versuch 2		Versuch 4

Tab. 4 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse der Zugversuche an Bohrkernen

Versuch	Probe Nr.	Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	Bemerkung
1a	10-05927-004 BK2	0.01	0.1	Bruch nach Zyklus 1
1b	10-05927-004 BK6	0.01	0.1	Bruch zwischen Zyklus 1800 und 1860
1c	10-05927-004 BK11	0.01	0.1	Bruch nach Zyklus 2
1d	10-05927-004 BK13	0.01	0.1	2050 Zyklen ohne Bruch
2a	10-05927-004 BK5	0.02	0.1	3500 Zyklen ohne Bruch
3a	10-05927-004 BK3	0.015	0.15	Bruch nach Zyklus 54
3b	10-05927-004 BK1	0.02	0.2	Bruch zwischen Zyklus 400 und 500
4a	10-05927-004 BK15	0.02	0.2	Bruch nach Zyklus 1

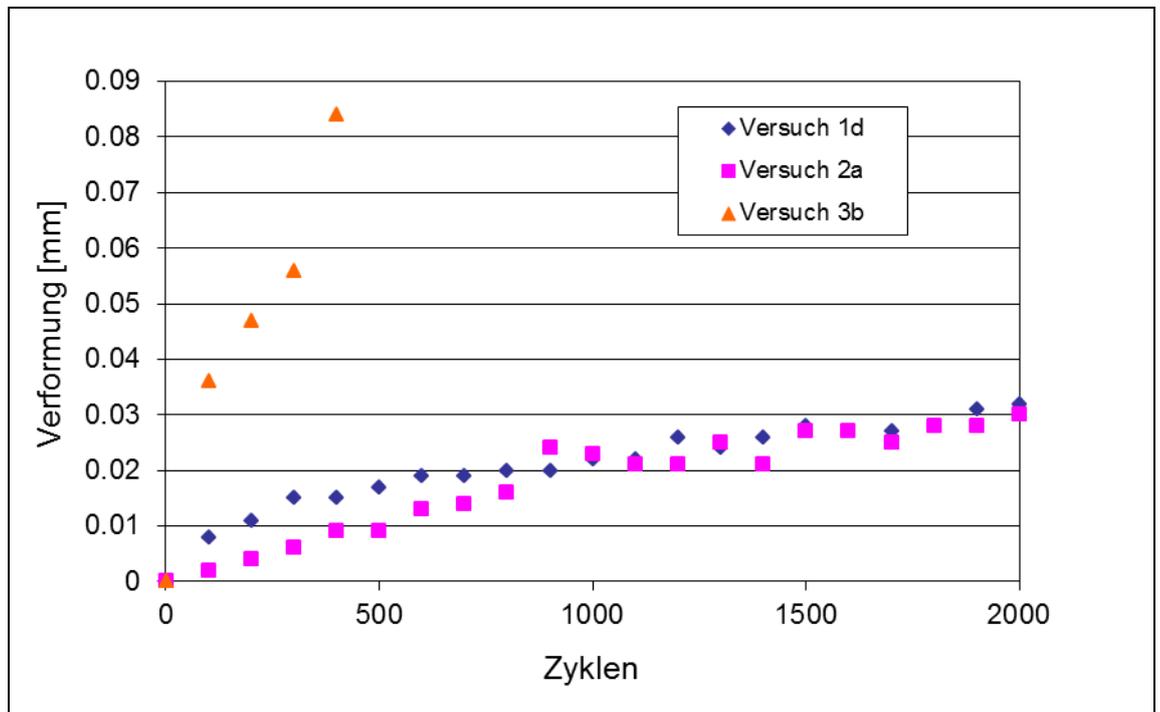
**Abb. 4** Graphische Darstellung der Prüfergebnisse der Zugversuche an Bohrkernen mit FLK-Abdichtung



Abb.5 Bohrkern abgebrochen nach 1 Zyklus. Schichttrennung MA-Schutzschicht zur Abdichtung FLK PU

Die Entnahme der Bohrkern aus der Mitte der Probeplatten brachte keine nennenswerte Verbesserung. Auch bei den Bohrkernen, welche aus der Mitte der Platten entnommen wurden, und somit durch keinerlei Randeffekte beeinflusst wurden, traten Brüche bei sehr kleinen Anzahl Belastungszyklen auf. Um eine schonende Entnahme der Prüfkörper zu erreichen und um die beim Bohrkern während des Bohrens entstehenden Schubkräfte (Torsion) zu vermeiden, wurden im Weiteren quadratische Prüfkörper hergestellt, welche gemäss Abb.6 aus den Platten herausgesägt wurden.

PK4	PK8	PK12	PK16
PK3	PK7	PK11	PK15
PK2	PK6	PK10	PK14
PK1	PK5	PK9	PK13

Abb.6 Schema der Entnahme quadratischer Prüfkörper 100x100 mm aus den Probeplatten

Das Aufkleben der Lasteinleitungsplatten aus Stahl, die Lagerung der Prüfkörper beim Abbinden des Klebstoffes, sowie die Einspannung in die Prüfmaschine ist in der entsprechenden Arbeitsanleitung beschrieben (siehe Anhang I.2).

3.1.2 Parameterstudie

Aufgrund der Erfahrungen aus den ersten Prüfserien (siehe Kapitel 3.1.1) wurden für die weiteren Parameter-Studien quadratische Prüfkörper mit den Abmessungen 100 x 100 mm gewählt, welche aus Platten mit einer PBD-Abdichtung (SBS-Basis) geschnitten wurden. Der Wechsel von der FLK PU-Abdichtung zur PBD-Abdichtung wurde vollzogen, da bei der FLK PU-Abdichtung – infolge der geringeren Verformbarkeit - das sprödere Verhalten für die Methodenentwicklung nicht förderlich war.

Die Belastungskurve wurde analog zu anderen dynamischen Prüfungen in der Asphalt-technologie wie folgt festgelegt:

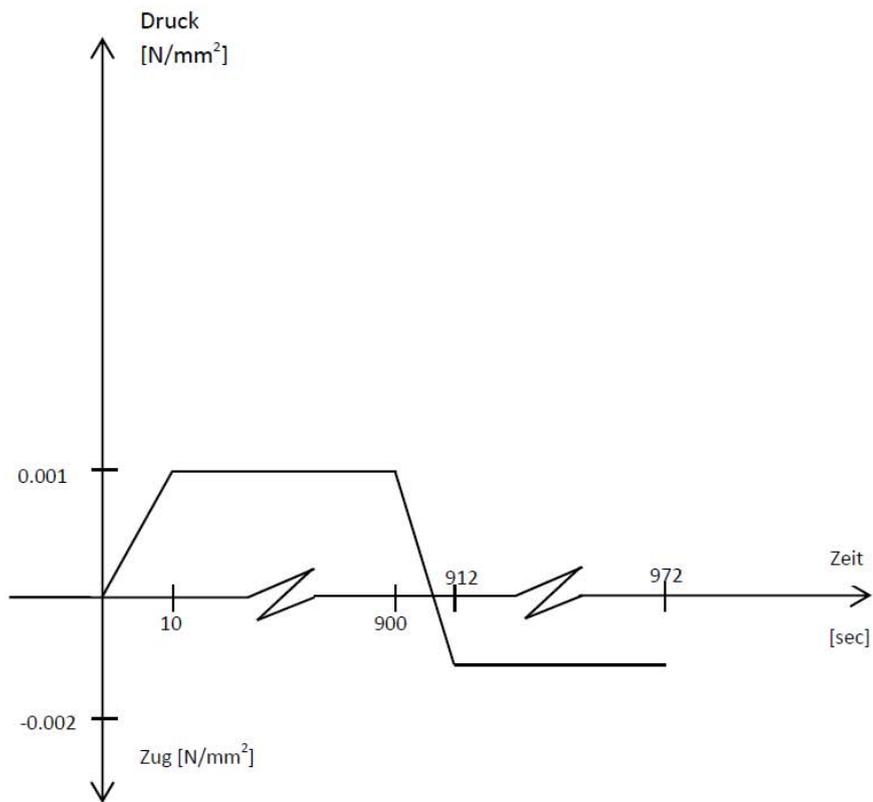
- Haversine-Belastung mit Pausen
- Belastung (Oberlast: 0.2 Sekunden)
- Pause (Unterlast: 1.5 Sekunden)
- Verhältnis Oberlast zu Unterlast > 10

Das Aufbringen der Last in einem Zugversuch muss völlig stossfrei und ohne Lastspitzen erfolgen. Grundsätzlich gilt diese Bedingung auch für die Druckversuche, aber sie ist bei Zugversuchen umso wichtiger, da bei einer Zugbeanspruchung eine punktuelle Überbelastung zum Bruch führen kann. Aus diesem Grunde wurde ein einheitliches Verfahren festgelegt, um die Stirnplatten zu verkleben und um den Zugschwellversuch anzufahren. Das Verfahren ist in der Abb.7 grafisch dargestellt.

Dabei wird in einem ersten Schritt mit einer Belastungsgeschwindigkeit von $0.0001 \text{ N/mm}^2 \text{ s}$ eine kleine Druckbelastung von 0.001 N/mm^2 aufgebracht und während 15 Minuten konstant gehalten. Während dieser konstanten Lastphase erfolgt das Aushärten des Leimes mit welchem der Probekörper an die Lasteinleitungsplatten der Prüfmaschine verklebt wird.

Anschliessend wird die Unterlast der Zugbeanspruchung mit einer Belastungsgeschwindigkeit von $0.0001 \text{ N/mm}^2 \text{ s}$ angefahren und während 60 Sekunden konstant gehalten. Danach erfolgen die haversine-förmigen Belastungszyklen mit einer Belastungsdauer von 0.2 Sekunden und einer Lastpause von 1.5 Sekunden.

Vorbereitung



Prüfung

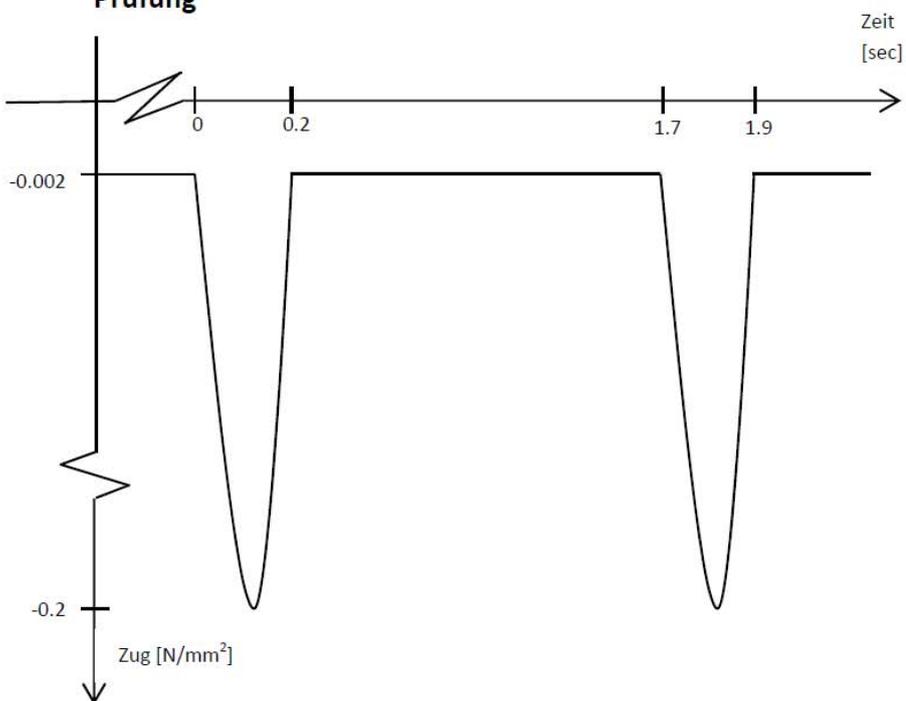


Abb.7 Grafische Darstellung der zeitabhängigen Lastaufbringung während der Prüfkörpervorbereitung und der Prüfung

Die Vorversuche wurden mit den in der Tab. 5 aufgeführten Parametern bei einer Temperatur von 23°C durchgeführt.

Tab. 5 Ober- und Unterlast der Parameterstudie des Zug-Schwellversuches bei 23°C °

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	
	0.1	0.15
0.01	Versuch 1	
0.015		Versuch 3
0.02	Versuch 2	

Die Ergebnisse dieser ersten Reihe der Variation der Prüfparameter sind in der Tab. 6 aufgeführt.

Tab. 6 Ergebnisse der Zug-Schwellversuche

Versuch	Probe	Bruchdehnung [mm]	Anzahl Zyklen beim Bruch	Trennschicht
1	11-06006—002 (PK –E3)	0.004	277	EP-Versiegelung/PBD
2	11-06006-002 (PK –E2)	0*	0*	EP-Versiegelung/PBD
3	11-06006-002 (PK –E1)	1.0856	932	EP-Versiegelung/PBD

* Beim Versuch Nr 2 erfolgte der Bruch bereits beim Anfahren der Belastung

Bei allen drei gewählten Paaren Unter-/Oberlast (gemäss Tab. 5) kam es bei einer relativ niedrigen Anzahl Belastungszyklen zu einem Bruch in der Trennschicht EP-Versiegelung/PBD. In der Abb.8 sind die Trennflächen fotografisch festgehalten.



Abb.8 Aufnahmen der Trennschicht EP-Versiegelung / PBD

Um die angestrebte Anzahl Belastungszyklen von 2000 zu erreichen, wurden die Ober- und Unterlast deutlich reduziert. Im nächsten Schritt wurden die in Tab. 7 aufgeführten Prüfbedingungen gewählt.

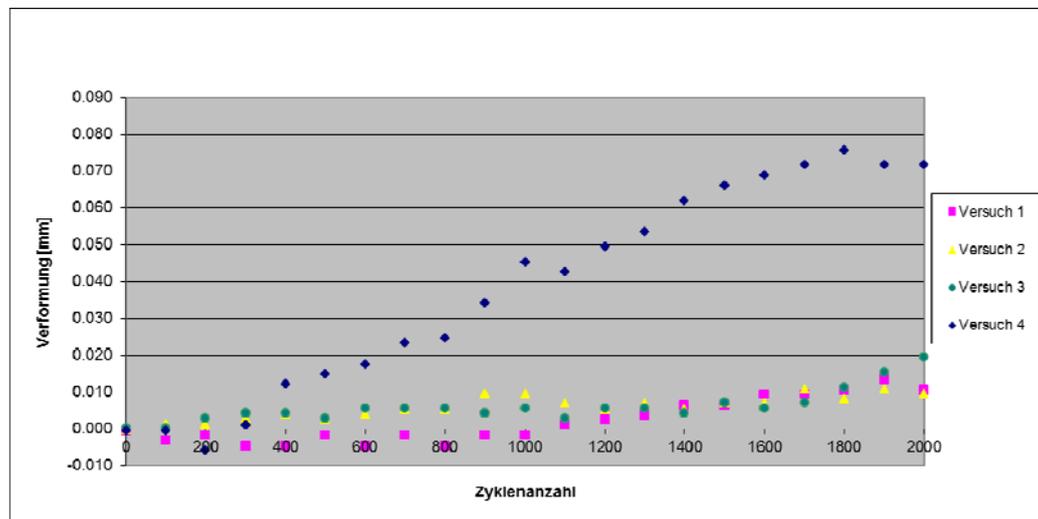
Tab. 7 Ober- und Unterlast der Parameterstudie bei 23°C

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]		
	0.025	0.05	0.26
0.001	Versuch 1		
0.002	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4

Die Ergebnisse sind in den Abb.9 und Tab. 9 aufgeführt

Tab. 8 Ergebnisse der Zugschwell-Versuche mit den Parameter gem. Abb. 3.14

Versuch-Nr.	IMP Nummer	Weg nach 2000 Zyklen [mm]	Bemerkungen
1	11-06006-002	0.011	Kein Bruch nach 2000 Zyklen
2	11-06006-002	0.009	Kein Bruch nach 2000 Zyklen
3	11-06006-002	0.019	Kein Bruch nach 2000 Zyklen
4	11-06006-002	0.072	Kein Bruch nach 2000 Zyklen

**Abb.9** Grafische Darstellung der Verformung in Abhängigkeit der Anzahl Belastungszyklen

Aus dieser Versuchsreihe konnte gefolgert werden, dass die deutlich niedrigeren Ober- und Unterlasten zu messbaren Verformungen führen, ohne dass ein Bruch innerhalb der ersten 2000 Belastungszyklen erfolgt. Die Kombination einer niedrigen Unterlast von 0.002 N/mm² mit einer Oberlast von 0.26 N/mm² (Versuch 4) ergibt ermutigende Ergebnisse.

3.1.2.1 Einfluss der Unterlast

Aufgrund der einschlägigen Erfahrungen mit anderen Schwellversuchen (dynamischer Druckschwell-Versuch bei Asphaltbeton [5,6] bzw. dynamische Eindringtiefe bei Gussasphalt [7]) wurde der Einfluss der Unterlast als geringfügig eingeschätzt. Um dies zu bestätigen wurden mit einer gewählten Oberlast von 0.025 N/mm² Zugschwellversuche mit Unterlasten von 0.001 bzw. 0.002 N/mm² durchgeführt. Diese kleine Spanne der untersuchten Unterlasten entstand aus folgenden Gründen:

- Einerseits ergibt sich aus dem angestrebten Verhältnis von Ober- zu Unterlast von > 10 eine obere Grenze der Unterlast
- Andererseits muss die Unterlast derart festgelegt werden, dass sie mit einem vertretbarem Aufwand in einem Baustoff-Labor aufgebracht und gesteuert werden kann; dies ergibt die untere Grenze der Unterlast von 0.001 N/mm².

Die Ergebnisse der mit diesen Parametern durchgeführten Prüfungen sind in der Tab. 9 aufgeführt.

Der Einfluss der Unterlast erscheint eher zufällig zu sein. Da dieser Einfluss von vorneherein als nicht relevant betrachtet wurde, wurden keine weiteren Untersuchungen durchgeführt. Aus versuchstechnischen Gründen wurde der höhere Wert von 0.002 N/mm² gewählt.

Tab. 9 Variation der Unterlast; Einzelwerte

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	Weg bei 2000 Zyklen [mm]	Temperatur [°C]
0.001	0.025	0.011	23
0.001	0.025	0.051	23
0.002	0.025	0.009	23
0.002	0.025	0.016	23

3.1.2.2 Einfluss der Oberlast

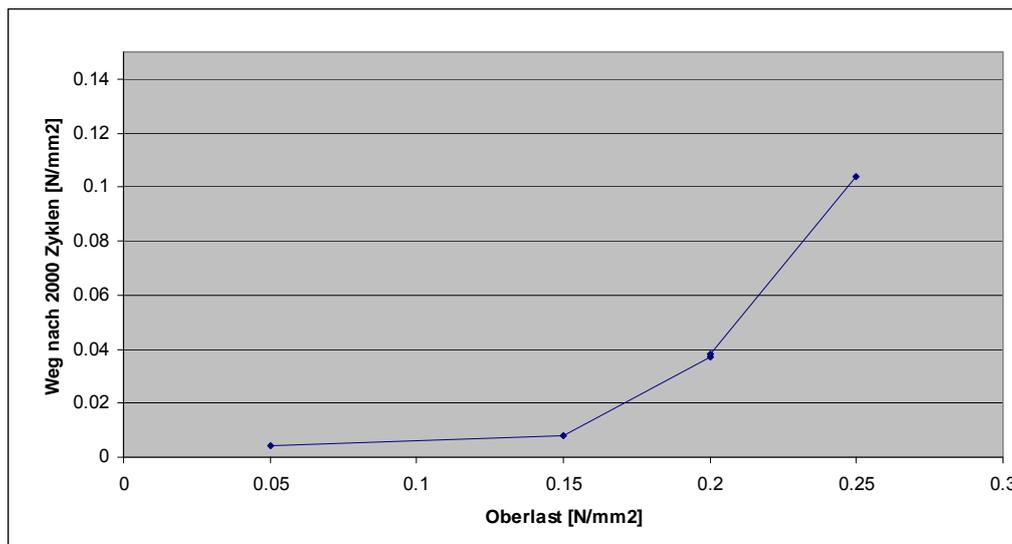
Um eine hohe Anzahl von Belastungszyklen zu erreichen, wurde eine Oberlast gewählt welche deutlich unterhalb der Anforderungen an den klassischen Haftzugversuch bei Polymerbitumendichtungsbahnen liegt. Diese baustellenbezogenen Anforderungen sind gemäss Norm [2]:

- Bei 5 °C > 0.75 N/mm²
- Bei 30 °C > 0.26 N/mm²

In der untenstehenden Abb.10 sind die Ergebnisse von 5 Versuchsreihen tabellarisch aufgeführt, bei welchen die Oberlast von 0.05 N/mm² schrittweise auf 0.25 N/mm² gesteigert wurde.

Tab. 10 Ergebnisse der Variation der Oberlast beim Zugschwellversuch

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	Weg bei 2000 Zyklen [mm]		Temperatur [°C]
		Mittelwert	Einzelwerte	
0.002	0.05	0.004	0.003...0.004	23
0.002	0.15	0.008	0.002...0.012	23
0.002	0.20	0.037	0.031...0.044	23
0.002	0.20	0.038	0.032...0.050	23
0.002	0.25	0.104	0.057...0.157	23

**Abb. 10** Graphische Darstellung des Einflusses der Oberlast beim Zugschwellversuch

Der markante Einfluss der Oberlast geht aus der Tab. 10 deutlich hervor. Um nennenswerte Deformationen in der Trennschicht Abdichtung/Gussasphaltschutzschicht zu erzeugen ist eine Oberlast grösser als 0.15 N/mm² zu wählen. Andererseits fällt die grosse Streuung der Einzelwerte bei der Oberlast von 0.25 N/mm² auf. Bei der Oberlast von 0.20 N/mm² liegen die Einzelwerte sehr nahe beieinander.

3.1.2.3 Einfluss der Temperatur

Die Temperaturen für die Durchführung der Zugschwellversuche wurden in demjenigen Temperaturbereich gewählt, bei welchem in der Praxis erfahrungsgemäss die grössten Beanspruchungen des Verbundes stattfinden.

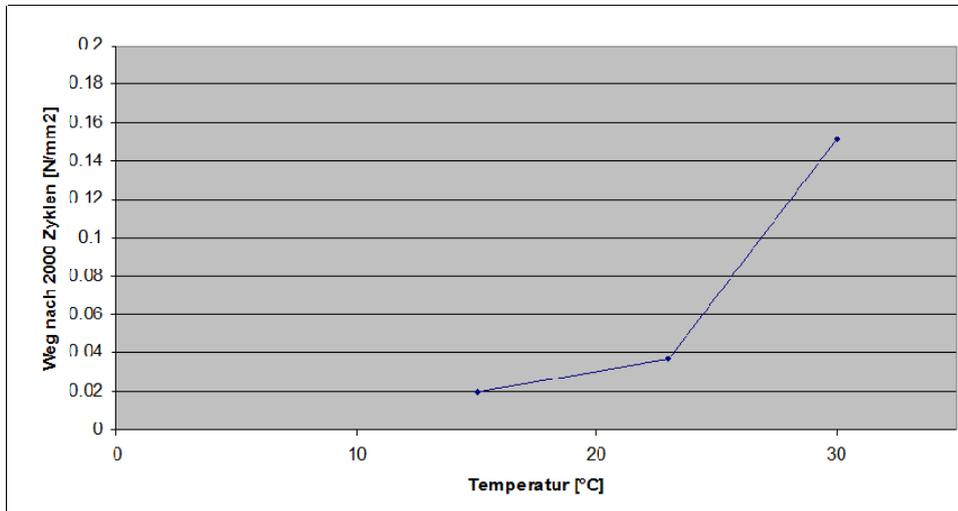
Es ist bekannt, dass bei tiefen Temperaturen die Haftung des bituminösen Bindemittels am Gestein sehr hohe Werte annehmen kann. So ist oft zu beobachten, dass bei einer Rissbildung bei tiefen Temperaturen der Riss kornbrechend verläuft. Dies bedeutet, dass die Zugfestigkeit in der Haftschiicht Bitumen-Gestein grösser ist, als die Zugfestigkeit der Gesteinskörnungen. Somit sind tiefe Temperaturen für die Durchführung von Zugschwellversuche zur Beurteilung des Haftverbundes nicht empfohlen.

Temperaturen oberhalb von 30°C dürften in der Trennschicht Abdichtung-Schutzschicht eher selten sein, da der Asphalt eine hohe thermische Isolation bewirkt. Zudem sind bei Temperaturen oberhalb von 30°C sehr kleine Haftzug-Festigkeiten zu erwarten, was versuchstechnisch von Nachteil ist.

Aus diesen Gründen wurde die Temperatur für die Zugschwellversuche zwischen 15 und 30°C optimiert.

Tab. 11 Variation der Temperatur im Zug-Schwellversuch

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	Weg bei 2000 Zyklen [mm]		Temperatur [°C]
		Mittelwert	Einzelwerte	
0.002	0.20	0.02	0.004...0.034	15
0.002	0.20	0.037	0.031...0.044	23
0.002	0.20	0.151	0.149...0.153	30

**Abb. 11** Graphische Darstellung des Einflusses der Prüftemperatur auf die Deformation nach 2000 Zyklen

Die grafische Darstellung in Abb. 11 zeigt sehr deutlich, dass die Temperatur - erwartungsgemäss - einen sehr deutlichen Einfluss auf die Prüfergebnisse ausübt. Im Hinblick auf eine möglichst grosse Spreizung der Prüfergebnisse, und somit eine grosse Aussagekraft der Prüfung zu erreichen, wurde die Prüftemperatur zu 30°C gewählt.

3.1.3 Festlegung der Prüfparameter

Aufgrund der oben dargestellten Parameterstudie wurden die Prüfbedingungen für die weiteren Untersuchungen wie folgt festgelegt:

Unterlast: 0.002 N/mm²
 Oberlast: 0.2 N/mm²
 Temperatur: 30°C
 Anzahl Zyklen: 2000

Belastungskurve:
 Haversine-Belastung mit Pausen
 Belastung (Oberlast: 0.2 Sekunden)
 Pause (Unterlast: 1.5 Sekunden)

Ein Prüfergebnis wird aus dem Mittelwert dreier Einzelversuche gebildet.

3.1.4 Präzision der Prüfmethode

Um die Präzision eines Prüfverfahrens zu beschreiben sind zwei Werte erforderlich:

- Wiederholbarkeit r: Die Wiederholbarkeit bezeichnet die maximale Abweichung mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% zweier Prüfergebnisse, welche mit dem gleichen Prüfgerät und dem gleichen Prüfer an derselben Probe durchgeführt wurden.

- Reproduzierbarkeit R: Die Reproduzierbarkeit bezeichnet die maximale Abweichung mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% zwischen 2 Prüfergebnissen, welche mit unterschiedlichen Geräten und unterschiedlichen Prüfern am selben Aufbau durchgeführt wurden.

Die Reproduzierbarkeit kann nur im Rahmen eines Ringversuches mit der Beteiligung von ca. 10 Prüfstellen bestimmt werden. Ein derartiger Ringversuch war nicht Gegenstand des Auftrages, zudem ist nicht damit zu rechnen, dass ein Dutzend Prüfstellen diese Prüfmethode einführen würden, nur um an einem Ringversuch teilnehmen zu können. So beschränkt sich die Bestimmung der Präzision auf die Ermittlung der Wiederholbarkeit.

Prüfserie	Probe Nr	Bemerkungen	Deformation bei 2000 Zyklen [mm]	
			EW	MW
1	12-04987-009,PK-1	keine Abscherung	0.1412	0.127
	12-04987-009,PK-2	keine Abscherung	0.1347	
	12-04987-009,PK-3	keine Abscherung	0.1039	
2	12-04987-009,PK-4	keine Abscherung	0.1354	0.133
	12-04987-009,PK-5	keine Abscherung	0.1399	
	12-04987-009,PK-6	keine Abscherung	0.1234	
3	12-04987-009,PK-7	keine Abscherung	0.1148	0.138
	12-04987-009,PK-8	keine Abscherung	0.1399	
	12-04987-009,PK-9	keine Abscherung	0.1593	
4	12-04987-009,PK-10	keine Abscherung	0.1763	0.209
	12-04987-009,PK-11	keine Abscherung	0.2497	
	12-04987-009,PK-16	keine Abscherung	0.2006	
5	12-04987-009,PK-13	keine Abscherung	0.1718	0.189
	12-04987-009,PK-14	keine Abscherung	0.2258	
	12-04987-009,PK-15	keine Abscherung	0.1683	
6	12-04987-009,PK-1_alt	keine Abscherung	0.1143	0.124
	12-04987-009,PK-2_alt	keine Abscherung	0.1321	
	12-04987-009,PK-3_alt	keine Abscherung	0.1252	
Mittelwert			[mm]	0.153
Standardabweichung			[mm]	0.036
Standardabweichung			[%]	23.7%

Abb.12 Bestimmung des Mittelwertes und der Standardabweichung bei 6 Prüfserien à 3 Einzelwerte. Der untersuchte Aufbau war eine PBD-Abdichtung (PBD1-L1)

Die Berechnung der Wiederholbarkeit erfolgt unter der Annahme einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit nach unterstehender Formel:

$$r = 1.96 \times \sigma \times \sqrt{2}$$

wobei:

r Wiederholbarkeit
 σ Standardabweichung

Die Wiederholbarkeit wird berechnet zu $r = 2,77 \cdot$ Standardabweichung, was einem Wert von 64% entspricht. Dies bedeutet, dass zwei Ergebnisse um bis zu 66% auseinanderliegen können, ohne dass die beiden Prüfergebnisse statistisch gesehen als "unterschiedlich" betrachtet werden müssen. Diese Feststellung muss – aus Sicht der Praxis – als sehr unbefriedigend bezeichnet werden. Nachdem bei der Festlegung der Prüfparameter sowie der Prüfkörpervorbereitung mit grosser Sorgfalt vorgegangen wurde, ist anzunehmen, dass die Prüfkörper an sich entsprechende Schwankungen aufweisen, welche unter Zugbelastung empfindlich reagieren.

3.2 Schubschwellversuch

3.2.1 Grundlagen der Prüfung

Für die Durchführung des dynamischen Schubschwellversuches wurde die Prüfanordnung einer, bei der Bundesanstalt für Materialforschung- und Prüfung BAM, Berlin entwickelten, Prüfmethode [8] verwendet, welche zur Prüfung des Schichtenverbundes bei Brückenabdichtungen zum Einsatz kommt. Bisher wurde diese Prüfung mit einer konstanten Beanspruchung durchgeführt; neu ist die Verwendung unter dynamischer Beanspruchung. In der Abb.13 ist eine entsprechende Prüfeinrichtung in der Universalprüfmaschine eingebaut worden.

Die EN 13653 [8] beschreibt das Prüfverfahren wie folgt:

Um die Schubfestigkeit eines Abdichtungssystems zu bestimmen, wird eine Kraft in das Abdichtungssystem zwischen dem Grundkörper und der Asphaltsschicht eingeleitet. Die Prüfung wird bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit durchgeführt. Die Kraft wird in einem Winkel von 15° zur Schubebene eingeleitet.

Die Prüfung findet bei einer Konditionierungstemperatur von 23°C statt.

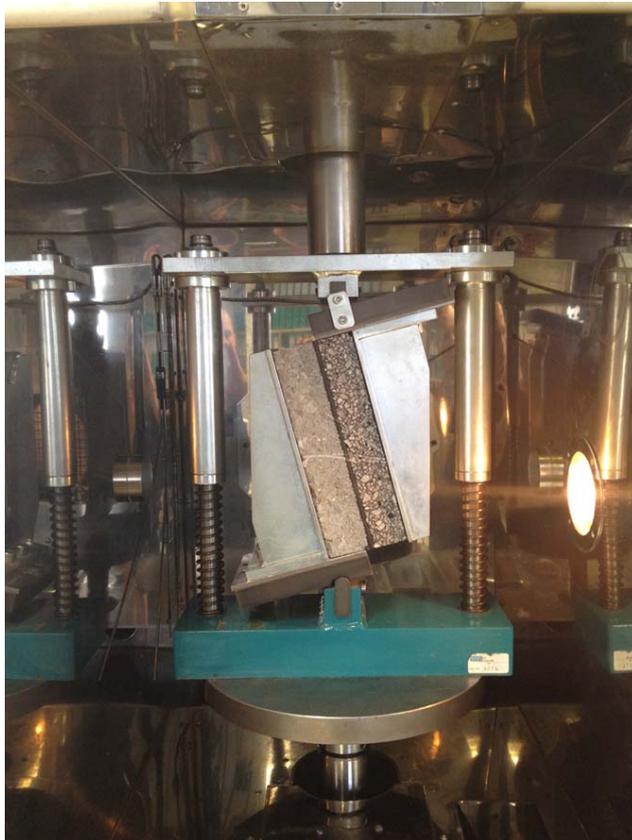


Abb.13 Prüfeinrichtung der BAM zur Beurteilung des Schubverbundes bes Brückenabdichtungen

Aus den Platten mit den entsprechenden Systemaufbauten wurden Prüfkörper 220×110 mm gesägt. Da die Beanspruchung in der Zwischenschicht Abdichtung / Schutzschicht erfolgt, sind keine weiteren Vorbereitungen des Prüfkörpers erforderlich.

Trägt man die Schub-Deformation des Prüfkörpers als Funktion der Anzahl Belastungszyklen in einer Grafik auf, ergibt sich eine typische Kurve, wie man sie bei dynamischen Prüfungen oft antrifft. In der Abb.14 sind folgende Phasen der dynamischen Prüfung ersichtlich:

- A Im ersten Teil der Verformungskurve findet eine Konsolidierung des Prüfkörpers statt, nach einem anfänglich grossen Anstieg verflacht die Verformungskurve
- B Im mittleren Teil findet ein quasi-konstanter Anstieg der Kurve statt; in dieser Phase kann mit einem Wendepunkt der Übergang zur Zerstörung des Prüfkörpers erfolgen
- C im letzten Teil – welcher nicht in jedem Fall auftritt – nimmt die Deformation pro Zyklus mit zunehmender Anzahl Zyklen zu; die Steigung der Kurve nimmt zu.

- (1) Deformation des Prüfkörpers (kumulative Deformation der einzelnen Verformungen unter den einzelnen Belastungszyklen)
- (2) Anzahl Zyklen der Belastung

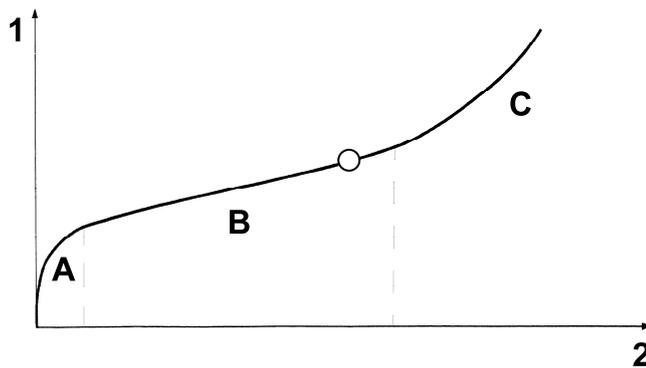


Abb.14 Verformungskurve des dynamischen Schub-Schwellversuches mit (1) Verformung; (2) Anzahl Belastungszyklen; (A) Konsolidierungsphase; (B) quasi-linearer Bereich mit Wendepunkt; (C) Bruchphase

3.2.2 Parameterstudie

In Anlehnung an die Wahl der Prüfparameter für den Zug-Schwellversuch wurde für den Schub-Schwellversuch die Belastungskurve analog gewählt:

- Haversine-Belastung mit Pausen
- Belastung (Oberlast: 0.2 Sekunden)
- Pause (Unterlast: 1.5 Sekunden)
- Verhältnis Oberlast zu Unterlast > 10

Das Aufbringen der Last in einem Schubversuch muss möglichst stossfrei und ohne Lastspitzen erfolgen. Allerdings sind die diesbezüglichen Anforderungen weniger hoch als bei einem Zugversuch.

3.2.2.1 Prüfparameter

Im Rahmen von Vorversuchen wurde festgestellt, dass Unterlasten zwischen 0.01 und 0.02 sowie Oberlasten zwischen 0.1 und 0.2 N/mm² zu wählen sind. Dies um einerseits überhaupt Deformationen zu messen und andererseits keinen spontanen bzw. frühzeitigen Bruch zu bewirken. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Parameter gemäss Tab. 12 variiert, wobei jeweils pro Versuchsbedingung eine 3-er Serie untersucht wurde.

Tab. 12 Ergebnisse der Parameterstudie mit unterschiedlichen Unter- und Oberlasten

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	Weg bei 2000 Zyklen [mm]		Wendepunkt bei ... Zyklen	Temperatur [°C]
		Mittelwert	Einzelwerte		
0.01	0.10	2.66	2.444 ... 2.909	kW	23
0.015	0.15	9.811	9.527...10.097	1816	23
0.02	0.20	-	-	428*	23

kW: es wurde kein Wendepunkt erreicht

*der Wendepunkt trat bei 428 Zyklen auf; bei 600 Zyklen erfolgte ein Bruch

Bei einer Oberlast von 0.20 N/mm² erfolgte ein Bruch bei 600 Zyklen in allen 3 Prüfkörpern der 3-er-Serie. Auch bei einem vierten, zusätzlich geprüften Prüfkörper mit einer Oberlast von 0.20 N/mm² konnten die angestrebten 2'000 Zyklen nicht erreicht werden. Offenbar ist diese Oberlast für Schubschwellversuche als zu hoch zu betrachten. Mit einer Kombination von Unter-/Oberlast von 0.015 / 0.15 N/mm² ergeben sich deutlich messbare Verformungen, ohne dass es vor dem Erreichen der angestrebten 2000 Belastungszyklen zum Bruch kommt. Zudem beträgt das Verhältnis von Unter- zu Oberlast 10 und erfüllt somit die angestrebten Bedingungen.

Dass es bei der Kombination Unter-/Oberlast von 0.015 / 0.15 N/mm² kurz vor dem Erreichen der angestrebten 2000 Zyklen zum Wendepunkt kommt ist als ideal zu betrachten. Die gemessenen Verformungen befinden sich somit mehrheitlich im quasi-linearen Bereich; dies dürfte sich positiv auf die Wiederholbarkeit der Prüfung auswirken.

3.2.2.2 Einfluss der Temperatur

Aufgrund der bereits im Kapitel 3.1.2.3 aufgeführten Gedanken wurden Temperaturen zwischen 15 und 30°C gewählt. Es wurden 3-er Serien von dynamischen Schubschwellversuchen bei 15, 23 und 30°C durchgeführt.

Aus den Ergebnissen der Tab. 13 geht hervor, dass bei Temperaturen von 30°C die angestrebte Anzahl Zyklen (2'000) nicht erreicht wird. Diese Temperatur ist offensichtlich zu hoch; das Bindemittel in der PBD bereits zu weich. Eine Temperatur von 15°C hingegen scheint zu niedrig zu sein, die Verformungskurve erreicht keinen Wendepunkt, sondern verbleibt in der Konsolidierungsphase; Phase A gemäss Tab. 12.

Bei einer Prüftemperatur von 23°C wird sowohl die angestrebte Anzahl der Belastungszyklen (2000 Zyklen) als auch ein Wendepunkt erreicht.

Tab. 13 Einfluss der Prüftemperatur auf die Ergebnisse des dynamischen Schubversuches)

Unterlast [N/mm ²]	Oberlast [N/mm ²]	Weg bei 2000 Zyklen [mm]		Wendepunkt bei... Zyklen	Temperatur [°C]
		Mittelwert	Einzelwerte		
0.015	0.15	2.34	2.070...2.704	kW	15
0.015	0.15	9.811	9.527...10.097	1816	23
0.015	0.15	-	-	630	30

kW: kein Wendepunkt

3.2.3 Festlegung der Prüfparameter

Aufgrund der oben dargestellten Parameterstudie wurden die Prüfbedingungen für die weiteren Untersuchungen wie folgt festgelegt:

Unterlast:	0.015 N/mm ²
Oberlast:	0.15 N/mm ²
Temperatur:	23°C
Anzahl Zyklen:	2000
Belastungskurve:	
	Haversine-Belastung mit Pausen
	Belastung (Oberlast: 0.2 Sekunden)
	Pause (Unterlast: 1.5 Sekunden)

3.2.4 Präzision des Prüfverfahrens

Im Kapitel 3.1.4 sind die Definitionen der Wiederholbarkeit und der Reproduzierbarkeit aufgeführt. Analog wie beim Zug-Schwellversuch, konnte die Reproduzierbarkeit nicht bestimmt werden, denn dazu wäre eine Ringanalyse mit ca. 12 Prüfstellen erforderlich. Die hier dargelegte Prüfmethode ist eine Neu-Entwicklung, welche zurzeit in keinen anderen Labors durchgeführt wird; eine Ringanalyse kann infolge mangelnder Beteiligung gar nicht organisiert werden.

Um trotzdem eine Aussage zur Präzision des Prüfverfahrens zu erhalten, wurde die Wiederholbarkeit bestimmt.

Um die Wiederholbarkeit der entwickelten Prüfmethode zu bestimmen, wurde der gleiche Aufbau 6 Mal geprüft, wobei für jedes Ergebnis eine 3-er Serie von Prüfkörpern untersucht wurde.

Um diese Untersuchung durchzuführen, wurde der Aufbau PBD1-L1 gewählt; d.h. eine PBD-Abdichtung auf bituminöser Grundierung mit optimalen Einbaubedingungen für die Schutzschicht aus Gussasphalt. Die Ergebnisse sind in der Abb.14 zusammengetragen, die Einzelwerte sind im Anhang aufgeführt.

Prüfserie	Probe Nr	Bemerkungen	Deformation bei 2000 Zyklen	
			EW	MW
1	13-03319-002;PK1	keine Abscherung	2.68	2.946
	13-03319-002;PK2	keine Abscherung	3.36	
	13-03319-002;PK3	keine Abscherung	2.797	
2	13-03319-002;PK4	keine Abscherung	4.588	3.333
	13-03319-002;PK5	keine Abscherung	2.519	
	13-03319-002;PK6	keine Abscherung	2.892	
3	13-03319-002;PK7	keine Abscherung	3.455	3.132
	13-03319-002;PK8	keine Abscherung	2.929	
	13-03319-002;PK9	keine Abscherung	3.012	
4	13-03319-002;PK10	keine Abscherung	3.722	3.128
	13-03319-002;PK11	keine Abscherung	2.470	
	13-03319-002;PK12	keine Abscherung	3.192	
5	13-03319-002;PK13	keine Abscherung	3.206	3.408
	13-03319-002;PK14	keine Abscherung	3.701	
	13-03319-002;PK15	keine Abscherung	3.318	
6	12-04987-009,PK-1	keine Abscherung	2.615	2.991
	12-04987-009,PK-2	keine Abscherung	3.742	
	12-04987-009,PK-3	keine Abscherung	2.616	
Mittelwert			[mm]	3.156
Standardabweichung			[mm]	0.183
Standardabweichung			[%]	5.8%

Abb.15 Schubschwellversuch; Bestimmung des Mittelwertes und der Standardabweichung bei 6 Prüfserien à 3 Einzelwerte. Aufbau: PBD-Abdichtung (PBD1-L1)

Die Berechnung der Wiederholbarkeit erfolgt unter der Annahme einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit nach unterstehender Formel:

$$r = 1.96 \times \sigma \times \sqrt{2}$$

wobei:

r Wiederholbarkeit
 σ Standardabweichung

Der so ermittelte Wert von $r = 16\%$ ist für dynamische Prüfungen an Gesamtaufbauten mit mehreren Schichten sehr befriedigend. Er bedeutet, dass zwei Prüfergebnisse, welche im Schub-Schwellversuch um mehr als 16% von einander abweichen, mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit als "unterschiedlich" betrachtet werden müssen.

3.3 In-situ Versuche

3.3.1 Allgemeines

Das Initialprojekt zum Forschungspaket „Brückenabdichtung“ [1] hat die Ziele des vorliegenden Berichtes zum Einzelprojekt EP3 „Langzeitverhalten des Verbundes“ festgelegt. Unter anderem ist der Einsatz dynamischer Prüfverfahren in situ zu untersuchen und dessen Machbarkeit zu überprüfen.

Diese dynamischen Prüfungen sollten möglicherweise die heutigen, routinemässig angewandten Prüfverfahren ergänzen.

Die SN-Norm für Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken [2] enthält folgende Prüfverfahren:

Haftzugprüfung gemäss SIA 281/3 [10]
Schälzugprüfung gemäss SIA 281/2 [11]

Zur Ermittlung des Haftvermögens von aufgeschweissten Polymerbitumen-Dichtungsbahnen, aufgeklebten Kunststoff-Dichtungsbahnen und flüssig aufgetragenen Abdichtungen auf einem Untergrund werden in der Schweiz seit einiger Zeit neben Haftzugfestigkeitsprüfungen auch Schälzugprüfungen eingesetzt. Während die Haftzugfestigkeitsprüfung Aufschluss über das hinsichtlich Adhäsion oder Kohäsion schwächste Glied im Schichtaufbau des Abdichtungssystems liefert und folglich auch Brüche innerhalb der Abdichtung erzeugen kann, steht bei der Schälzugprüfung das Haftvermögen in der Kontaktfläche und damit beispielsweise der Widerstand gegen Blasenbildung zwischen Abdichtung und Betonuntergrund im Vordergrund. (aus [11]).

3.3.2 Zug-Schwellversuche

Die Entwicklung der Prüfmethode „dynamischer Zug-Schwellversuch“ in Kapitel 3.1 hat aufgezeigt, dass diese Methode eine völlig unbefriedigende Präzision in der Anwendung auf Abdichtungssysteme hat.

Dieses Ergebnis erfolgte unter kontrollierten Laborbedingungen, unter Verwendung einer hochpräzisen Universal-Prüfpresse der Genauigkeitsklasse 0.5 entsprechend einer relativen Messunsicherheit von $< 0.12\%$.

Die Anwendung eines dynamischen Zug-Schwellversuches in situ erfolgt unter wesentlich ungünstigeren Voraussetzungen als im Labor:

- Die Temperatur der Prüfstelle kann nur sehr beschränkt beeinflusst werden (abdecken bei zu hoher Temperatur; vorwärmen bei zu niedriger Temperatur).
- Der Temperaturgradient innerhalb des Prüfkörpers bleibt unbekannt; aufgrund der langen Konditionierungsdauer im Labor ist der Gradient beim Laborverfahren konstant
- Um einigermaßen repräsentative Messergebnisse zu erzielen, müssten auf der Baustelle Deformationen im Bereich von 0.01 mm gemessen werden können: bei FLK-Abdichtungen wäre sogar 0.001 mm anzustreben.
- Die Vibrationen einer Brücke, hervorgerufen durch den Verkehr und durch die Bauarbeiten, lassen sich nicht vermeiden. Unter solchen Bedingungen im 1/1000 mm-Bereich zu messen ist wenig sinnvoll.
- Bei Zugversuchen spielt die axiale Lasteinleitung eine grosse Rolle. Wird die Belastung nicht absolut senkrecht zur geprüften Trennschicht aufgebracht, entstehen Drehmomente, welche das Messergebnis massiv beeinflussen. Im Labor kann dies mit entsprechenden Massnahmen vermieden werden. In situ – insbesondere wenn die Schicht dick ist, wie dies bei der Schutzschicht der Fall ist – besteht keine Möglichkeit den Winkel der Lasteinleitung zu überprüfen.

Die dynamischen Zug-Schwellversuche unter kontrollierten Bedingungen im Labor zeigten eine sehr schlechte Reproduzierbarkeit von 66 %. Unter Baustellenbedingungen dürfte dieser Wert deutlich höher liegen. Wir erwarten bei dynamischen Zug-Schwellversuchen in situ derart schlechte Wiederholbarkeiten der Prüfergebnisse, dass wir diese Prüfverfahren nicht empfehlen können.

3.3.3 Schubversuche

Die im Labor entwickelte Prüfmethode „dynamischer Schub-Schwellversuch“ ergab eine sehr gute Wiederholbarkeit der Prüfergebnisse. Auch wenn bei in-situ-Prüfungen grundsätzlich mit einer deutlich schlechteren Wiederholbarkeit zu rechnen ist, könnte ein dynamischer Schub-Schwellversuch auch in situ befriedigende Ergebnisse in Bezug auf die Präzision des Verfahrens zeigen.

Die Anordnung zur Prüfung des Schichtenverbundes unter Schubbeanspruchung in situ könnte beispielsweise analog der Abb.16 aufgebaut sein, wobei für die Abmessungen des Prüfkörpers ähnliche Masse wie bei der Laborprüfung angenommen wurden. Neben des Prüfkörpers ist eine Vorrichtung für die Aufbringung der Schub-Belastung zu platzieren und auf den Betonuntergrund zu verankern. Aus dieser Abbildung geht hervor, dass für die Durchführung einer einzelnen Prüfung eine Fläche von ca. 75 x 30 cm erforderlich ist. In der Annahme 3 Einzelwerte würden genügen, analog der im Labor durchgeführten dynamischen Schub-Schwellprüfung, ergibt dies für die Beurteilung einer Teilfläche eines Brückenobjektes drei Flickstellen von je 75 x 30 cm.

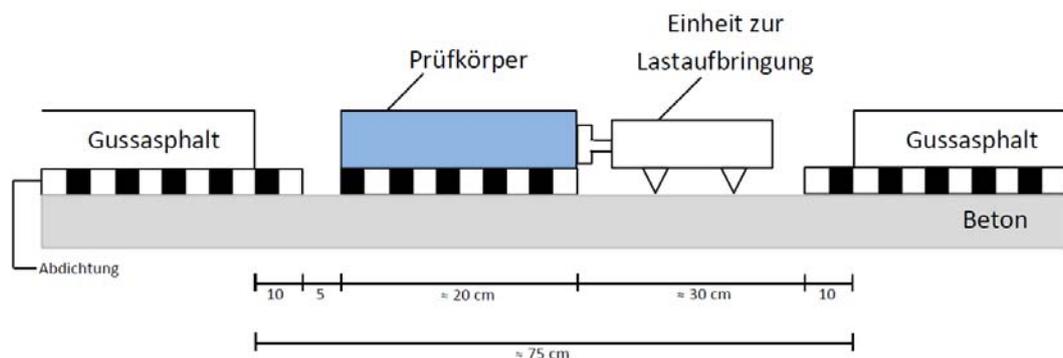


Abb.16 Mögliche Prüfanordnung für Schubversuche in situ

Aufgrund des massiven Eingriffes in die Abdichtung betrachten wir das Prüfverfahren als nicht praxistauglich.

3.3.4 Torsionsversuche

Im Rahmen der europäischen Normierung wird unter anderem ein Torsionsversuch zur Bestimmung des Schichtenverbundes vorgeschlagen [9]. Obwohl dieses Prüfverfahren für die Anwendung bei Asphaltsschichten vorgesehen ist, könnte es in analoger Weise auch für die Prüfung des Verbundes Betonuntergrund / Abdichtung bzw. Abdichtung / Schutzschicht verwendet werden. Das „Prüfverfahren der Haftfestigkeit unter Drehmoment (TBT)“ der EN 12697-48 [9] wird im Folgenden kurz beschrieben (die Abkürzung TBT steht für Torque Bond Test):

Kurzbeschreibung des Prüfverfahrens:

Die Prüfung der Haftfestigkeit unter Drehmoment wird entweder vor Ort oder im Labor unter Verwendung von Bohrkernen durchgeführt. Eine Stahlplatte wird im Falle der Prüfung vor Ort auf die Deckschicht oder im Falle der Laborprüfung auf die Oberseite eines Bohrkerns geklebt. Auf diese Stahlplatte wird eine horizontale Drehkraft aufgebracht, wobei das Drehmoment gemessen wird.

An jeder Messstelle sind 6 Prüfungen der Haftfestigkeit unter Drehmoment durchzuführen, wobei der Abstand zwischen den Prüfungen mindestens 100 mm und höchstens 2 m betragen darf.

Bei Deckschichten mit einer Dicke > 15 mm ist eine Nut mit einem Durchmesser von 100 mm bis zu einer Tiefe von 20 mm unterhalb der zu prüfenden Grenzfläche zu bohren. Ist die über der zu untersuchenden Zwischenschicht befindliche Schicht dünner als 15 mm, so ist kein Kernbohren erforderlich.

Die auf die Oberfläche aufzuklebende Metallplatte soll aus weichem Stahl bestehen und einen Durchmesser von (95 ± 5) mm und einer Dicke von (14 ± 2) mm aufweisen.

Das Drehmoment ist mit konstanter Geschwindigkeit so auf den Bohrkern aufzubringen, dass der Drehmomentschlüssel innerhalb von (30 ± 15) s einen Winkel von 90° überstreicht. Es ist darauf zu achten, dass das Drehmoment (mit einer Genauigkeit von $\pm 10^\circ$) parallel zur Bohrkernoberfläche aufgebracht wird. Das Drehmoment wird so lange auf die Platte aufgebracht, bis der Verbund versagt oder ein Drehmoment von 400 Nm überschritten wird.

Für die sechs Probekörper/Prüfstellen ist das arithmetische Mittel der gemessenen Haftfestigkeit unter Drehmoment zu berechnen.

Die Präzision des Prüfverfahrens wurde (noch) nicht bestimmt.

Diskussion des Prüfverfahrens im Hinblick auf eine mögliche Verwendung zur Prüfung der Schichthaftung bei Brückenobjekten:

Das Verfahren basiert auf der Messung von 6 Prüfstellen mit einem Durchmesser von je 100 mm. Es hinterlässt also pro Messstelle eine relativ grosse Fläche zerstörter Abdichtung, welche wieder instand gestellt werden muss. In der Tab. 14 sind die zerstörten Flächen verschiedener Prüfverfahren einander gegenübergestellt.

Tab. 14 Vergleich der zerstörten Oberfläche verschiedener Prüfverfahren zur Ermittlung des Haftverbundes

Prüfverfahren	Anzahl Prüfstellen	Masse der Prüfstelle	Zerstörte Fläche [mm ²]
Haftzugprüfung	3	Ø 50 mm	5 900
Schälzugprüfung	3	10 x 600 mm	18 000
Schubversuch	3	300 x 750 mm	675 000
Torsionsprüfung	6	Ø 100 mm	47 250

Das Verfahren „Haftfestigkeit unter Drehmoment (TBT)“ muss – im Vergleich zu den bekannten Prüfungen (Haft- und Schälzugprüfung) - als stark zerstörend betrachtet werden, was bei Abdichtungsarbeiten ein gewichtiger Nachteil ist.

Das beschriebene Verfahren ist eine statische Prüfung, bei welcher die Torsionsbeanspruchung kontinuierlich bis zum Bruch erhöht wird. Offenbar haben die Erfahrungen mit diesem Verfahren ergeben, dass 6 Prüfstellen zu untersuchen sind, um ein repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Erfahrungsgemäss sind bei dynamischen Prüfungen mit wechselnden Belastungen die Anzahl der Messstellen eher zu erhöhen.

Aufgrund des massiven Eingriffes in die Abdichtung betrachten wir das Prüfverfahren als nicht praxistauglich.

3.3.5 Fazit in situ Prüfungen

Die oben aufgeführten Fakten und Zusammenhänge zeigen auf, dass dynamische Prüfungen auf Abdichtungen von Brückenobjekten einen wesentlich grösseren Aufwand erfordern als die heute verwendeten Verfahren Haftzug- und Schälzugprüfung. Zudem, und dies ist entscheidend, ist eine schlechtere Präzision der dynamischen Verfahren in situ zu erwarten, als bei den statischen Prüfverfahren.

Gestützt auf die durchgeführten Untersuchungen können wir keine dynamischen Prüfverfahren zur Beurteilung der Schichthaftung bei Brückenabdichtungen empfehlen.

4 Prüfungen der Abdichtungssysteme

4.1 Prüfplan

Die untersuchten Systemaufbauten sind in der Tab. 2 detailliert aufgeführt und beschrieben.

Die Prüfkörper für den Zug- und den Schubschwellversuch wurden wie in den entsprechenden Kapiteln beschrieben (3.4 für den Zug-Schwellversuch und 3.5 für den Schubschwellversuch) aus den Probeplatten entnommen und für die Prüfung vorbereitet.

Die Prüfungen erfolgten mit den im Rahmen der Parameterstudien festgelegten Parametern:

Tab. 15 Prüfbedingungen

	Zug-Schwellversuch	Schub-Schwellversuch
Unterlast [N/mm ²]	0.002	0.015
Oberlast [N/mm ²]	0.2	0.15
Temperatur [°C]	30	23
Anzahl untersuchter Prüfkörper	3	3
Anzahl Belastungszyklen	2000	2000

Als Form der Belastung wurde für beide Prüfungen eine haversine-förmige Belastung mit Pausen gewählt. Die Belastung erfolgt während 0.2 Sekunden; die Pausen zwischen den einzelnen Belastungszyklen betragen 1.5 Sekunden.

Die Tab. 16 gibt eine Übersicht zu den durchgeführten Prüfungen an den Systemaufbauten.

Tab. 16 Übersicht zu den untersuchten Systemaufbauten

Bezeichnung	Lagerung	Zug-Schwellversuch	Schub-Schwellversuch
FLK PU	L1 (trocken)	X	X
	L2 (nass)	X	X
	L3 (feucht)	X	X
FLK PMMA	L1 (trocken)	X	X
	L2 (nass)	X	X
PBD1 (bit. Haftgrund)	L1 (trocken)	X	X
	L2 (nass)	X	X
PBD2 (Epoxi Haftgrund)	L1 (trocken)	X	X
	L2 (nass)	X	X

Die verwendeten Abkürzungen sind im Anhang erläutert.

4.2 Zugschwellversuche

Die Ergebnisse der durchgeführten Zug-Schwellversuche sind in der Tab. 17 aufgeführt, die Atteste der einzelnen Untersuchungen befinden sich im Anhang I.3.

Im Anhang sind auch die beiden Atteste 11-06006-001 (PBD1 (bit.)/L1 und 11-06006-002 (PBD2 (EP)/L1) aufgeführt. Diese Ergebnisse wurden nicht weiter verwendet, da die Herstellung dieser Platten von der Herstellung der übrigen Platten abwich.

Tab. 17 Ergebnisse der Zug-Schwellversuche an den verschiedenen Systemaufbauten mit unterschiedlichen Lagerungen vor der Applikation der Schutzschicht

System	Lagerung	Weg bei 2000 Zyklen [mm]				Weg beim Bruch [mm]				Anzahl Zyklen beim Bruch			
		MW	EW 1	EW 2	EW 3	MW	EW 1	EW 2	EW 3	MW	EW 1	EW 2	EW 3
FLK PU	L1 trocken					0.064	0.058	0.082	0.054	1300	1200	1600	1100
FLK PU	L2 nass					0.087	0.08	0.12	0.061	967	900	1400	600
FLK PU	L3 feucht	0.065	0.061		0.068			0.056				1700	
FLK PMMA	L1 trocken	0.060	0.058	0.074	0.048								
FLK PMMA	L2 nass	0.065	0.076	0.056	0.062								
PBD1 (bit.)	L1 trocken	0.124	0.114	0.132	0.125								
PBD1 (bit.)	L2 nass	0.306	0.227		0.384			0.283				600	
PBD2 (EP)	L1 trocken	0.137	0.147	0.153	0.111								
PBD2 (EP)	L2 nass	0.154	0.155	0.155	0.153								

Bei den Prüfkörpern aus den Systemaufbauten mit FLK PU konnten die angestrebten 2000 Belastungszyklen nicht erreicht werden, es kam bereits bei weniger Zyklen zum Bruch. Dies war sowohl bei der trockenen, als auch bei der nassen Lagerung zu beobachten.

Bei allen anderen Systemaufbauten wurden mit mindestens zwei der jeweils drei untersuchten Prüfkörpern 2000 Belastungszyklen ohne Bruch erreicht.

Die Prüfergebnisse sind auch in den Abb.17 und Abb.18 grafisch dargestellt.

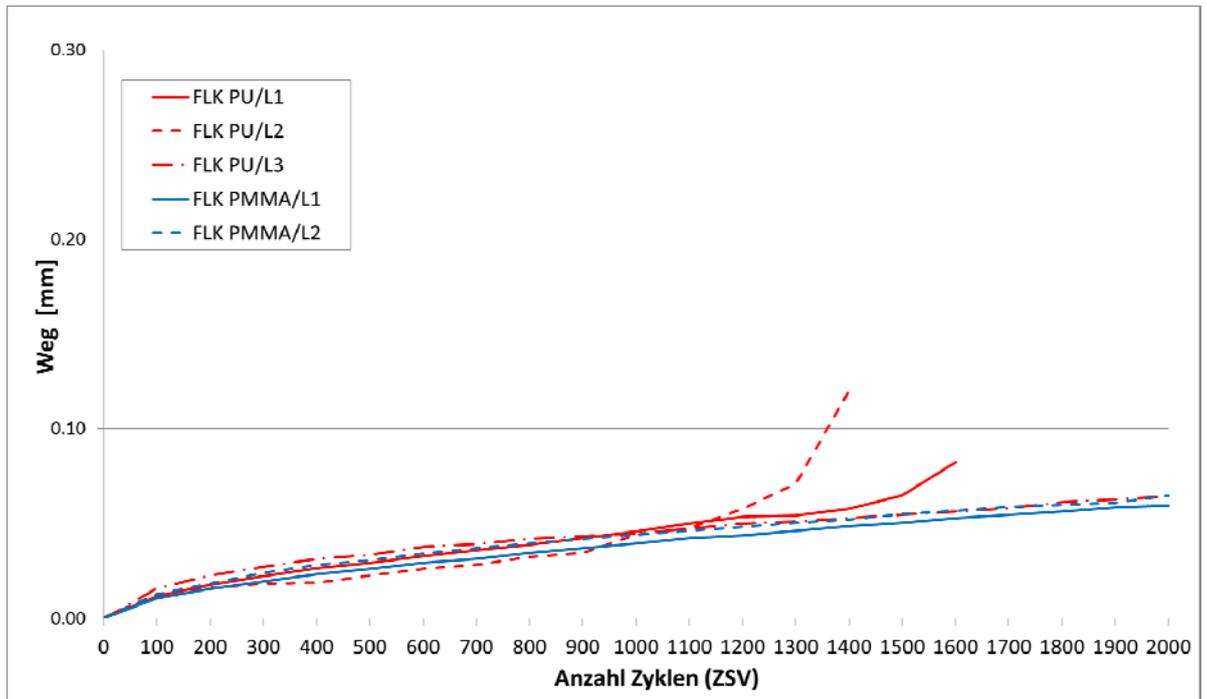


Abb.17 Grafische Darstellung der Zugschwellversuche ZSV an unterschiedlichen FLK-Abdichtungen mit unterschiedlichen Lagerungen

Der Bruch bei den FLK-Prüfkörper erfolgt in der Grenzfläche FLK PU-Gussasphalt

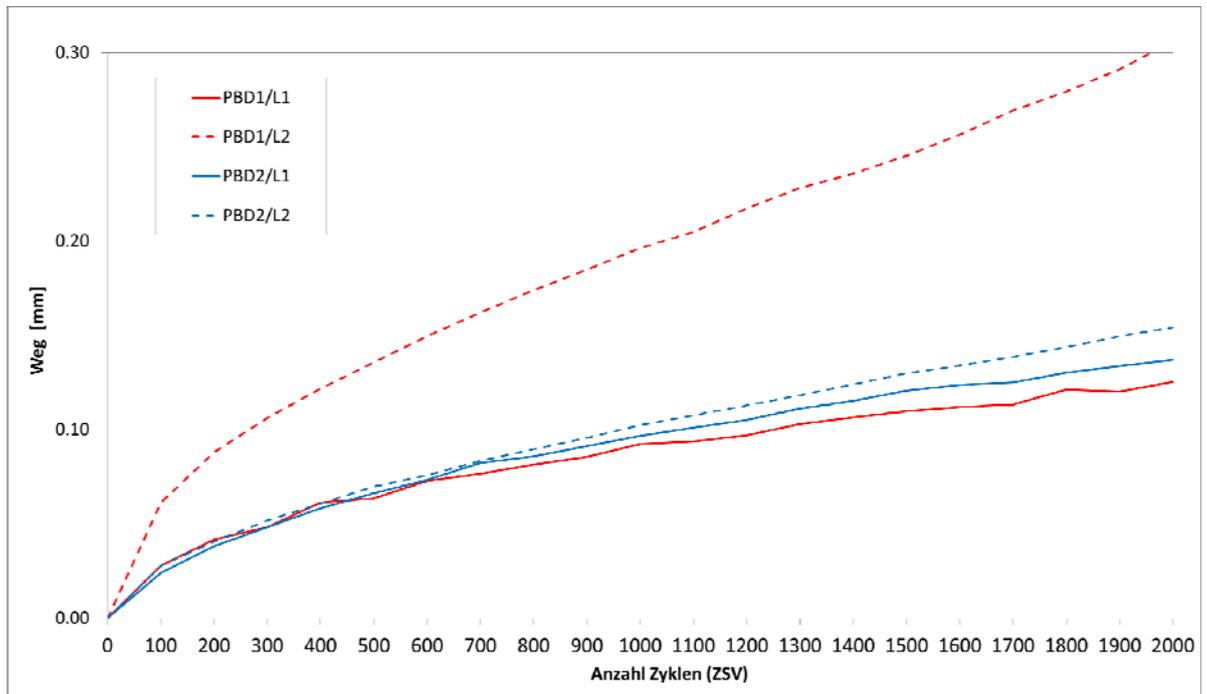


Abb.18 Grafische Darstellung der Zugschwellversuche ZSV an unterschiedlichen PBD-Abdichtungen mit unterschiedlichen Lagerungen

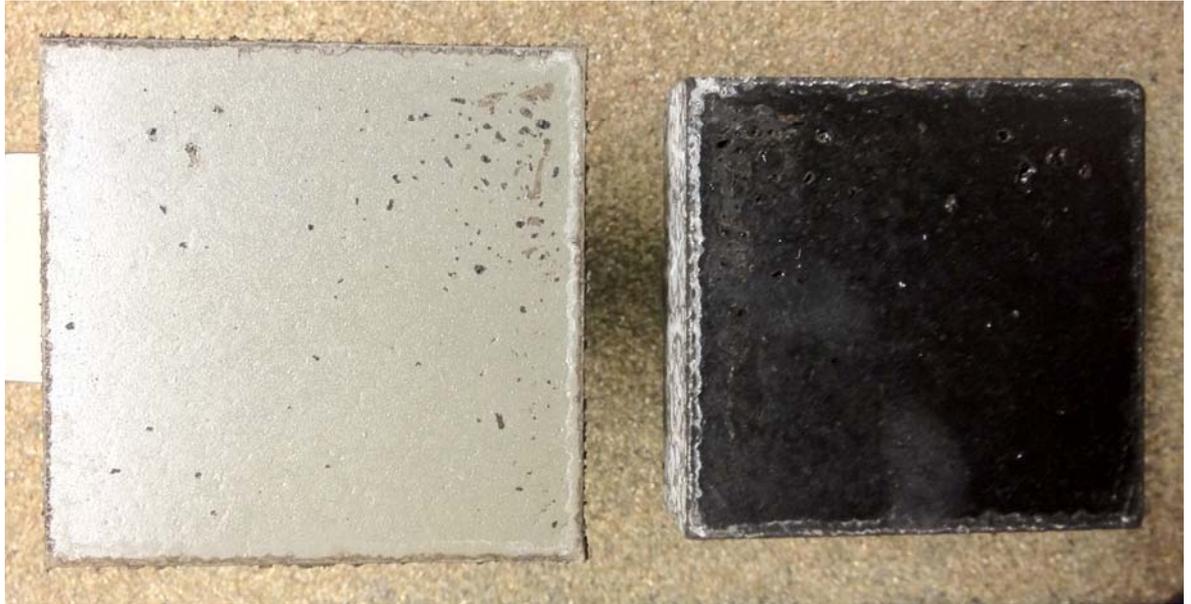


Abb.19 Bruch beim Zugschwellversuch am Prüfkörper mit FLK PU-Abdichtung

4.3 Schubschwellversuche

Die Ergebnisse der durchgeführten Schub-Schwellversuche sind in der Tab. 18 aufgeführt, die Atteste der einzelnen Untersuchungen befinden sich im Anhang I.4.

Im Anhang sind auch die beiden Atteste 11-06006-001 (PBD1 (bit.)/L1 und 11-06006-002 (PBD2 (EP)/L1) aufgeführt. Diese Ergebnisse wurden nicht weiter verwendet, da die Herstellung dieser Platten von der Herstellung der übrigen Platten abwich.

Tab. 18 Ergebnisse der Schub-Schwellversuche an den verschiedenen Systemaufbauten mit unterschiedlichen Lagerungen vor der Applikation der Schutzschicht

System	Lagerung	Weg bei 2000 Zyklen [mm]				Weg beim Bruch [mm]				Anzahl Zyklen beim Bruch			
		MW	EW 1	EW 2	EW 3	MW	EW 1	EW 2	EW 3	MW	EW 1	EW 2	EW 3
FLK PU	L1 trocken	0.483		0.393	0.572		0.744				1600		
FLK PU	L2 nass	0.484		0.484			0.693		0.66		1000		1600
FLK PU	L3 feucht	0.341	0.304	0.460	0.259								
FLK PMMA	L1 trocken	0.320	0.291	0.346	0.324								
FLK PMMA	L2 nass	0.347	0.349	0.347	0.345								
PBD1	L1 trocken	2.991	2.615	3.742	2.616								
PBD1	L2 nass	2.944	2.883		3.004			5.040				1000	
PBD2	L1 trocken	2.454	1.891	2.277	3.192								
PBD2	L2 nass	1.489	1.161	1.464	1.841								

Mit Ausnahme der Prüfkörper FLK P mit der Lagerung L2 (nass) wurden mit mindestens zwei der jeweils drei untersuchten Prüfkörpern 2000 Belastungszyklen ohne Bruch erreicht.

Wie in der Abbildung 4.37 zu sehen, erfolgte bei den FLK-PK der Bruch in der Grenzfläche FLK PU zu Gussasphalt. Deutlich erkennbar sind Lufteinschlüsse im Gussasphalt.



Abb.20 Bruchbild der Prüfkörper FLK PU; der Bruch erfolgte in der Grenzfläche FLK PU zu MA (oberes Bild MA / unteres Bild FLK PU)

Es fällt auf, dass bei den PBD-Systemen deutlich grössere Deformationen gemessen wurden als bei den FLK-Abdichtungen. Dies war zwar grundsätzlich zu erwarten, dass jedoch die Unterschiede Faktor 10 betragen überrascht etwas.

Die Prüfergebnisse sind auch in den Abb.21 und Abb.22 grafisch dargestellt.

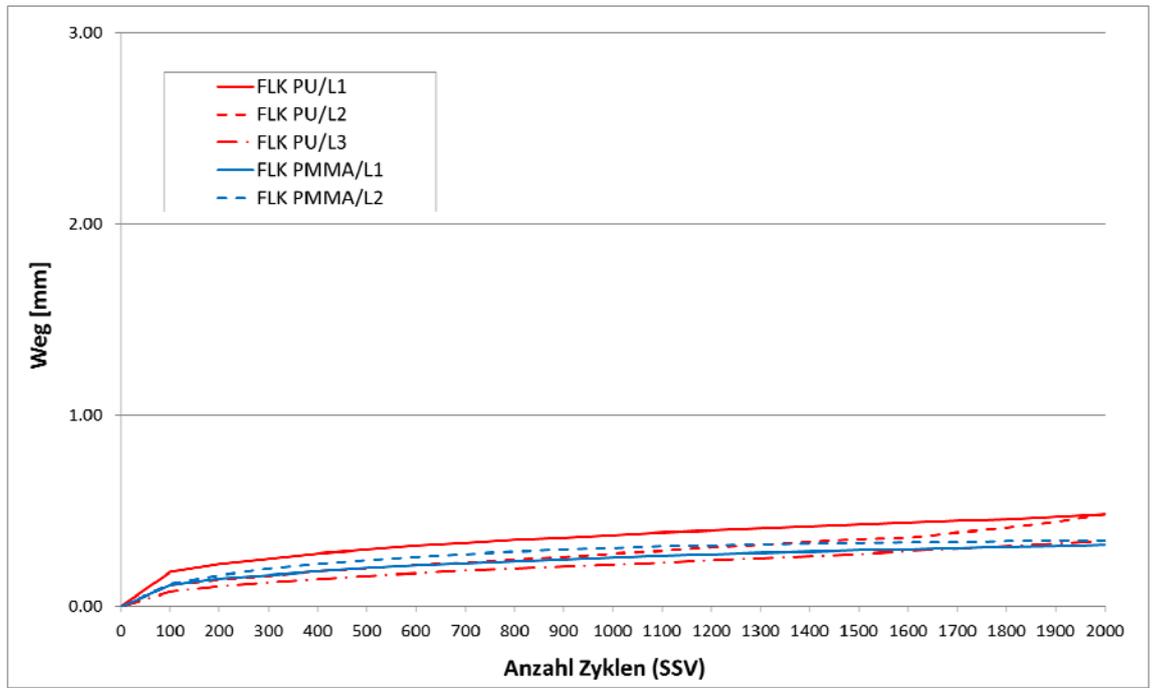


Abb.21 Grafische Darstellung der Schubschwellversuche SSV an unterschiedlichen FLK-Abdichtungen mit unterschiedlichen Lagerungen

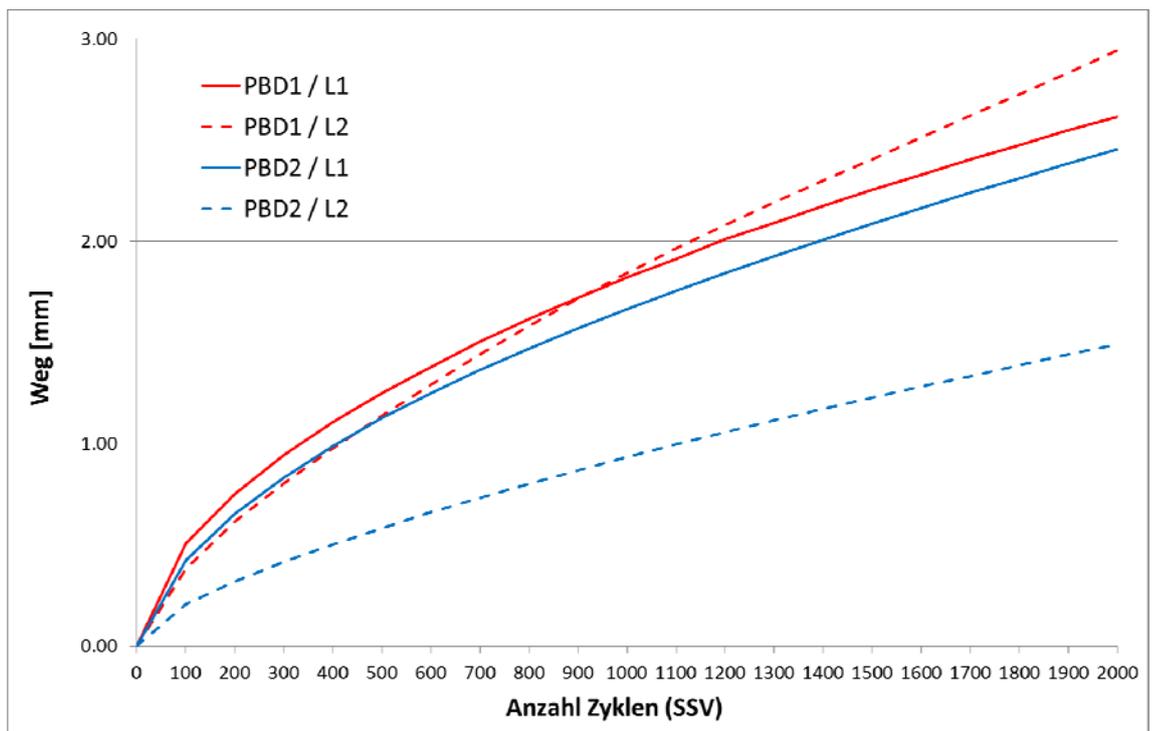


Abb.22 Grafische Darstellung der Schubschwellversuche SSV an unterschiedlichen PBD-Abdichtungen mit unterschiedlichen Lagerungen

5 Einfluss der Lagerung auf den Haftverbund

Beim vorliegenden Forschungsprojekt liegt der Fokus auf dem Haftverbund der Abdichtung auf der Betonunterlage. Die Prüfungen der unterschiedlich gelagerten Abdichtungen hingegen sollen Unterschiede in der Grenzfläche Abdichtung / Schutzschicht aufzeigen.

Die Lagerung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht wurde variiert, um deren Einfluss auf die Dauerhaftigkeit des Schubverbundes festzustellen. Dabei wurden 3 unterschiedliche Lagerungen gewählt (Tab. 2) um drei Einbaubedingungen auf Baustellen zu reproduzieren, nämlich optimal trockene Bedingungen (L1), feuchte Bedingungen wie sie im Herbst bei Nebel auftreten (L2) und ungünstige Einbaubedingungen nach Regenfällen und dem Abtrocknen der Oberfläche (L3).

Zugschwellversuch

Da bei einem Zugversuch alle Grenzflächen beansprucht werden, kann keine Aussage darüber gemacht werden, ob die festgestellten Unterschiede in der Grenzfläche Beton/Abdichtung oder Abdichtung/Schutzschicht aufgetreten sind. Es gibt keinen plausiblen, technischen Grund dafür, dass die Eigenschaften der Grenzfläche Beton/Abdichtung von der nachträglichen Konditionierung der Abdichtung beeinflusst werden kann. Wäre dies der Fall, dann würde es bedeuten, dass die Abdichtung ihre erstrangige Aufgabe (abdichten) nicht erfüllt hätte.

Daraus kann gefolgert werden, dass die beobachteten Unterschiede der Deformationen in der Grenzschicht Abdichtung / Schutzschicht entstanden sind.

Bei den FLK-PU-Abdichtungen konnte kein Einfluss der Konditionierung festgestellt werden. Die Ergebnisse liegen sehr nahe beieinander (siehe Abb.19) und die Reihung erscheint zufälliger Art zu sein.

Bei der FLK-PMMA-Abdichtung liegen die Ergebnisse der Prüfkörper mit den beiden Lagerungen L1 (optimale Bedingung) und L2 (Herbst / Nebel) auch nahe beieinander. Die beiden Verformungskurven (jeweils Mittelwert einer 3-er-Serie) verlaufen parallel nebeneinander, wobei die Lagerung L1 (erwartungsgemäss) kleinere Deformationen zeigt.

Bei den PBD-Abdichtungen PBD1 und PBD2, welche sich nur in der Grundierung unterscheiden (PBD 1: bituminös / PBD 2: Epoxibasis), kann beobachtet werden, dass die Lagerung L2, welche eine ungünstigere Einbaubedingung darstellt, zu grösseren Deformationen führt (Tab. 18).

Dass bei der PBD1 die Unterschiede zwischen den beiden Lagerungen grösser sind als bei der PBD2 ist rein zufällig. Wie oben dargelegt, steht die Eigenschaft der Grundierung in keinem Zusammenhang mit dem Einfluss der Lagerung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht.

Schubschwellversuch

Der Vergleich der Prüfergebnisse lässt keinen systematischen Einfluss der Konditionierung der Prüfkörper auf das Prüfergebnis zu.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen bei Lagerung L1 zur Lagerung L2 liegen bei den Abdichtungen PBD1, FLK-PU und FKL-PMMA unterhalb der Wiederholgrenze von 16 % gemäss Kapitel 3.2.4.

Einzig bei der Abdichtung PBD2 sind die Unterschiede im statistischen Sinne relevant.

Da bei den Prüfkörpern PBD1 und PBD2 die gleiche PBD-Abdichtung verwendet wurde, können diese beiden Prüfkörper als gleichwertig betrachtet werden. Die Serie PBD2 / L2 fällt durch relativ tiefe Werte auf; die Unterschiede sind nicht erklärbar. Die Prüfkörper für die Serie PBD2/L2 wurden mit den gleichen Baustoffen und dem gleichen Vorgehen aber zu einem anderen Zeitpunkt hergestellt

6 Einfluss des Betonuntergrundes auf den Haftverbund

6.1 Zielsetzung

Die bisherigen Untersuchungen des Forschungsauftrages basieren auf Prüfkörpern, bei denen optimale, gleichbleibende Eigenschaften des Betonuntergrundes vorausgesetzt wurden. Variiert wurde die Lagerung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht, dabei wurden verschiedene in der Praxis auftretende Witterungszustände nachvollzogen.

Im Verlaufe der Bearbeitung des Forschungsauftrages wurde von der Begleitkommission der Wunsch geäussert auch die Dauerhaftigkeit des Verbundes Beton/Abdichtung in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Betonuntergrundes zu untersuchen. Dabei sollten die im Rahmen des Forschungsauftrages entwickelten, dynamischen Prüfmethoden auf Prüfkörper angewendet werden, bei denen der Betonuntergrund variiert.

Um dies zu ermöglichen, wurden die Betonplatten welche im EP 4 "Zerstörungsfreie Prüfungen, Beurteilung von Verbund und Oberflächen" mit unterschiedlichen Betonsorten erstellt wurden benutzt; (siehe Abb.23). Diese Betonplatten wurden im Rahmen des EP 4 [13] eingehend untersucht, so dass auf weitere Untersuchungen des Betonuntergrundes verzichtet werden konnte.

6.2 Vorgehen

Die für das EP 4 betonierten Probefelder wurden mit verschiedenen Betonen und zwei unterschiedlichen Oberflächenbearbeitungen erstellt:

Beton gemäss SN EN 206-1 [13]:

C-30/37, XC4, Dm 32 mm, W/Z ca. 0.40

Variante 1:

Luftporengehalt 1.0 Vol.-% (Frischbetonkontrolle)

Variante 2:

Luftporengehalt 5.4 Vol.-% (Frischbetonkontrolle)

Die Bearbeitung der Oberfläche des Frischbetons erfolgte ebenfalls in zwei unterschiedlichen Varianten, nämlich einerseits mit einer Flügelmachine und andererseits mit einem Vibro-Balken. So ergaben sich vier unterschiedliche Betonuntergründe. Die Untersuchungsergebnisse des Betons können vollumfänglich verwendet werden (siehe Abb.23).

Tab. 19 Ergebnisse der Beton-Untersuchungen an den beiden Platten; aus [13]

Betonplatte	West (Nr 1)		Ost (Nr 2)	
	FM	VB	FM	VB
Oberflächenbearbeitung				
Datum Herstellung	9.07.2009		10.07.2009	
WZ-Faktor	0.40		0.42	
Luftporen Vol.-% (Frischbeton)	1.1		5.4	
Verdichtungsmass Walz	1.13		1.18	
Temperatur Luft	14		18	
Temperatur Beton	20		20	
Druckfestigkeit 28-Tage [N/mm ²]	58.1		46.3	
Porosität [Vol.-%]	1.4	2.2	5.8	4.0
Rautiefe [mm]	0.5	0.7	0.6	0.7
Luftpermeabilität	0.003	0.009	0.013	0.006
Feuchtigkeitsgehalt CM [Masse-%]	2.2	2.8	2.4	2.8

FM: Flügelmaschine

VB: Vibrobalken

Der Einfluss des Betonuntergrundes auf die Dauerhaftigkeit des Haftverbundes dürfte erwartungsgemäss bei einem bituminösen Haftvermittler deutlich grösser sein als bei einer Epoxidharz-Versiegelung. Es ist zu erwarten, dass bei einer EP-Versiegelung der Einfluss der Eigenschaften des Betonuntergrundes durch die Applikation der EP-Schicht eliminiert wird.

Um diese Erwartung zu überprüfen, wurden Untersuchungen sowohl in Feldern mit bituminösem Haftvermittler als auch mit Epoxidharz-Versiegelung durchgeführt. So ergaben sich die in der Tab. 20 aufgeführten 8 untersuchten Probefelder.

In diesen 8 Feldern wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Haftzugversuche auf der Abdichtung in Situ (3er-Serie)
- Entnahme von Bohrkernen Ø 150 mm sowie Durchführung des dynamischen Zug-Schwellversuches gemäss der in Kap. 3.1 evaluierten Prüfmethode.

Tab. 20 Untersuchte Probefelder mit unterschiedlichem Beton-Eigenschaften und unterschiedlicher Bearbeitung der Oberfläche

Feld Nr.	Grundierung	Abdichtung	Luftporen Frischbeton	Luftporen Porosität SIA	Haftzugfestigkeit Beton	Bearbeitung der Oberfläche
			[Vol.-%]	[Vol.-%]	[N/mm ²]	
1.1 A	bit.	PBD	1.1	1.4	3.8	Flügelmaschine
2.3 A	bit.	PBD	5.4	5.8	2.8	Flügelmaschine
1.1 B	bit.	PBD	1.1	2.2	3.5	Vibrobalken
2.3 B	bit	PBD	5.4	4.0	2.4	Vibrobalken
1.2. A	EP	PBD	1.1	1.4	3.0	Flügelmaschine
2.2 A	EP	PBD	5.4	5.8	2.8	Flügelmaschine
1.2 B	EP	PBD	1.1	2.2	4.6	Vibrobalken
2.2 B	EP	PBD	5.4	4.0	2.4	Vibrobalken

6.3 Ergebnisse

Aus den Bohrkernen Ø 150 mm wurden Prüfkörper 100 x 100 mm geschnitten und gemäss den in Punkt 3.1.3 festgelegten Prüfparameter untersucht:

- Unterlast: 0.002 N/mm²
- Oberlast: 0.2 N/mm²
- Temperatur: 30°C
- Anzahl Zyklen: 2000
- Belastungskurve:
Hafersein Belastung mit Pausen
Belastung: (Oberlast 0.2 sek.)
Pause (Unterlast 1.5 sek.)

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in der Tab. 21 aufgeführt.

Tab. 21 Ergebnisse der dynamischen Zug-Schwellversuche an Bohrkernen mit unterschiedlichem Betonuntergrund

Feld Nr.	Haftzugfestigkeit auf Abdichtung* [N/mm ²]	Grundierung	Luftporen [Vol.-%]	Oberflächenbearbeitung	Dehnung bei 2000 Zyklen (Mittelwert) [mm]	Bruch bei n Zyklen (Mittelwert) Zyklen	Trennschicht bei Bruch	Bemerkung
1.1 A	0.9	bituminös	1.1%	Flügelmaschine	0.358	-	-	
2.3 A	0.82	bituminös	5.4%	Flügelmaschine	-	80	Be- ton/PBD	3 Pks gerissen
1.1 B	0.95	bituminös	1.1%	Vibroblech	0.628	350	Be- ton/PBD	1PK bis 2000 Zyklen, 2 Pks geris- sen
2.3 B	0.94	bituminös	5.4%	Vibroblech	-	69	Be- ton/PBD	3 PKs gerissen
1.2 A	1.33	Epoxy	1.1%	Flügelmaschine	0.747	-	-	
2.2 A	1.16	Epoxy	5.4%	Flügelmaschine	0.243	-	-	
1.2 B	1.02	Epoxy	1.1%	Vibroblech	1.477	-	-	
2.2 B	1.08	Epoxy	5.4%	Vibroblech	0.349	-	-	

* Prüftemperatur 10...13 °C

6.4 Diskussion

Bei den PBD-Abdichtungen mit bitumenhaltigem Haftvermittler (Grundierung) kann ein deutlicher Einfluss des Luftporengehaltes des Frischbetons festgestellt werden. Sowohl bei der Bearbeitung mit Flügelmaschine wie auch mit Vibroblech konnten beim Beton mit 5.4 % Luftporengehalt die angestrebten 2000 Belastungs-Zyklen nicht erreicht werden. Es kam zu frühzeitigem Bruch bei relativ kleiner Anzahl Zyklen von 69 bzw. 80 Zyklen. Beim Luftporengehalt von 1.1 Vol.-% konnten die angestrebten 2000 Belastungszyklen gefahren werden.

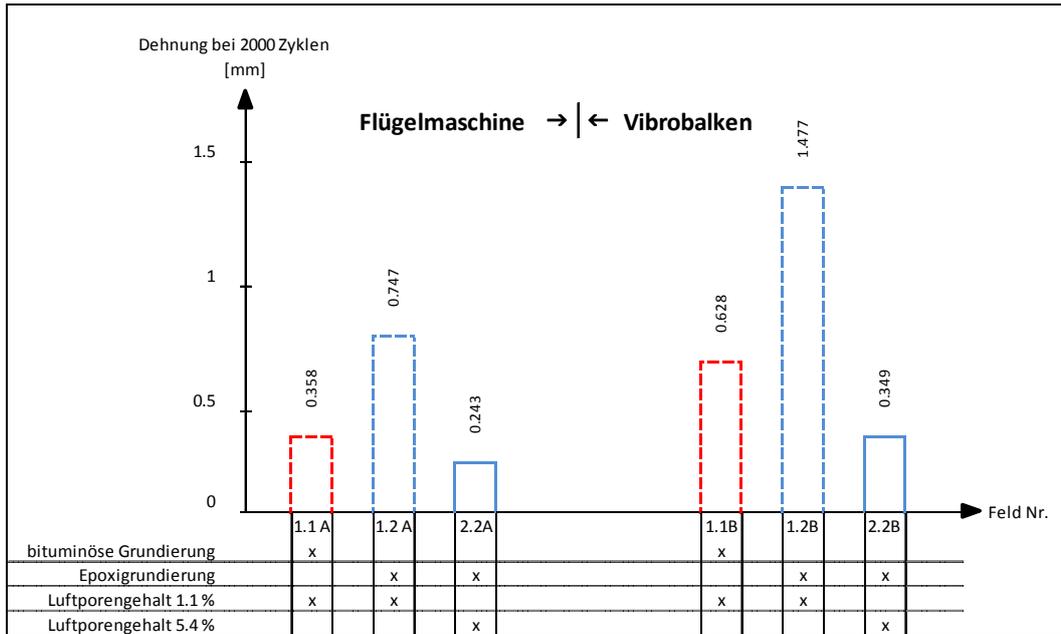


Abb.23 Vergleich der Dehnung in Abhängigkeit zur Bearbeitung der Betonoberfläche (Flügelmaschine / Vibrobalken)

Beim Vergleich der Flügelmaschine mit dem Vibrobalken fällt auf, dass die Flügelmaschine den Haftverbund ganz offensichtlich positiv beeinflusst. Die Prüfkörper aus dem Beton, welcher mit der Flügelmaschine bearbeitet wurde, zeigen deutlich tiefere Dehnungen bei 2000 Zyklen als jene aus dem Beton welcher mit dem Vibrobalken bearbeitet wurden. Der Mittelwert der Prüfkörper „Flügelmaschine“ liegt mit 0.449 mm um 45 % tiefer als der Mittelwert der Prüfkörper „Vibrobalken“ (0.818 mm). Die Abbildung 6.43 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse.

Beim Beton mit einem Luftporengehalt von 5.4 % und einem bituminösen Haftvermittler konnten die angestrebten 2000 Belastungszyklen nicht erreicht werden. Doch auch in diesem Fall zeigt sich ein kleiner Vorteil für die Prüfkörper „Flügelmaschine: bei diesen Prüfkörpern konnten mehr Zyklen (80 im Mittel der drei PK) als beim Vibrobalken (69 im Mittel der drei PK) gefahren werden bis der Bruch eintrat.

7 Folgerungen

Aus den durchgeführten Methodenentwicklungen, Untersuchungen mehrerer unterschiedlich konditionierter Abdichtungsoberflächen vor dem Einbau der Schutzschicht sowie aus den Untersuchungen einiger in der Praxis eingebauter Abdichtungssysteme lassen sich die untenstehenden Folgerungen ziehen:

- Aus den evaluierten dynamischen Prüfmethode zur Beurteilung des Schichtenverbundes von Abdichtungssystemen hat sich ein definierter Schub-Schwellversuch als sehr geeignet erwiesen. Die ermittelte Wiederholbarkeit von 16 % ist – für die Anwendung an mehrschichtigen Systemen - als sehr befriedigend zu betrachten.
- Die Prüfung dynamischer Zugschwellversuch eignet sich für die Prüfung von Brückenabdichtungssystemen nicht. Die Wiederholbarkeit liegt bei 66 %, was für die Praxis nicht akzeptabel ist. Wir gehen davon aus, dass sich dynamische Zugversuche bei mehrschichtigen Systemen weniger eignen, da sich kleinste Fehlstellen in den Grenzflächen sehr stark auf das Ergebnis auswirken.
- Die festgelegte Prüfmethode „dynamischer Schub-Schwellversuch“ wird als geeignet betrachtet, um die Systemtauglichkeit von Brücken-Abdichtungssystemen zu bewerten. So konnten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Abdichtungssystemen festgestellt werden. Der Einfluss des Betonuntergrundes konnte ebenfalls aufgezeigt werden.
- Abklärungen zur Möglichkeit dynamische Prüfungen zur Beurteilung des Schichtenverbundes in situ durchzuführen zeigten auf, dass derartige Versuche nur mit einem grossen Eingriff in die Abdichtung realisierbar sind. Da bei Brückenabdichtungssystemen jeder Flick eine Schwachstelle bedeutet, ist es nicht sinnvoll Prüfungen zu entwickeln, bei denen die Abdichtung auf einer relativ grossen Fläche zerstört und anschliessend wieder instand gestellt werden muss. Es wurde daher darauf verzichtet eine Prüfmethode zu evaluieren, welche dann später in der Praxis keine Anwendung finden würde.
- Aus der Untersuchung des Einflusses der Konditionierung der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht können folgende Schlüsse gezogen werden:
 - Beim dynamischen Schub-Schwellversuch konnten keine gesicherten Unterschiede zwischen den verschiedenen Konditionierungen der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht ausgemacht werden. Es entsteht der (provisorische) Eindruck, dass die Witterungsbedingungen vor dem Einbau der Schutzschicht den Schichtenverbund nicht beeinflussen.
 - Beim dynamischen Zug-Schwellversuch konnte kein systematischer, statistisch relevanter Einfluss der klimatischen Bedingungen vor dem Einbau der Schutzschicht festgestellt werden.

- Mit dem dynamischen Schub-Schwellversuch wurde auch der Einfluss des Betonuntergrundes auf die Dauerhaftigkeit des Schichtenverbundes untersucht. Dabei wurden Bohrkern aus einem Objekt entnommen, bei welchem der Betonuntergrund sowohl bezüglich der Betonqualität (Luftporengehalt) als auch bezüglich der Bearbeitung der Betonoberfläche (Flügelmaschine / Vibrobalken) variiert wurde. Die Abdichtung bestand aus einer PDB, bei welcher die Grundierung variiert wurde (bituminös / auf Epoxibasis).
 - Bei den PDB-Abdichtungen mit bituminösem Haftvermittler konnte ein deutlicher Einfluss des Luftporengehaltes auf den Schichtenverbund festgestellt werden. Bei grösserem Gehalt an Luftporen wurden grössere Deformationen unter einer dynamischen Zug-Beanspruchung gemessen.
 - Die Bearbeitung der Betonoberfläche hat einen grossen Einfluss auf die Schichthaftung: die mittlere Deformation dreier Versuchsfelder unter dynamischer Zug-Beanspruchung liegt bei der Flügelmaschine um 45 % tiefer als beim Vibrobalken.
- Ein Ziel des Projektes war es auch, einen ersten Hinweis auf mögliche Anforderungen festzulegen. Die Datenbasis ist zurzeit zu klein, um Anforderungen an die verschiedenen Abdichtungssysteme zu formulieren. Immerhin kann auf die Beobachtung verwiesen werden, wonach bei einigen Systemaufbauten die angestrebte Anzahl von Belastungszyklen (2000) infolge frühzeitigen Bruchs nicht gefahren werden konnte. Als erste grobe Bewertungshilfe kann unseres Erachtens das Kriterium des Erreichens von 2000 Belastungszyklen gewählt werden. Kann bei einem Systemaufbau die Prüfung nicht bis zum Ende gefahren werden, dürfte es sich um eine ungeeignete Abdichtung handeln. In der Frage der Festlegung von Anforderungen besteht noch Handlungsbedarf.

Anhänge

I.1	Erstprüfung Gussasphalt MA 11	58
I.2	Arbeitsanleitung der Prüfkörpervorbereitung und Einspannung für den dynamischen Zug-Schwellversuch	59
I.3	Ergebnisse der Zug-Schwellversuche an den Aufbauten	62
I.4	Ergebnisse der Schub-Schwellversuche an den Aufbauten	73

I.1 **Erstprüfung Gussasphalt MA 11**

Erstprüfung
Mischgutsollwerte MA 11 S

Baustelle	Wädenswil-Au, Forschungsvorhaben Tecnotest AG													
Baumassnahme	Musterplatten EMPA												Schichtdicke gem. SN 640 440c	
Aufbereitungsanlage	Boningen				Unternehmer AESCHLIMANN AG									
Sorte	MA 11		Typ S		Rezept 51133				Datum 08.2010					
Prüfstelle Institut für Materialprüfung, Dr. Schellenberg Rottweil														
BINDEMITTEL														
Art/Sorte	Nybit PX 25			Dosierung	7.2		Masse%	lösl.Anteil	7.0		Masse%			
ZUSÄTZE														
Art/Sorte				Dosierung			Masse%	lösl.Anteil			Masse%			
Bindemittel Gesamtdosierung				7.2		Masse%	¹ lösl.Anteil	7.0		Masse%				
Bindemittelrückgewinnung		Pen. 25°C		≥ 15		0.1mm		EP R+K		≥ 70		°C		
MINERALSTOFFE HERKUNFT														
ANTEIL BRECHKORN/ROHDICHTE														
Filler	Kalkwerk Istein			Sand	KIBO				Splitt					Kieswerk Boningen
Brech Korn	im Sand 35 %			≥ 2.8 mm 100%				Rohdichte					2.69 g/cm ³	
EINDRINGTIEFE														
¹ statisch		30' ≤ 1.7 ¹ mm						Zunahme ≤ 0.4 ¹ mm						
¹ dynamisch		30' ≤ 3.0 ¹ mm						Zunahme ≤ 1.3 ¹ mm						
KORNGRÖSSENVERTEILUNG														
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		¹ Basiswerte gemäss Untersuchung IfM für Vergleichsprüfungen.												
Revision														
Datum		13. April 2011												
Visum		 Aeschlimann AG 8048 Zürich Tel. 044 371 77 17												

I.2 Arbeitsanleitung der Prüfkörpervorbereitung und Einspannung für den dynamischen Zug-Schwellversuch

Prüfkörpervorbereitung für dynamische Zug-/Schwellversuche

Vorbereitungen

- Die Prüfkörper werden über Nacht bei einem Raumklima von 23°C temperiert.
- Die Zugeinrichtung die auf der UPM verwendet wird besteht aus 2 Stahlplatten (d = 100 mm) und 2 zylindrische Aufnahmen, um den Prüfling in die UPM einzubauen (Abb. 1 und Abb. 2).
- Die Klebeflächen werden mit Aceton entfettet.
- Eine Stahlplatte wird auf eine der Aufnahmen montiert.
- Der Klebstoff wird auf die Stahlplatte zügig aufgetragen und darauf die Gussasphaltseite des Prüfkörpers positioniert und geklebt. Die Trocknungszeit beträgt beim verwendeten Klebstoff 15 Minuten.



Abb. 1 Stahlplatten und Aufnahmen

- Einbau des Prüfkörpers in die Prüfmaschine (Befestigung der zylindrischen Aufnahme an die obere Welle).
- Montieren der zweiten Aufnahme an die Stahlplatte und Einbau in die Prüfmaschine (an die untere Welle).
- Versuchsparameter dem Laborauftrag entsprechend einstellen.



Abb. 2 Einbau in Universalprüfmaschine

- Nach dem Einrichten der Maschineneinstellungen erfolgt der weitere Verlauf in 2 Schritten (Abb.3)
- Schritt 1: Sofort nach dem Auftragen des Klebstoffes auf der Stahlplatte der unteren Aufnahme, wird mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0.001 kN/sec (entsprechend $0.0001 \text{ N/mm}^2 \text{ pro sec}$) der Prüfkörper auf eine Drucklast von 0.01kN (entsprechend einem Druck von 0.001 N/mm^2) gebracht und während 15 Minuten konstant gehalten.
- Da der Weg in diesem Versuch zusätzlich durch einen externen Taster aufgezeichnet wird, wird nach dem Schritt 1 an der Unterseite des Prüfkörpers eine Metallauflage geklebt auf welcher der Wegaufnehmer aufgesetzt werden kann (Abb. 2).
- Schritt 2: Mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 0.001 kN/sec (entsprechend $0.0001 \text{ N/mm}^2 \text{ pro sec}$) wird diejenige Zugkraft aufgebracht, welche als Schwellbelastung in den Versuchsparametern definiert ist.

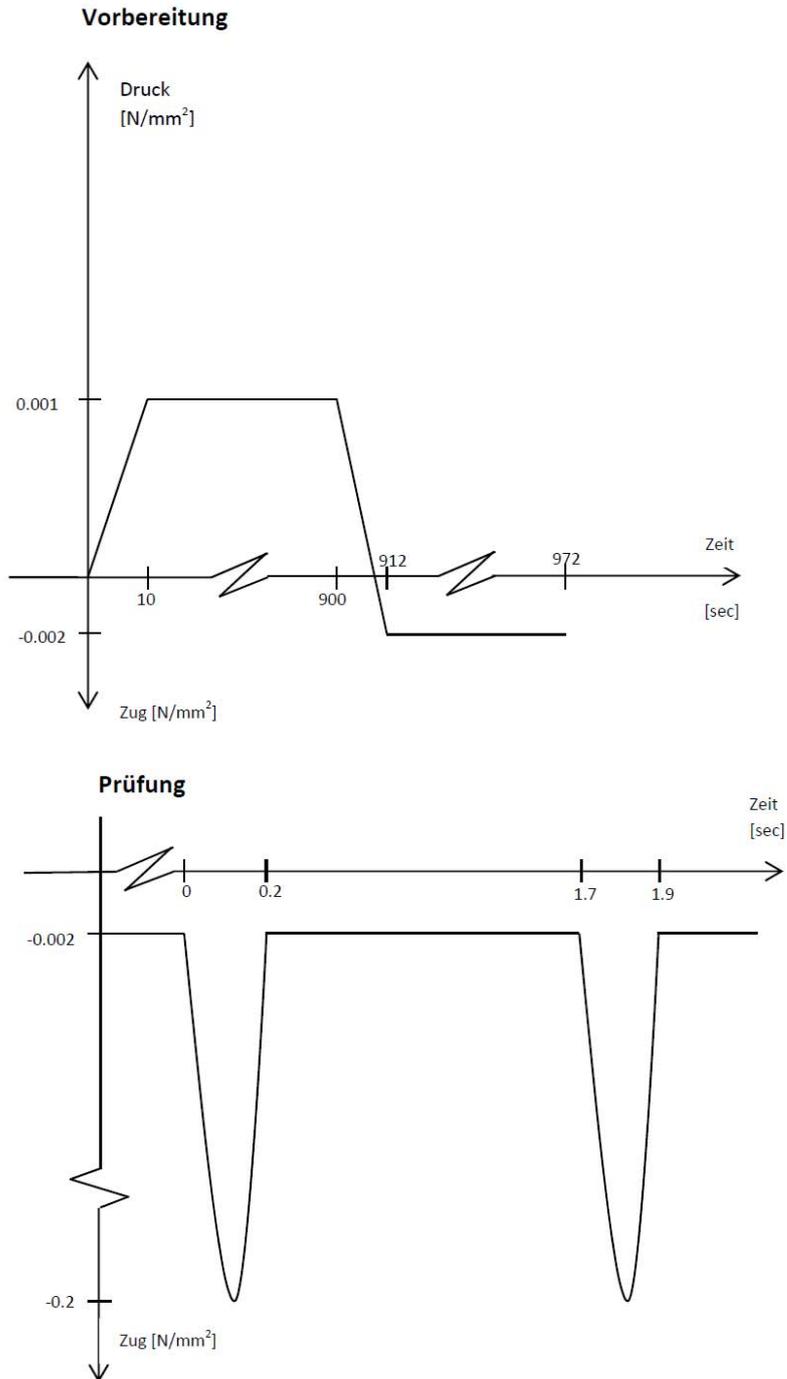


Abb. 3 Grafische Darstellung der zeitabhängigen Lastaufbringung während der Prüfkörpervorbereitung und der Prüfung

Klebstoff

Verwendet wurde ein schnellhärtender, leistungsstarker Montage-Klebstoff:

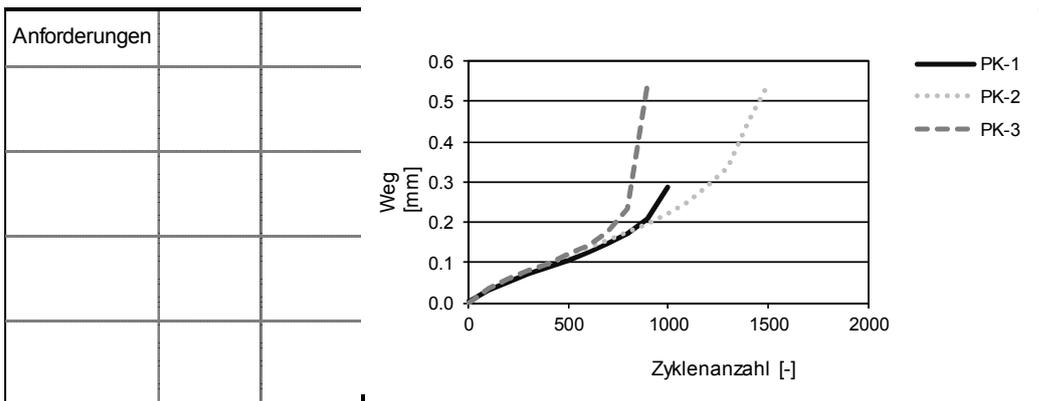
- Aushärtegeschwindigkeit: bei 25°C 8 Minuten, bei 20°C 11 Minuten
- Schichtdicke: 1-3 mm
- Gebrauchstemperatur -40°C,max. +60°C
- Zugfestigkeit 10 N/mm² (+23°C)

I.3 Ergebnisse der Zug-Schwellversuche an den Aufbauten

IMP-Nummer	11-06006-001	Zugschwellversuch
Projekt	250295	
Herstellung	07.04.2011	
Bezeichnung	PBD 1	IMP Bautest AG
Haftkleber	bituminös	Institut für Materialprüfung
Abdichtung	PBD	Hauptstrasse 591
Lagerung	L1	4625 Oberbuchsiten

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG		
Belastung	Prüfkörper	Temperatur
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten <input checked="" type="checkbox"/>	Prüftemperatur : 30 °C
Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec <input type="checkbox"/>	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.
Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec	quadratisch: Länge = 100x100 mm	Prüfdatum 08.11.2012
Stempel : D = 100 mm		

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	75.2	75.6	75.8	75.5
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.285	0.542	0.545	0.457
Bruch bei Zyklen	1000	1500	900	1133



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\11-06006-001_ZVS.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 8. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 11-06006-002
Projekt 250295

Zugschwellversuch

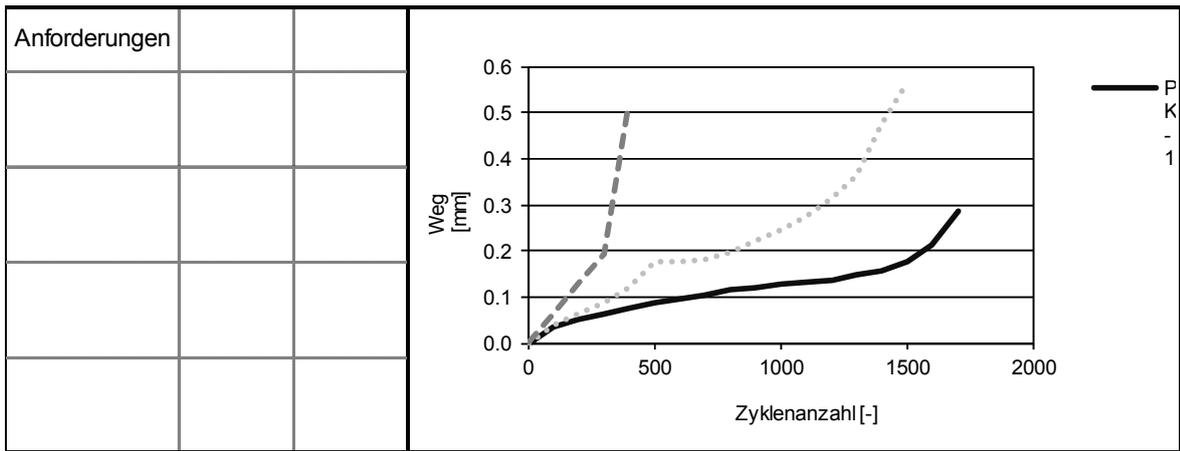
Herstellung 07.04.2011

Bezeichnung PBD 2
Haftkleber Epoxy
Abdichtung PBD
Lagerung L1

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten X	Prüftemperatur : 30 °C	
Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec	.....	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec	quadratisch: Länge = 100x100 mm	Prüfdatum 08.11.2012	
Stempel : D = 100 mm			

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	75.2	75.6	75.8	75.5
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.285	0.566	0.518	0.456
Bruch bei Zyklen	1700	1500	400	1200



M:\15_D-Projekt\F_250295FPBrückenEP3_Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\11-06006-002_ZVS.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 8. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-001
Projekt 250295

Zugschwellversuch

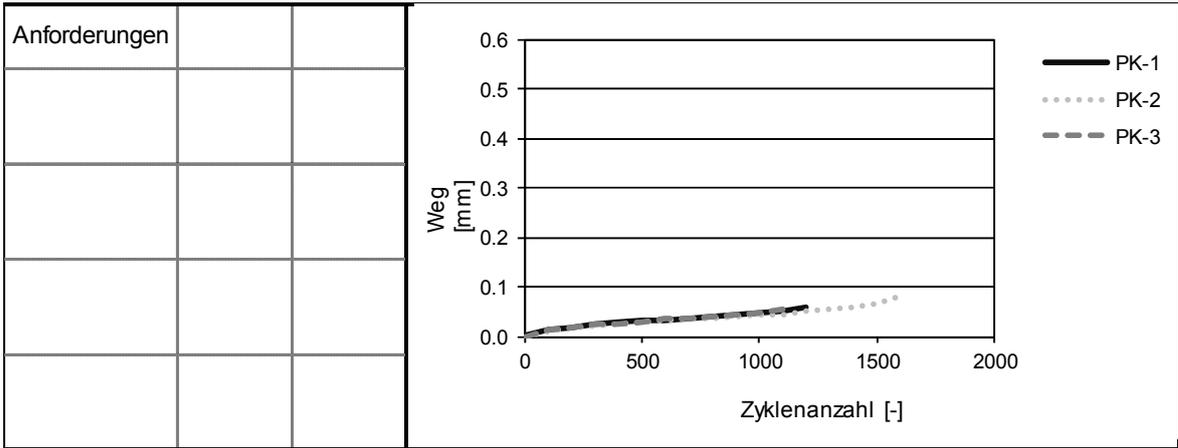
Herstellung 05.05.2010

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

Bezeichnung FLK 1
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PU
Lagerung L1

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec Stempel : D = 100 mm	Prüfkörper aus Platte geschnitten X quadratisch: Länge = 100x100 mm	Temperatur Prüftemperatur : 30 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 30.10.2012

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	84.9	85.2	84.9	85.0
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.058	0.082	0.054	0.064
Bruch bei Zyklen	1200	1600	1100	1300



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-001_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 30. Oktober 2012 IMP Bautest AG
 Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-002
Projekt 250295

Zugschwellversuch

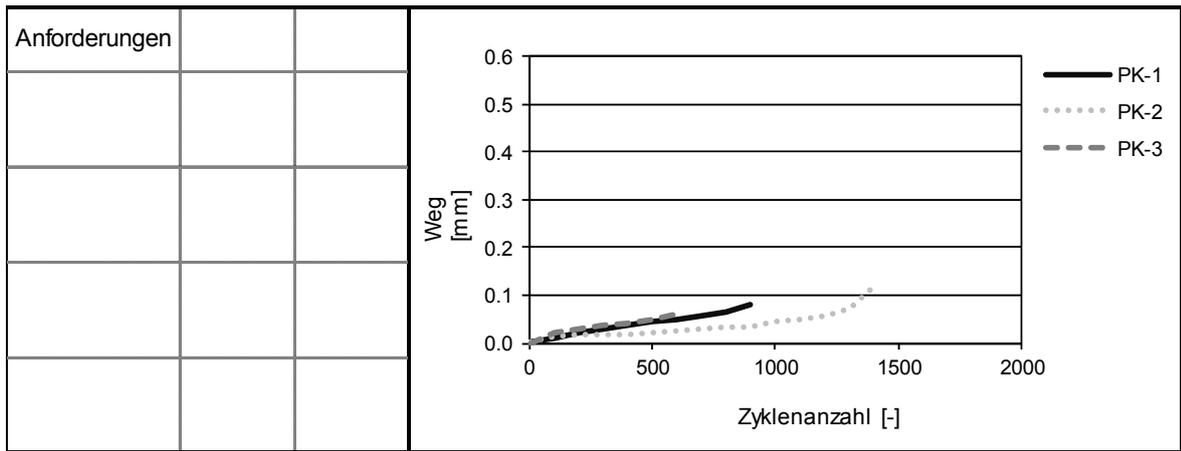
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung FLK 1
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PU
Lagerung L2

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten X	Prüftemperatur : 30 °C	
Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec	.....	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec	quadratisch: Länge = 100x100 mm	Prüfdatum 31.10.2012	
Stempel : D = 100 mm			

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	88.1	87.5	88.9	88.2
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.080	0.120	0.061	0.087
Bruch bei Zyklen	900	1400	600	967



M:\15_D-Projekt\F_250295FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-002_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 31. Oktober 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-003
Projekt 250295

Zugschwellversuch

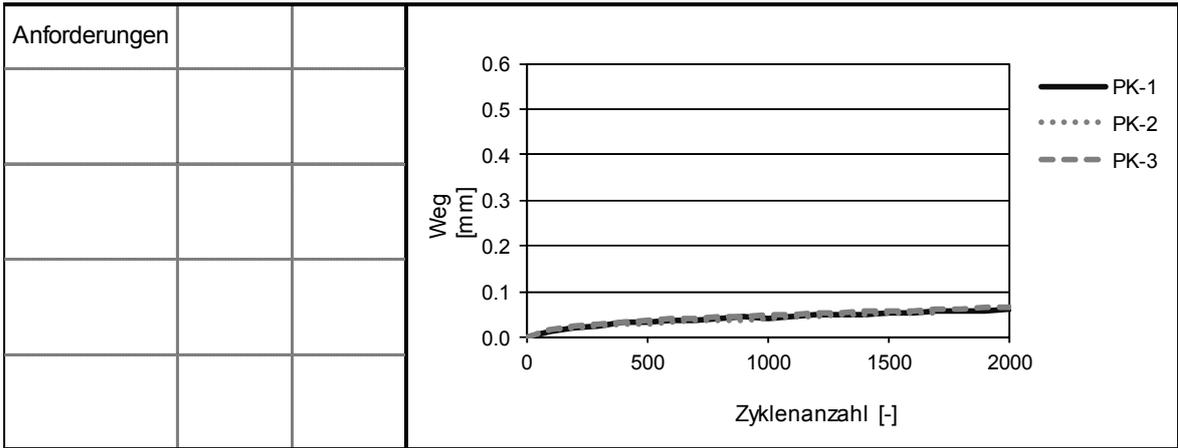
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung FLK 1
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PU
Lagerung L3

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart : Haversine</p> <p>Unterlast : 0.002 N/mm²; 1.5 sec</p> <p>Oberlast : 0.2 N/mm²; 0.2 sec</p> <p>Stempel : D = 100 mm</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten <input checked="" type="checkbox"/> X</p> <p>..... <input type="checkbox"/></p> <p>quadratisch: Länge = 100x100 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur : 30 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 05.11.2012</p>

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	85.0	85.4	84.4	84.9
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.061	0.056	0.068	0.062
Bruch nach Zyklen	-	1700	-	1700



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP3_Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-003_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 5. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-004
Projekt 250295

Zugschwellversuch

Herstellung 05.05.2010

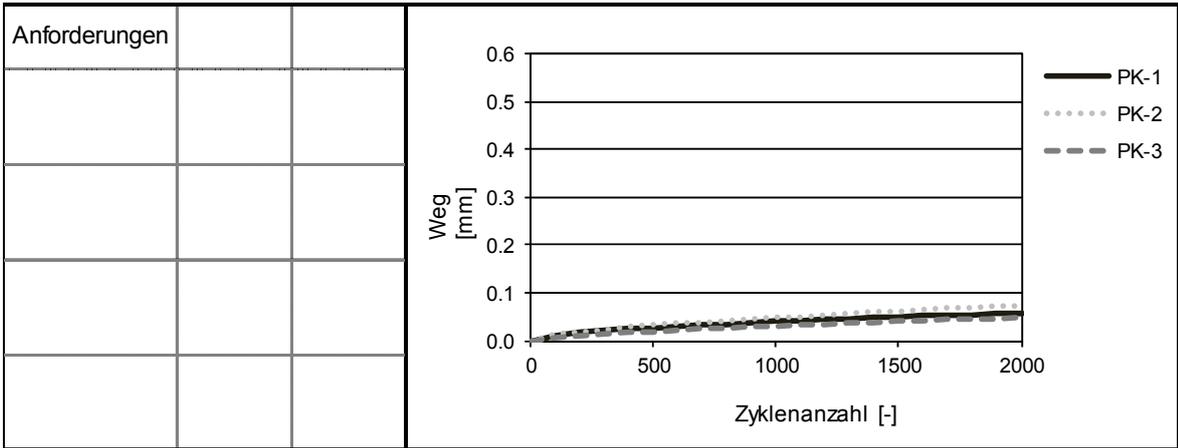
IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591

Bezeichnung FLK 2
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PMMA
Lagerung L1

4625 Oberbuchsiten

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten X	Prüftemperatur : 30 °C	
Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec	.....	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec	quadratisch: Länge = 100x100 mm	Prüfdatum 07.11.2012	
Stempel : D = 100 mm			

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer Pk-Höhe [mm]	PK-1 82.4	PK-2 83.1	PK-3 82.6	Mittelwert 82.7
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.058	0.074	0.048	0.060
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekt\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-004_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 7. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-005
Projekt 250295

Zugschwellversuch

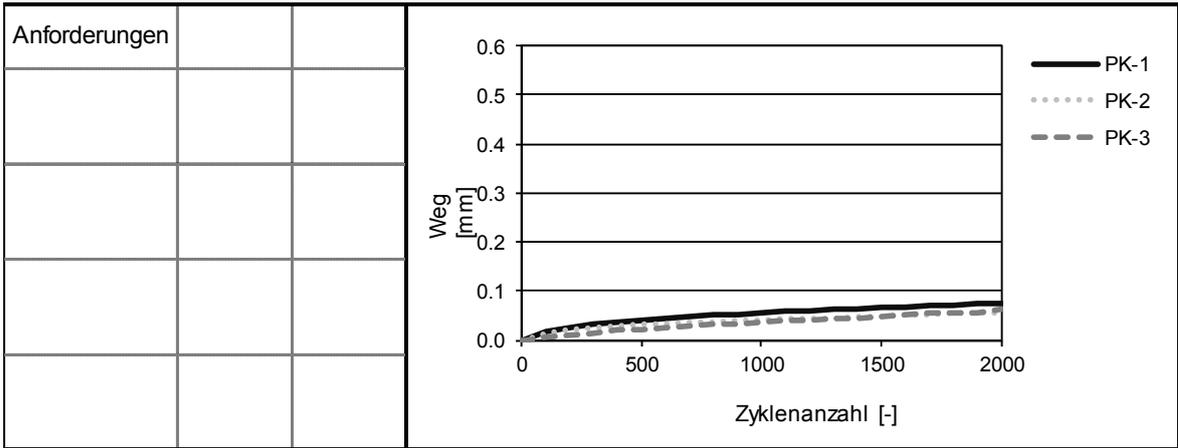
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung FLK 2
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PMMA
Lagerung L2

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG		
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart: Haversine</p> <p>Unterlast: 0.002 N/mm²; 1.5 sec</p> <p>Oberlast: 0.2 N/mm²; 0.2 sec</p> <p>Stempel: D = 100 mm</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten <input checked="" type="checkbox"/> X</p> <p>..... <input type="checkbox"/></p> <p>quadratisch: Länge = 100x100 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur: 30 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase: 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 06.11.2012</p>

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	82.4	82.8	81.7	82.3
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.076	0.056	0.062	0.065
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-005_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 6. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-007
Projekt 250295

Zugschwellversuch

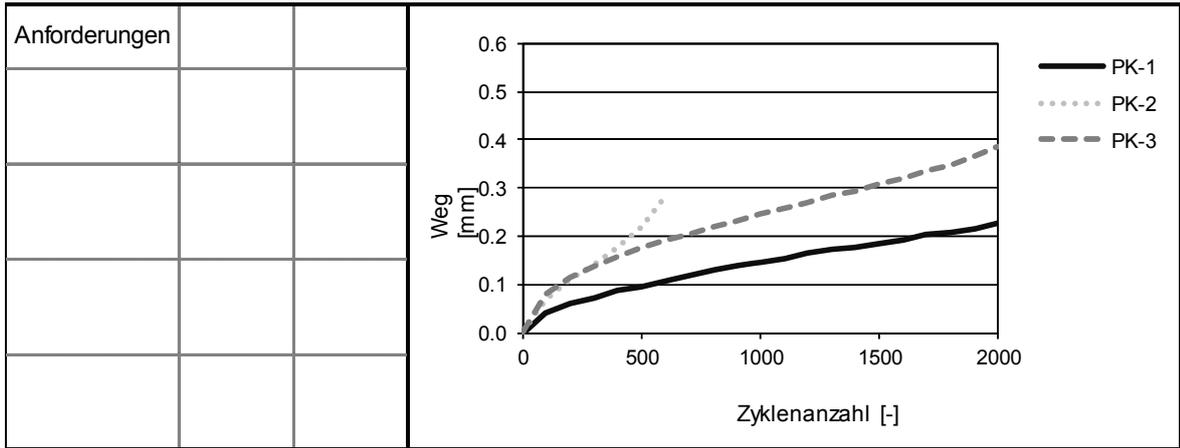
Herstellung 03.09.2012

Bezeichnung PBD 1
Haftkleber bituminös
Abdichtung PBD
Lagerung L2

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten X	Prüftemperatur : 30 °C	
Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec	.....	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec	quadratisch: Länge = 100x100 mm	Prüfdatum 20.11.2012	
Stempel : D = 100 mm			

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
PK-Höhe [mm]	82.9	83.9	82.6	83.1
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.227	0.283	0.384	0.298
Bruch bei Zyklen	-	600	-	600



M:\15_D-Projekt\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-007_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 20. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-008
Projekt 250295

Zugschwellversuch

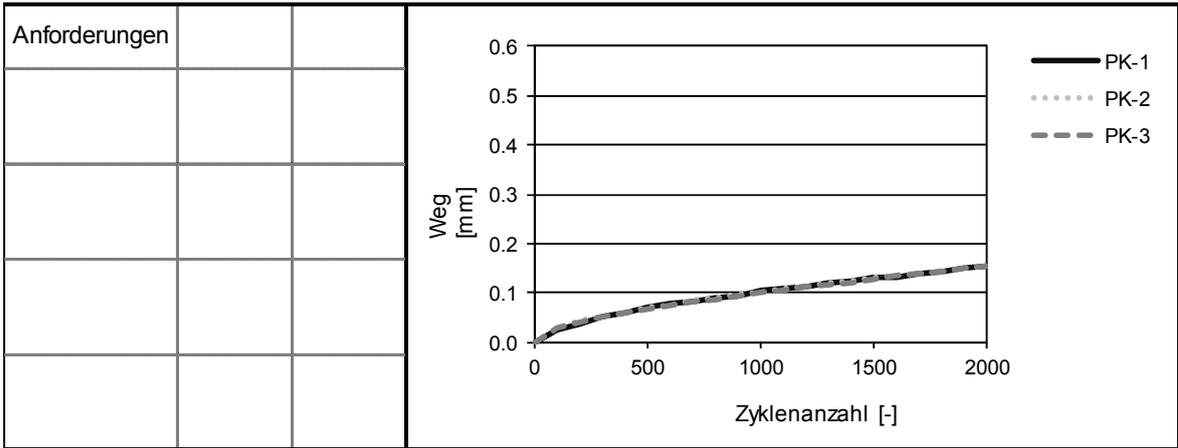
Herstellung 03.09.2012

Bezeichnung PBD 2
Haftkleber Epoxy
Abdichtung PBD
Lagerung L2

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG		
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart: Haversine</p> <p>Unterlast: 0.002 N/mm²; 1.5 sec</p> <p>Oberlast: 0.2 N/mm²; 0.2 sec</p> <p>Stempel: D = 100 mm</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten <input checked="" type="checkbox"/> X</p> <p>..... <input type="checkbox"/></p> <p>quadratisch: Länge = 100x100 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur: 30 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase: 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 20.11.2012</p>

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	81.6	81.8	81.7	81.7
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.155	0.155	0.153	0.154
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 16\12-04987-008_ZSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 21. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-009
Projekt 250295

Zugschwellversuch

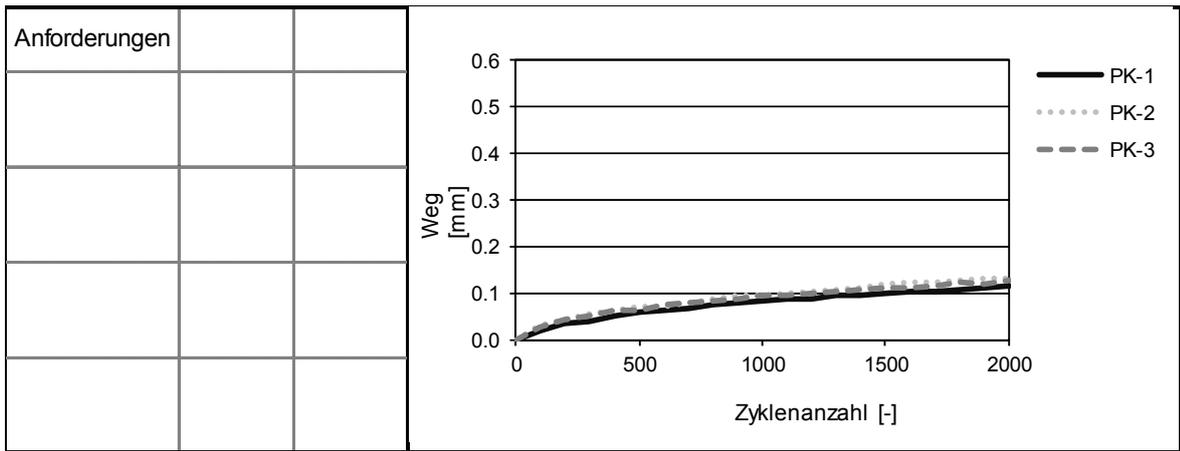
Herstellung 31.01.2013

Bezeichnung PBD 1
Haftkleber bituminös
Abdichtung PBD
Lagerung L1

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten X	Prüftemperatur : 30 °C	
Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec	.....	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec	quadratisch: Länge = 100x100 mm	Prüfdatum 13.03.2013	
Stempel : D = 100 mm			

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	80.0	80.6	80.3	80.3
Dehnung nach 2000 Zyklen	0.114	0.132	0.125	0.124
Bruch bei Zyklen	-			



M:\15_D-Projekt\F_250295FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 18\12-04987-009_ZVS.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 14. März 2013

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 13-03319-001
 Projekt 250295

Zugschwellversuch

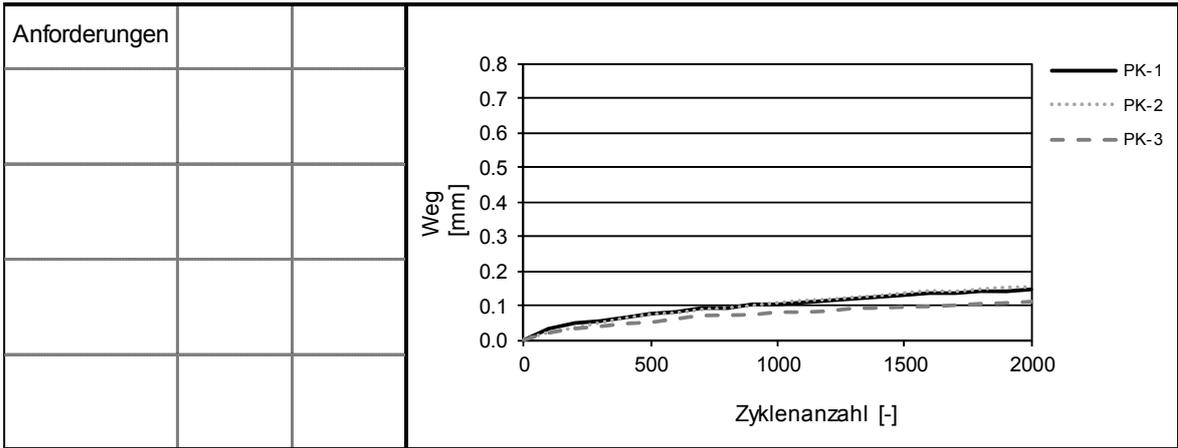
Herstellung -

Bezeichnung PBD2
Haftvermittler Epoxid
Abdichtung PBD
Lagerung L1
Bemerkung: Ziel: Vergleich PBD2_L1 AE/IMP

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.002 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.2 N/mm ² ; 0.2 sec Stempel : D = 100 mm	Prüfkörper aus Platte geschnitten X quadratisch: Länge = 100x100 mm	Temperatur Prüftemperatur : 30 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 23.07.2013

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Höhe [mm]	84.9	85.2	84.9	85.0
Dehnung nach 2000 Zyklen	0.147	0.153	0.111	0.137
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-



M:\5_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang ZVS\Laborauftrag 21\13-03319-001_ZVS.xlsx\Attest

Oberbuchsiten, den 25. Juli 2013 IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

I.4 Ergebnisse der Schub-Schwellversuche an den Aufbauten

IMP-Nummer 11-06006-001
 Projekt 250295

Schubschwellversuch

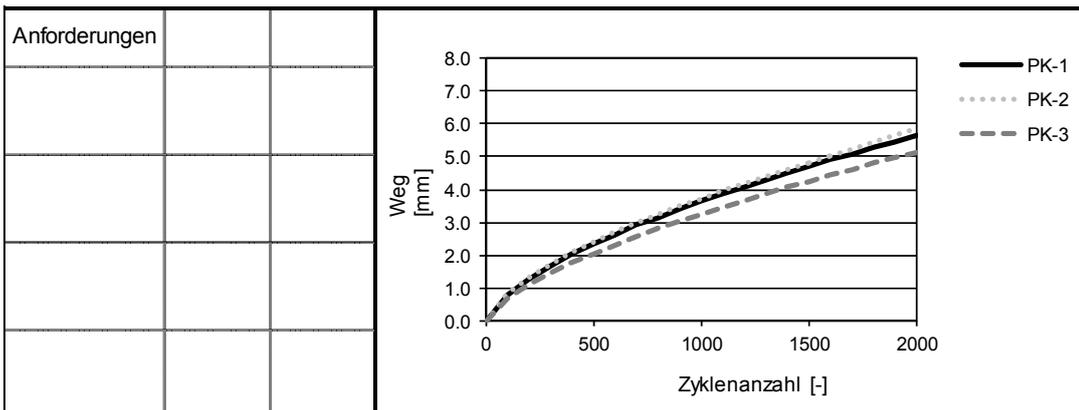
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung PBD 1
 Haftkleber bituminös
 Abdichtung PBD
 Lagerung L1

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG			
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec Druckfläche : 4070 mm ²	Prüfkörper aus Platte geschnitten		<input checked="" type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>
	rechteckig:	Länge = 220x110 mm	
	Temperatur Prüftemperatur : 23 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 19.11.2012		

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	81.5	82.0	81.5	81.7
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	5.630	5.837	5.141	5.536
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\11-06006-001_SSV.xl:

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / μm

Oberbuchsiten, den 16. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 11-06006-002
Projekt 250295

Schubschwellversuch

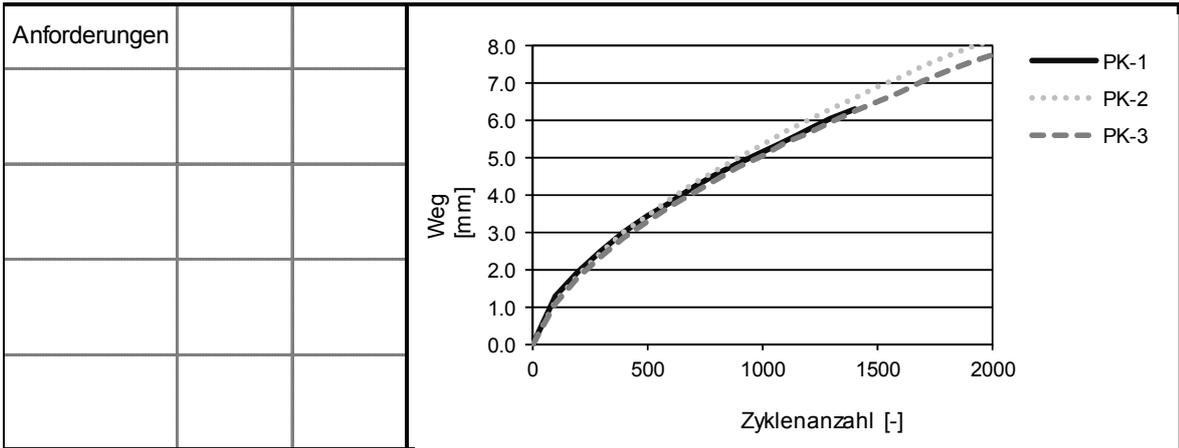
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung PBD 2
Haftkleber Epoxy
Abdichtung PBD
Lagerung L1

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Prüftemperatur : 23 °C	
Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec <input type="checkbox"/>	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec	rechteckig: Länge = 220x110 mm	Prüfdatum 16.11.2012	
Druckfläche : 4070 mm ²			

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	90.5	90.4	90.1	90.3
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	6.317	8.183	7.776	7.425
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\5_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\11-06006-002_SSV.xl

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 16. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-001
Projekt 250295

Schubschwellversuch

Herstellung 05.05.2010

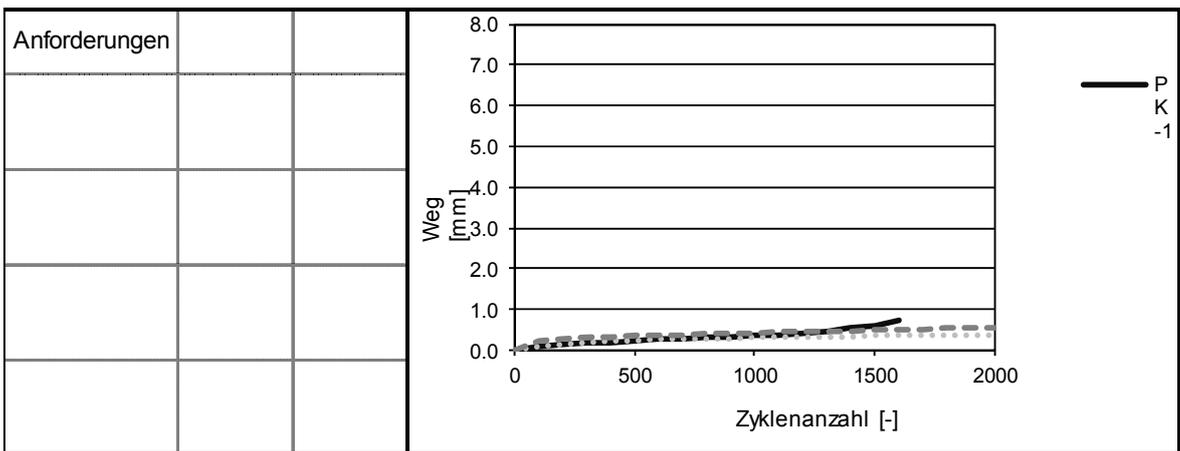
IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591

Bezeichnung FLK 1
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PU
Lagerung L1

4625 Oberbuchsiten

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG		
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart : Haversine</p> <p>Unterlast : 0.015 N/mm² ; 1.5 sec</p> <p>Oberlast : 0.15 N/mm² ; 0.2 sec</p> <p>Druckfläche : 4070 mm²</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten X</p> <p>..... </p> <p>rechteckig: Länge = 220x110 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur : 23 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 15.11.2012</p>

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Fk-Dicke [mm]	90.5	90.4	90.1	90.3
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.744	0.393	0.572	0.569
Bruch bei Zyklen	1600	-	-	1600
Wendepunkt	730	-	-	730



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP3_Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\12-04987-001_SSV.xl

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 15. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-002
Projekt 250295

Schubschwellversuch

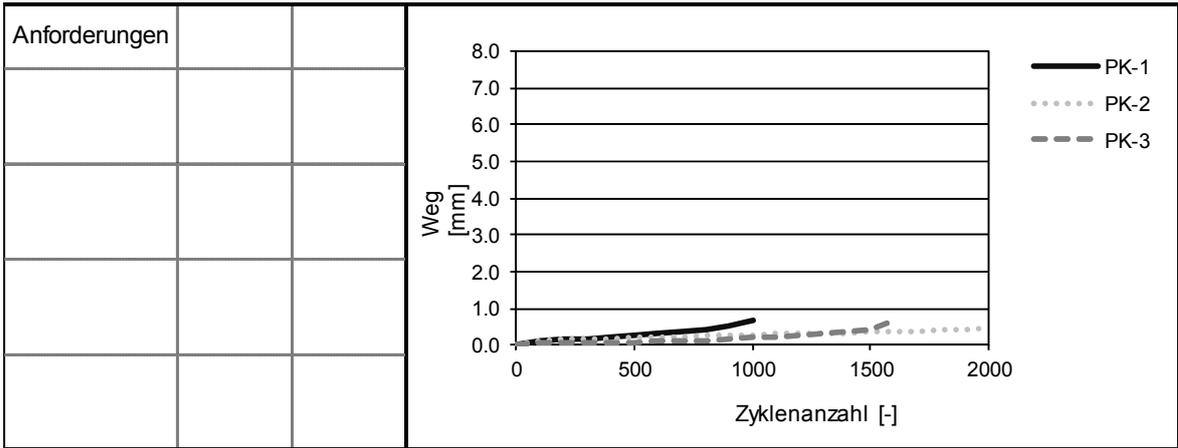
Herstellung 05.05.2010

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

Bezeichnung FLK 1
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PU
Lagerung L2

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart : Haversine</p> <p>Unterlast : 0.015 N/mm² ; 1.5 sec</p> <p>Oberlast : 0.15 N/mm² ; 0.2 sec</p> <p>Druckfläche : 4070 mm²</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten X</p> <p>..... </p> <p>rechteckig: Länge = 220x110 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur : 23 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 15.11.2012</p>

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	90.5	90.4	90.1	90.3
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.693	0.484	0.660	0.613
Bruch bei Zyklen	1000	-	1600	1300
Wendepunkt	355	985	530	623



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\12-04987-002_SSV.x

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 15. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-003
Projekt 250295

Schubschwellversuch

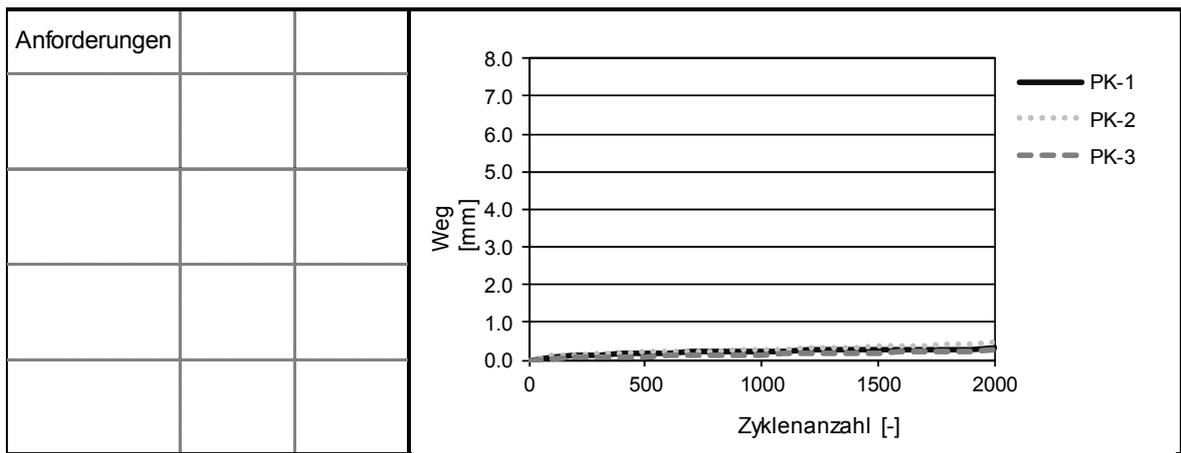
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung FLK 1
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PU
Lagerung L3

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec Druckfläche : 4070 mm ²	Prüfkörper aus Platte geschnitten X rechteckig: Länge = 220x110 mm	Temperatur Prüftemperatur : 23 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 09.11.2012

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
PK-Dicke [mm]	90.5	90.4	90.1	90.3
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.304	0.460	0.259	0.341
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	945	1010	978



M:\15_D-Projekt\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104[12-04987-003_SSV.x

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 9. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-004
Projekt 250295

Schubschwellversuch

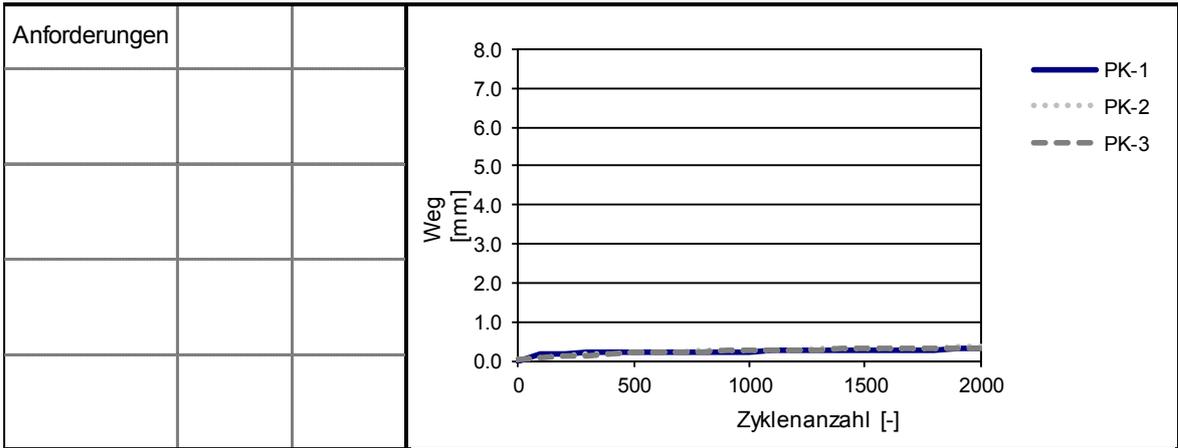
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung FLK 2
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PMMA
Lagerung L1

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart : Haversine</p> <p>Unterlast : 0.015 N/mm² ; 1.5 sec</p> <p>Oberlast : 0.15 N/mm² ; 0.2 sec</p> <p>Druckfläche : 4070 mm²</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten X</p> <p>..... </p> <p>rechteckig: Länge = 220x110 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur : 23 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 15.11.2012</p>	

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	90.2	89.8	90.5	90.2
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.291	0.346	0.324	0.320
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 1041\12-04987-004_SSV.x

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 15. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-005
Projekt 250295

Schubschwellversuch

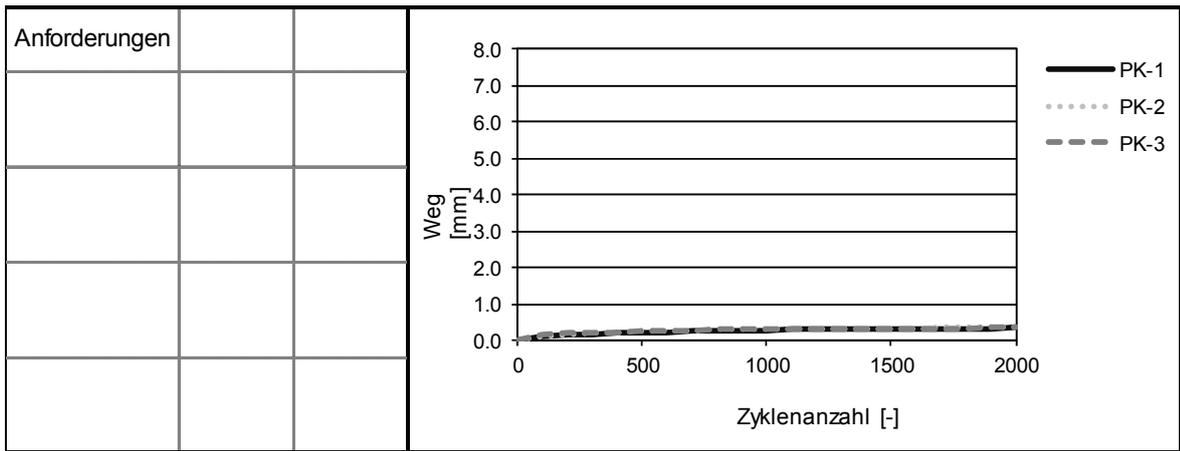
Herstellung 05.05.2010

Bezeichnung FLK 2
Haftkleber Epoxid
Abdichtung PMMA
Lagerung L2

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec Druckfläche : 4070 mm ²	Prüfkörper aus Platte geschnitten X rechteckig: Länge = 220x110 mm	Temperatur Prüftemperatur : 23 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 16.11.2012

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	90.2	89.8	90.5	90.2
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	0.349	0.347	0.345	0.347
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekt\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\12-04987-005_SSV.xl

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 16. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-007
Projekt 250295

Schubschwellversuch

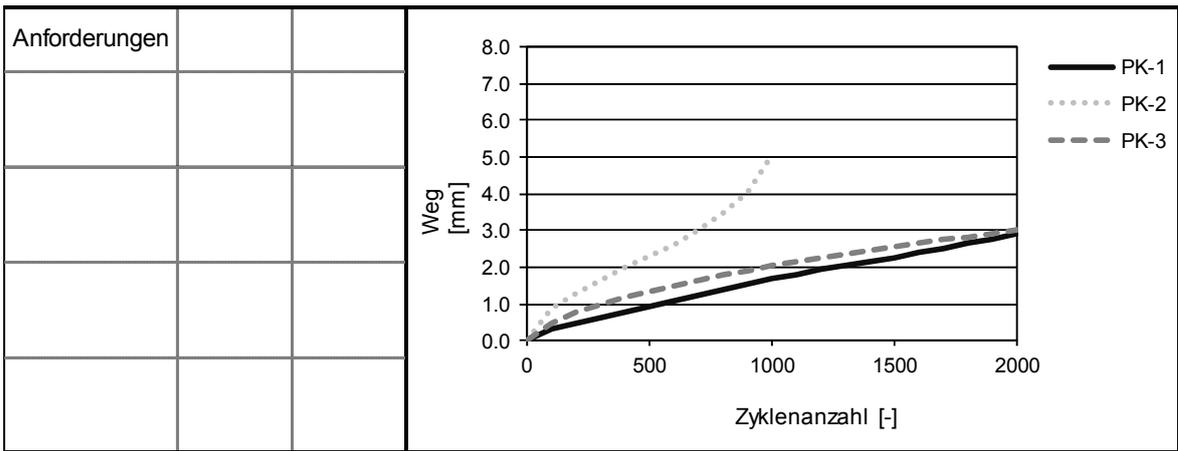
Herstellung 03.09.2012

Bezeichnung PBD 1
Haftkleber bituminös
Abdichtung PBD
Lagerung L2

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G		
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec Druckfläche : 4070 mm ²	Prüfkörper aus Platte geschnitten X rechteckig: Länge = 220x110 mm	Temperatur Prüftemperatur : 23 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 19.11.2012

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	87.0	86.8	87.0	86.9
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	2.883	5.040	3.004	3.642
Bruch bei Zyklen	-	1000	-	1000
Wendepunkt	-	465	-	465



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\12-04987-007_SSV.xl

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 20. November 2012

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-008
Projekt 250295

Schubschwellversuch

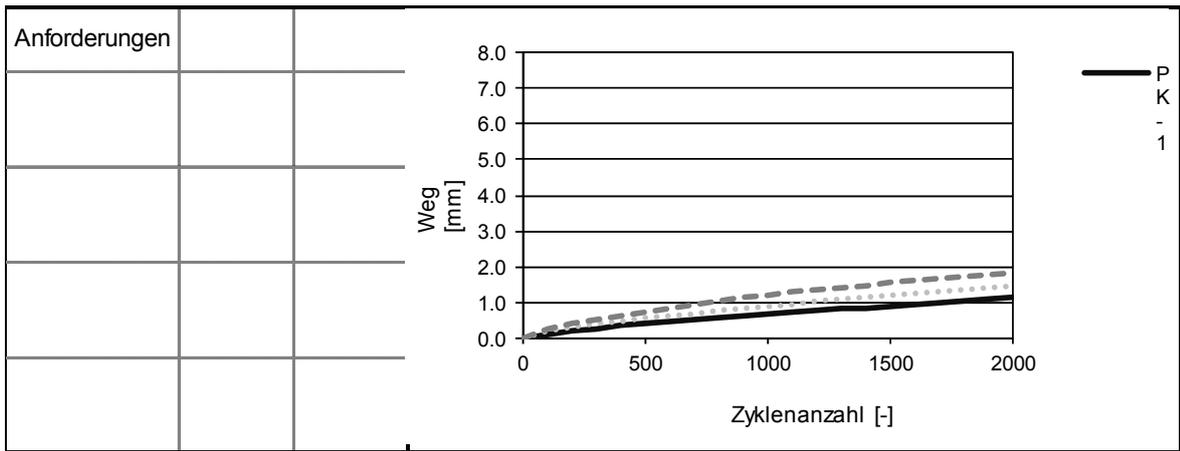
Herstellung 03.09.2012

Bezeichnung PBD 2
Haftkleber Epoxy
Abdichtung PBD
Lagerung L2

IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsiten

V E R S U C H S D U R C H F Ü H R U N G			
Belastung	Prüfkörper	Temperatur	
Belastungsart : Haversine	aus Platte geschnitten X	Prüftemperatur : 23 °C	
Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec	.....	Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.	
Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec	rechteckig: Länge = 220x110 mm	Prüfdatum 19.11.2012	
Druckfläche : 4070 mm ²			

P R Ü F E R G E B N I S S E				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
PK-Dicke [mm]	85.0	85.3	83.0	84.4
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	1.161	1.464	1.841	1.489
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekt\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 104\12-04987-008_SSV.x

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 19. November 2012

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 12-04987-009
Projekt 250295

Schubschwellversuch

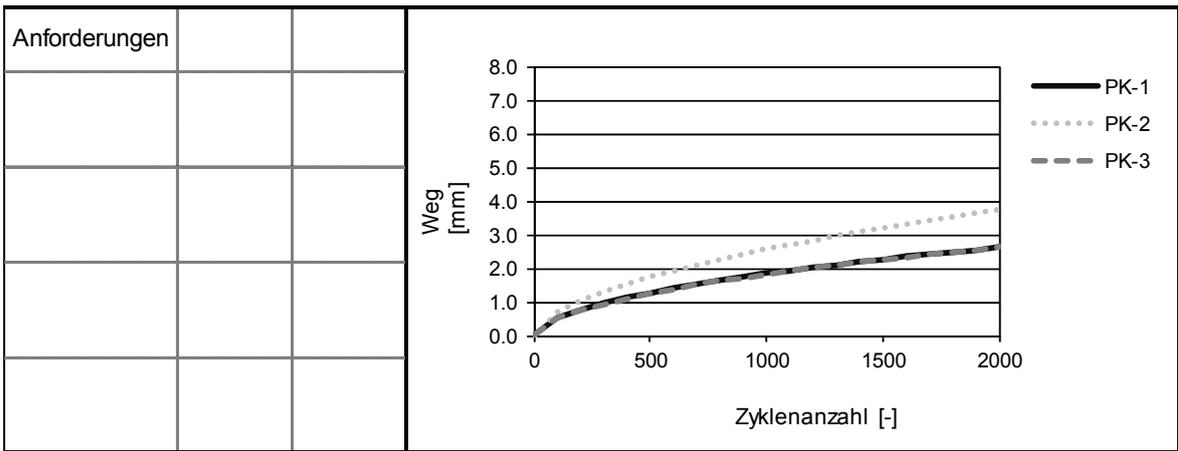
Herstellung 31.01.2013

Bezeichnung PBD 1
Haftkleber bituminös
Abdichtung PBD
Lagerung L1

IMP Baustest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591
 4625 Oberbuchsitzen

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG		
<p>Belastung</p> <p>Belastungsart : Haversine</p> <p>Unterlast : 0.015 N/mm² ; 1.5 sec</p> <p>Oberlast : 0.15 N/mm² ; 0.2 sec</p> <p>Druckfläche : 4070 mm²</p>	<p>Prüfkörper</p> <p>aus Platte geschnitten <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>..... <input type="checkbox"/></p> <p>rechteckig: Länge = 220x110 mm</p>	<p>Temperatur</p> <p>Prüftemperatur : 23 °C</p> <p>Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std.</p> <hr/> <p>Prüfdatum 06.03.2013</p>

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer	PK-1	PK-2	PK-3	Mittelwert
Pk-Dicke [mm]	87.0	86.8	87.0	86.9
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	2.615	3.742	2.616	2.991
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekte\F_250295 FP Brücken EP 3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 105[12-04987-009_SSV.xl

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsitzen, den 15. März 2013

IMP Baustest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

IMP-Nummer 13-03319-001
Projekt 250295

Schubschwellversuch

Herstellung 08.07.2013

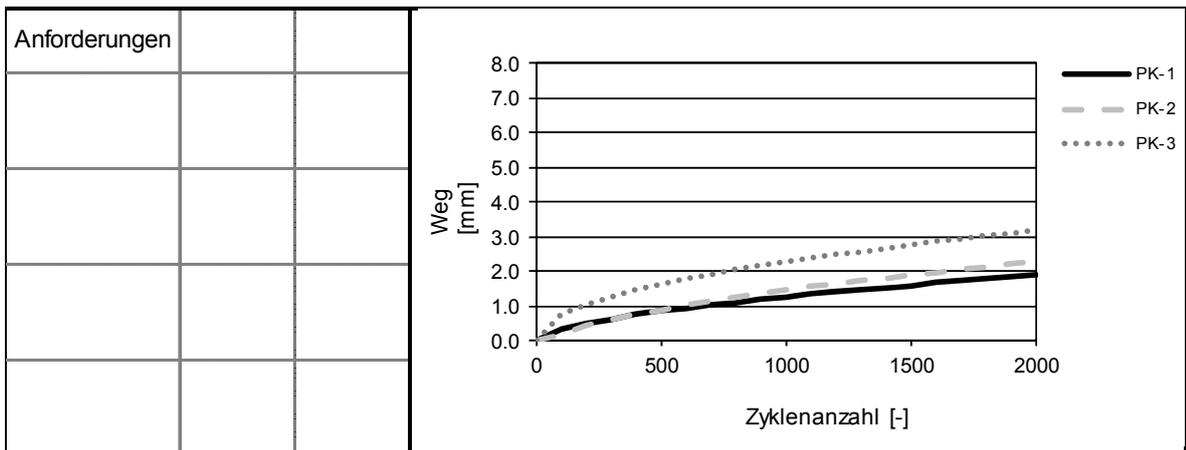
IMP Bautest AG
 Institut für Materialprüfung
 Hauptstrasse 591

Bezeichnung PBD 2
Haftkleber Epoxy
Abdichtung PBD
Lagerung L1

4625 Oberbuchsiten

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG			
Belastung Belastungsart : Haversine Unterlast : 0.015 N/mm ² ; 1.5 sec Oberlast : 0.15 N/mm ² ; 0.2 sec Druckfläche : 4070 mm ²	Prüfkörper aus Platte geschnitten X rechteckig: Länge = 220x110 mm	Temperatur Prüftemperatur : 23 °C Dauer der Vorwärmphase : 2.5 Std. Prüfdatum 29.07.2013	

PRÜFERGEBNISSE				
Prüfkörper-Nummer Pk-Dicke [mm]	PK-4 87.0	PK-2 87.0	PK-3 87.0	Mittelwert 87.0
Dehnung nach 2000 Zyklen (oder Bruch)	1.891	2.277	3.192	2.454
Bruch bei Zyklen	-	-	-	-
Wendepunkt	-	-	-	-



M:\15_D-Projekt\F_250295 FP Brücken EP3, Verbund\1_Berichte_Atteste_Auswertung\Anhang SSV\Laborauftrag 106\13-03319-001_SSV.xls

relative Messunsicherheit der Prüfmaschine ± 0.15 % / µm

Oberbuchsiten, den 29. Juli 2013

IMP Bautest AG

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die untersuchte Probe.

Glossar

Begriff	Bedeutung
AC	Asphalt Concrete
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
BK	Bohrkern
EP-Grundierung	Epoxidharz-Grundierung
FLK	Flüssigkunststoff
FLK PMMA	Polymethylmethacrylat-Abdichtung
FLK PU	Polyurethan-Flüssigkunststoff
MA	Mastix Asphalt (Gussasphalt)
PBD-APP	Ataktische Polypropylen-Abdichtungsbahn
PBD-SBS	Polymerbitumen-Dichtungsbahn
PBD-SBS	Elastomer-Bitumen-Dichtungsbahn
PU	Polyurethan (=Kunstharz)
PK	Prüfkörper
SN	Schweizer Norm
TBT	Torque Bond Test

Literaturverzeichnis

[1]	Gubler R.; 2007, Forschungspaket Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Decken auf Betonbrücken - Initialprojekt
[2]	SN 640 450, 2005, Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken
[3]	SN EN 1766; Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken -. Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen
[4]	DIN EN 12390; Prüfung von Festbeton
[5]	Angst Ch., 2006, Die Beurteilung des Verformungswiderstandes bituminöser Schichten mittels Druckschwell-Versuch; Strasse&Verkehr Nr 10
[6]	Angst Ch., 2012, Triaxial cyclic compression test – suitable test parameters meaningfull results, 5 th Eurasphalt % Eurobitume COngress
[7]	Angst Ch., 2008, dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt, Forschungsauftrag VSS 2000/433
[8]	EN 13653; 2004, Abdichtungsbahnen – Abdichtungssysteme auf Beton für Brücken und andere Verkehrsflächen – Bestimmung der Schubfestigkeit
[9]	prEN 12697-48, 2013, Asphalt- Prüfverfahren für Heissasphalt – Teil 48: Schichtenverbund
[10]	SIA 281/2, 2011, Polymerbitumen-Dichtungsbahnen - Schälzugprüfungen
[11]	SIA 281/3, 2011, Polymerbitumen-Dichtungsbahnen - Haftzugprüfungen
[12]	Angst Ch., 2014, Forschungspaket Brückenabdichtungen; EP4, Zerstörungsfreie Prüfungen, Beurteilung von Verbund und Oberflächen, VSS 2006/514, in Arbeit
[13]	SN EN 206-1, 2000, Beton-Teil 1 : Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität

Projektabschluss

Formular 3 ARAMIS SBT als PDF (Das Formular einscannen, dann das PDF öffnen und dann mit dem Schnappschuss-Werkzeug (Fotoapparat) die Seiten markieren und dann hier einfügen).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 09.04.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2006/513

Projekttitel: Brückenforschung, EP3 Langzeitverhalten des Verbundes

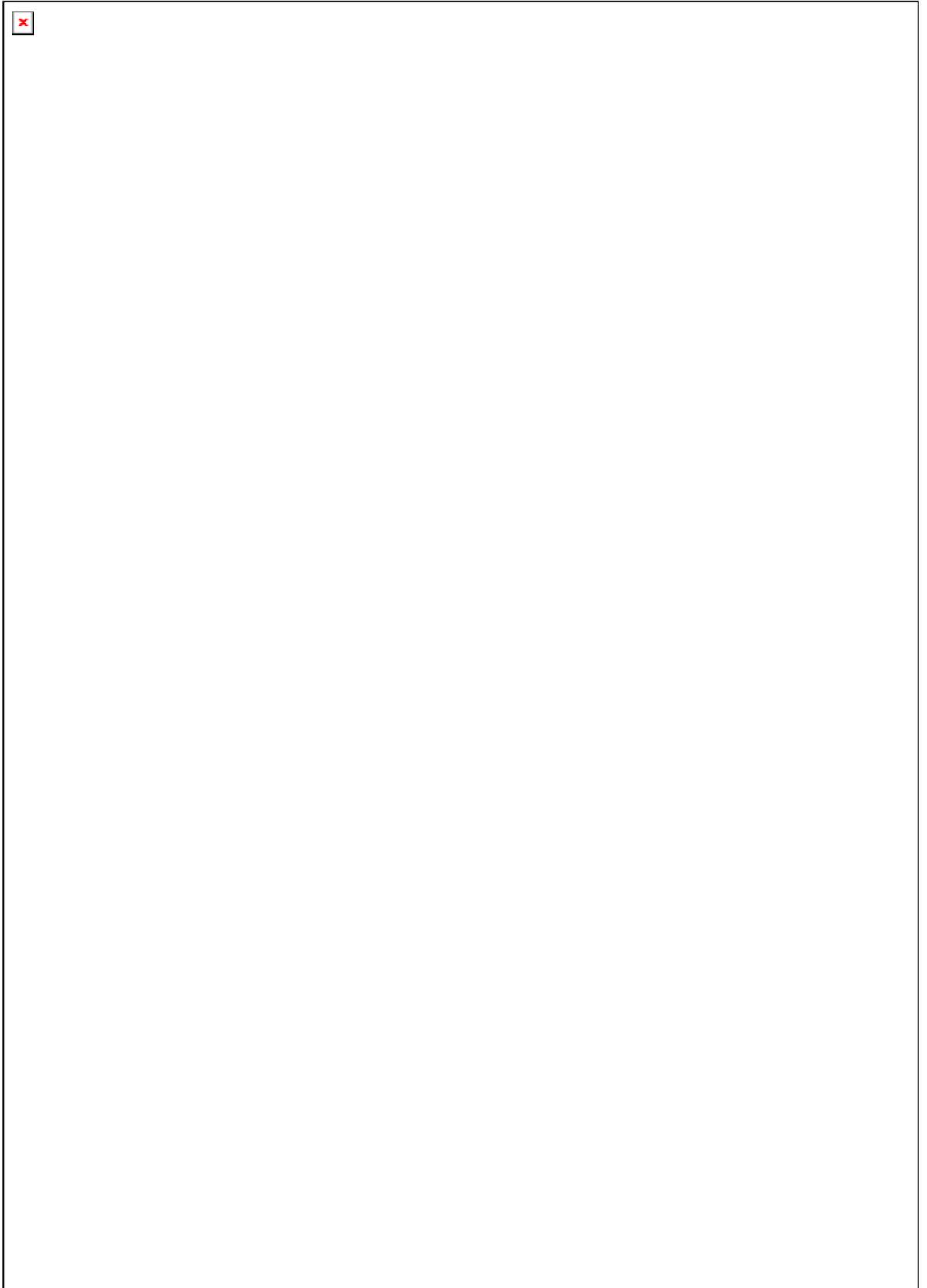
Enddatum: 09.04.2014

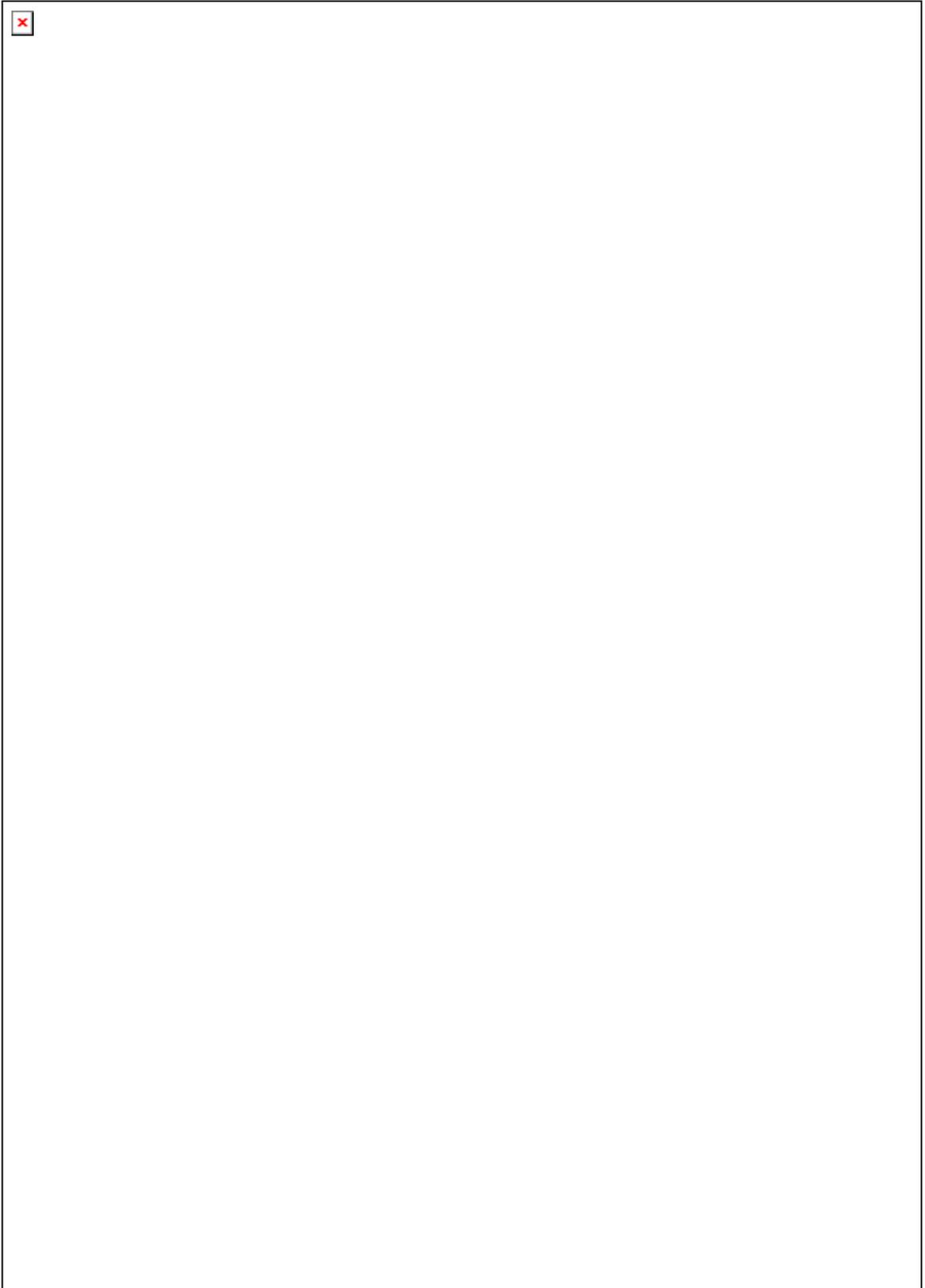
Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Aus den durchgeführten Methodenentwicklungen, Untersuchungen mehrerer unterschiedlich konditionierter Abdichtungsoberflächen vor dem Einbau der Schutzschicht sowie aus den Untersuchungen einiger in der Praxis eingebauter Abdichtungssysteme lassen sich die untenstehenden Folgerungen ziehen:

- Aus den evaluierten dynamischen Prüfmethode zur Beurteilung des Schichtenverbundes von Abdichtungssystemen hat sich ein definierter Schub-Schwellversuch als sehr geeignet erwiesen, um die Systemtauglichkeit von Brücken-Abdichtungssysteme zu bewerten.
- Die Prüfung dynamischer Zugschwellversuch eignet sich für die Prüfung von Brücken-Abdichtungssystemen nicht. Die Wiederholbarkeit liegt bei 64 %, was für die Praxis nicht akzeptabel ist.
- Abklärungen zu dynamischen Prüfungen zur Beurteilung des Schichtenverbundes in situ zeigten auf, dass derartige Versuche nur mit einem grossen Eingriff in die Abdichtung realisierbar sind. Da bei Brücken-Abdichtungssystemen jeder Flick eine Schwachstelle bedeutet, werden derartige Prüfverfahren für Routine-Untersuchungen als nicht sinnvoll betrachtet.
- Unterschiedliche Konditionierungen der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht scheinen den Schichtverbund nicht zu beeinflussen.
- Der Einfluss des Betonuntergrundes auf die Dauerhaftigkeit des Schichtenverbundes konnte nachgewiesen werden:
 - Ein hoher Luftporengehalt des Betonuntergrundes schwächt den Schichtenverbund
 - Die Bearbeitung der Betonoberfläche hat einen grossen Einfluss auf die Schichtenhaftung.
- Ein Ziel des Projektes war es auch, einen ersten Vorschlag für mögliche Anforderungen zu formulieren. Das Erreichen von 2000 Belastungszyklen ohne Eintreten eines frühzeitigen Bruches wird als grobe Bewertungshilfe vorgeschlagen. Verfeinerte Kriterien müssten durch systematische Untersuchungen verschiedener Aufbauten ermittelt werden.





Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

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

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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und 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
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

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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganmlinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: 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 Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	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

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

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