

Forschungsprojekt Brückenabdichtung – Fokus Gesamtaufbau

Dr. Christian Angst, dipl. Ing ETH; IMP Bautest AG, Oberbuchsitzen, Schweiz

1 Einleitung

Als Abdichtung werden auf Brücken häufig relativ weiche, bituminöse Schichten eingebaut und mit standfesten Asphalt-Schichten überbaut. Da auf Brücken der Verkehr stark kanalisiert wird und sich wegen der klimatischen Exposition (starke Kälte-Hitze Schwankungen) besonders extreme Belastungen ergeben, sind bituminöse Schichten auf Brücken vermehrt dem Risiko der Spurrinnenbildung ausgesetzt. Durch das Versagen der Asphaltsschichten entstehen jedoch weitere Risiken, wie Rissbildung und/oder Schichtenverbundprobleme.

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.

Im Folgenden werden die Ergebnisse zweier Forschungsprojekte [1, 2] vorgestellt, welche im Rahmen eines grossangelegten Forschungspakets [3], bestehend aus insgesamt 6 Einzelprojekten durchgeführt wurden. In diesen zwei Arbeiten ging es einerseits darum die Standfestigkeit verschiedener Abdichtungs- und Belagsaufbauten zu untersuchen und andererseits ein Laborverfahren zu entwickeln, mit welchem die Eignung eines Aufbaus bezüglich des Langzeitverhaltens des Verbundes bewertet werden kann.

2 Verformungswiderstand des Gesamtaufbaus

2.1 Untersuchungsprogramm

2.1.1 Abdichtungs- und Belagsaufbauten

Es wurden insgesamt 8 Probekörper mit verschiedenen Standardaufbauten (Systemen) auf Betonplatten 1600 x 2600 mm gemäss der geltenden Schweizer Norm für Brückenabdichtungen [4] hergestellt. In der Tabelle 1 wird eine Übersicht über die gewählten Systeme gegeben. Bei der Deckschicht der Platten 3 und 8 wurde ein Mischgut Typ „MR“ (Macro Rugueux) eingebaut; dabei handelt es sich um ein relativ offenes Asphaltbeton-Mischgut. Alle Asphaltsschichten wurden mit einem polymermodifizierten Bindemittel aufbereitet. Aufgrund der verwendeten Baustoffe und der Zusammensetzung des Mischgutes entspricht es dem „Mischgutttyp S“ (geeignet für schwere Verkehrsbeanspruchung) gemäss Schweizer Norm SN 640 430 [5].

System Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Deckschicht	MA 11	MA 11	MR 8	MA 11	MA 11	MA 11	MA 8	MR 8
Binderschicht			MA 11	MA 11			MA 16	MA 11
Schutzschicht	MA 16	MA 16	MA 16	MA 16	MA 16	MA 16		
Abdichtung	PBD APP	PBD SBS	PBD SBS	PBD SBS	FLK PU	FLK PMMA	MA 8	MA 8

Tabelle 1: Übersicht über die gewählten Systeme (Standard-Aufbauten gem. Schweizer Norm)

2.1.2 Prüfprogramm

Prüfung	Plattenummer							
	1	2	3	4	5	6	7	8
MMLS3	x	x			x	x		
Stempeleindringtiefe	x	x			x	x		
Schichtenverbund	x	x	x	x	x	x	x	x
Druckschwellversuch	x	x	x	x	x	x	x	x

Tabelle 2: Prüfprogramm für die verschiedenen Aufbauten

Der mobile Verkehrssimulator MMLS3 (Model Mobil Load Simulator) ist ein Gerät zur beschleunigten Untersuchung des Verhaltens von Straßenbelägen [6]. Die dynamische Stempeleindringtiefe wurde gemäss [7] durchgeführt, der dynamische Druckschwellversuch gemäss [8] und die Bestimmung des Schichtenverbundes gemäss [9].

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Verkehrssimulator

		System 1	System 2	System 5	System 6
Aufbau	Deckschicht	MA11	MA11	MA11	MA11
	Schutzschicht	MA16	MA16	MA16	MA16
	Abdichtung	APP	SBS	PU	PMMA
Gesamtverformung nach 500'000 Zyklen [mm]		15.9	13.7 (Profil 1) >20 (Profil 2)	14.6	10.9

Tabelle 3: Gesamtverformung im MMLS nach 500 000 Belastungszyklen in Abhängigkeit von der Abdichtung

Die Gesamtverformung wurde als Mittelwert zweier Profile bestimmt; beim System 2 lagen die Einzelwerte sehr weit auseinander.

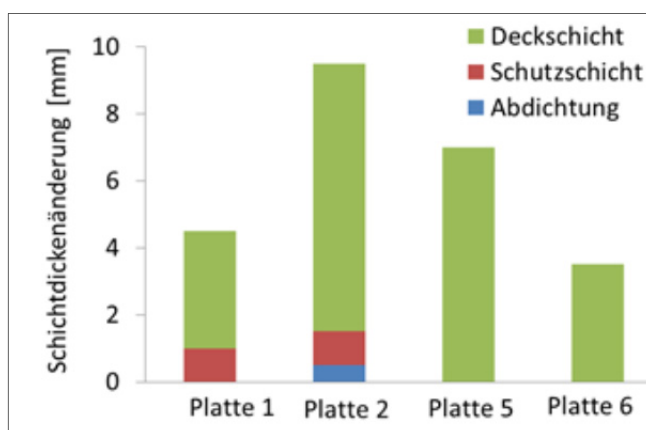


Abbildung 1: Verformungen in der MMLS-Prüfung; Anteile der einzelnen Schichten an der Gesamtverformung

Die Ergebnisse führen zu folgenden Feststellungen:

- Die Art der Prüfung (MMLS) beansprucht die Deckschicht infolge der Lastverteilung mehr als die unteren Schichten
- Es liegen Variationen der Gussasphalteigenschaften in der Deckschicht vor
- Bituminöse Abdichtungen (Platten 1 und 2) fördern eine Verformung der Schutzschicht
- Harte Abdichtungen (FKL in den Platten 5 und 6) setzen tendenziell das Risiko der Verformung herab.

2.2.2 Dynamischer Stempelleindringversuch

Die Ergebnisse des dynamischen Stempelleindringversuches bestätigen die mittels MMLS festgestellten Folgerungen. Dies ist nicht verwunderlich, da bei der dynamischen Eindringtiefe die Beanspruchung ähnlich ist; die Fläche der Belastung ist geringer als die Aufstandsfläche, was einerseits zu einer Lastverteilung nach unten führt, andererseits zu einer triaxialen Einspannung.

2.2.3 Einaxialer Druckschwellversuch

Während bei den ersten beiden Prüfmethoden (Verkehrslastsimulator MMLS3 und dynamischer Stempelleindringversuch) eine seitliche Abstützung des Aufbaus vorliegt, es sich also um eine triaxiale Belastungen handelt, ist dies beim einaxialen Druckschwellversuch nicht der Fall. Beim einaxialen Druckschwellversuch sind Belastungs- und Aufstandsfläche gleich gross, sodass keine Lastverteilung nach unten erfolgen kann. Dadurch werden die unteren Schichten stärker beansprucht. Aus diesem Grund sind bei dieser Prüfung auch Verformungen der unteren Schichten festgestellt worden (Siehe Abbildung 2). Im Hinblick auf die Beurteilung eines mehrschichtigen Gesamtsystems stellt sich die Frage, ob es oportun ist, alle Schichten gleichartig zu beanspruchen, wie dies im einaxialen Druckschwellversuch der Fall ist.

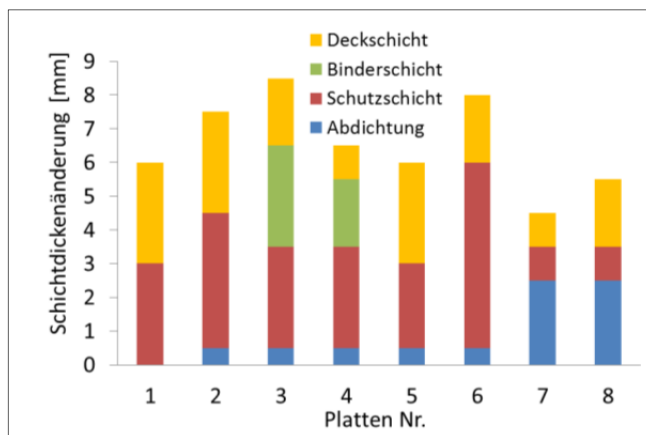


Abbildung 2: Verformungen im einaxialen Druckschwellversuch; Anteile der einzelnen Schichten an der Gesamtverformung

3 Langzeitverhalten des Schubverbundes

Die Beurteilung des Langzeitverhaltens wurde in diesem Projekt auf das Verhalten gegenüber mechanischer Wechselbeanspruchungen eingeschränkt. Wechselnde klimatische Beanspruchungen wie beispielsweise Temperaturzyklen wurden nicht untersucht.

3.1 Wahl der Prüfmethode

Die Wahl der zu untersuchenden Prüfmethode wurde unter folgenden Aspekten getroffen:

Die Beanspruchungsart soll der kritischen Beanspruchung in der Praxis möglichst nahe kommen. Aus diesem Grunde wurden dynamische Zugversuche wie auch dynamische Schubversuche festgelegt. Dabei wird von einer Unterlast ausgehend, eine entsprechende Oberlast angesteuert. Das Verhältnis von Unter- zu Oberlast wurde mit 1:10 festgelegt.

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; diese Anzahl wurde mit 2'000 Zyklen festgelegt.

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

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen fiel die Wahl auf einen definierten Schub-Schwellversuch, da dessen Wiederholpräzision mit 16 % deutlich tiefer lag als beim Zug-Schwellversuch (66 %).

3.2 Prüfprogramm

Es wurden in einem ersten Schritt verschiedene System-Aufbauten mit unterschiedlicher Lagerung (Konditionierung) der Abdichtung vor dem Einbau der Schutzschicht untersucht (siehe Tabelle 4).

Bez.	Grundierung	Abdichtung	Schutzschicht	Lagerung vor Einbau Schutzschicht
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

Tabelle 4: Untersuchte Systeme; die Lagerung vor dem Einbau der Schutzschicht wurde analog zu einer anderen Forschungsarbeit gewählt:
L1: optimale trockene Bedingungen / L2: Regen am Vortag / L3 feucht, neblig



Abbildung 3: Herstellung von Platten 400 x 400 mm mit den verschiedenen Systemen

In einem zweiten Schritt wurde der Einfluss der Beton-Eigenschaften auf den Schubverbund untersucht.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Einfluss der Konditionierung der Abdichtung

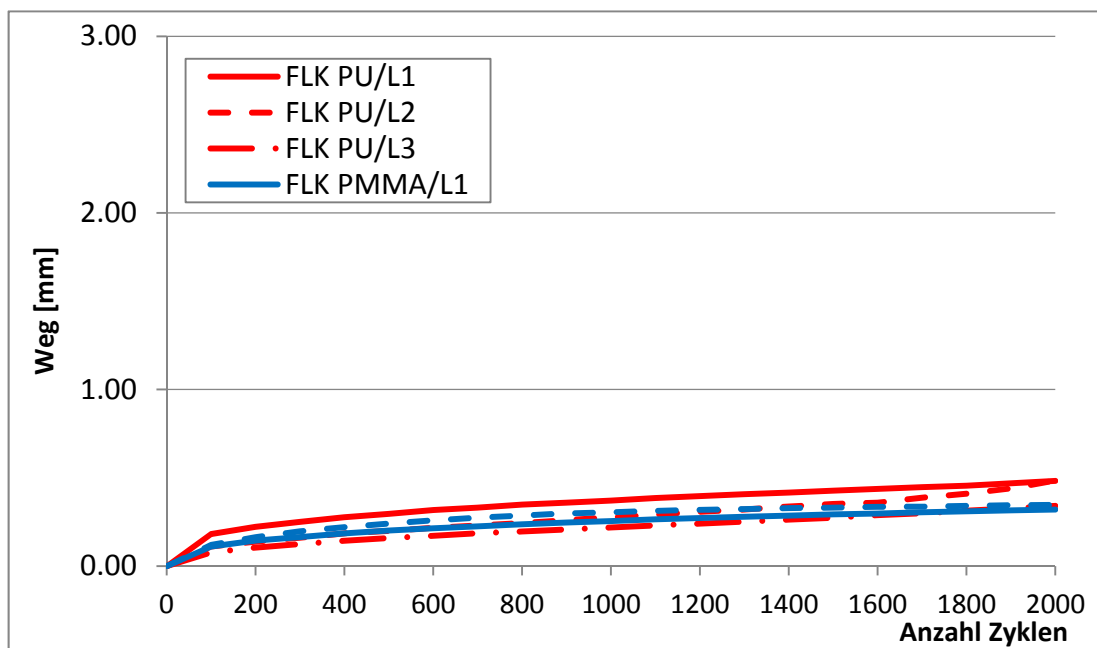


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Schubschwellversuche an unterschiedlichen FLK-Abdichtungen mit jeweils unterschiedlichen Lagerungen; Prüftemperatur 23°C

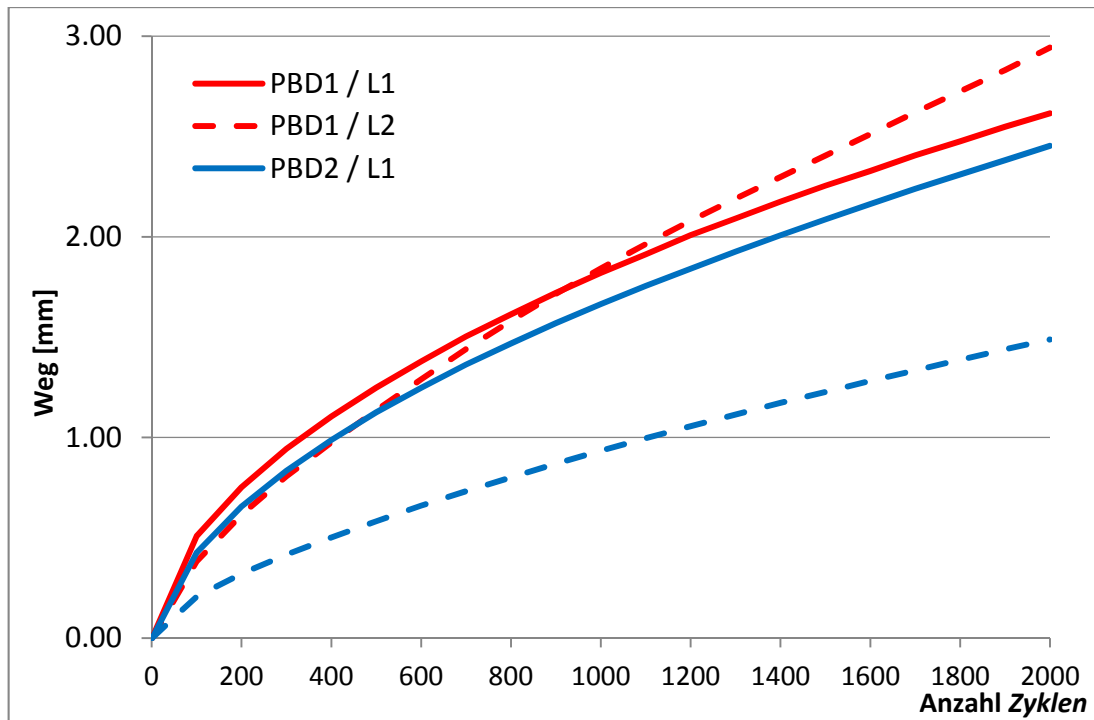


Abbildung 5: Grafische Darstellung der Schubschwellversuche an unterschiedlichen PBD-Abdichtungen mit jeweils unterschiedlichen Lagerungen; Prüftemperatur 23°C

Der Vergleich der Ergebnisse der Schub-Schwellversuche an Aufbauten mit PBD-Abdichtungen und FLK-Abdichtungen zeigt sehr deutlich, dass bei den PBD-Abdichtungen grössere Deformationen auftreten.

Beim dynamischen Schubschwell-Versuch konnte kein systematischer, statistisch relevanter Einfluss der klimatischen Bedingungen vor dem Einbau der Schutzschicht festgestellt werden. Es entsteht der Eindruck, dass die Witterungsbedingungen vor dem Einbau dieser Schichten den Schichtenverbund nicht wesentlich beeinflussen. Basis dieser Beurteilung bilden allerdings genau kontrolliert hergestellte Aufbauten. Diese Untersuchungen schliessen somit eine Kombination mit Einbaufehlern und ungünstigem Wetters nicht aus. Da im Allgemeinen die Trennschicht zwischen Beton und Abdichtung die Schwachstelle im Verbund darstellt, betrifft das vor allem den Einbau der Abdichtung.

3.3.2 Einfluss der Betonunterlage

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 PBD, bei welcher die Grundierung variiert wurde (bituminös / auf Epoxibasis).

Es konnte ein deutlicher Einfluss des Luftporengehaltes auf den Schichtenverbund festgestellt werden. Bei grösserem Gehalt an Luftporen wurden grössere Deformationen unter einer dynamischen Schub-Beanspruchung gemessen.

Die Bearbeitung der Betonoberfläche hat einen grossen Einfluss auf die Schichthaftung: die mittlere Deformation dreier Versuchsfelder unter dynamischer Schub-Beanspruchung liegt bei der Flügelmaschine um 45 % tiefer als beim Vibrobalken.

4 Fazit

Die mechanischen Prüfungen zur Untersuchung einzelner Schichten, sowie die darauf basierenden Kriterien und Anforderungen taugen nur bedingt zur Beurteilung eines mehrschichtigen Gesamtsystems. Erfahrungen weisen darauf hin, dass insbesondere bei Kombination standfester Asphalt-Schichten auf stark elastischer oder viskoplastischer Schichten das Prüfen einzelner Schichten nicht ausreicht, um das Verhalten des Gesamtaufbaus abschätzen zu können. Es besteht daher dringender Handlungsbedarf, Prüfmethode zu definieren, mit deren Hilfe die Überprüfung der Standfestigkeit des Gesamtaufbaus möglich wird. Die durchgeführte Forschungsarbeit liefert wertvolle Hinweise bezüglich der Festlegung einer geeigneten Prüfmethode.

Zur Prüfung des Langzeitverhaltens des Schubverbundes wurde ein dynamischer Schub-Schwellversuch evaluiert und definiert.

Erste Ergebnisse aus einer beschränkten Anwendung dieses Versuches sind:

- Es konnten grosse Unterschiede in der Schub-Verformung der Abdichtung gemessen werden.
- Der Einfluss der Betonqualität (Oberflächentextur / Feuchtigkeitsgehalt) konnte nachgewiesen werden

5 Literatur

- [1] Raab, Ch., Partl, M. „Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP1 – Standfester Gesamtaufbau, Prüfung und Bewertung“, VSS 2006/511 (2014)
- [2] Angst, Ch. , „Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP3 - Langzeitverhalten des Verbundes“, VSS 5006/513 (2015)
- [3] Gubler, R. , „Forschungspaket Brückenabdichtungen: Synthesebericht“, VSS 2006/510
- [4] SN 640 450 „Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten, Systemaufbauten, Anforderungen und Anforderungen“
- [5] SN 640 430 „Walzasphalt; Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten“
- [6] Hugo, F, Epps, A.: “Significant Findings From Accelerated Pavement Testing”, NCHRP Synthesis 325, TRB (2004)
- [7] Technischen Prüfvorschrift für Asphalt TP Asphalt-StB Teil 25 A1, Dynamischer Stempeldruckversuch an Gussasphalt, FGSV (2009)
- [8] Technischen Prüfvorschrift für Asphalt TP Asphalt-StB Teil 25 B1, „Einaxialer Druckschwellversuch – Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalten bei Wärme“ FGSV (2010)
- [9] Leutner, R. 1979. „Untersuchungen des Schichtenverbunds beim bituminösen Oberbau“, Bitumen 3 (1979)