

Brückenrandfugen – Erfahrungen aus der Praxis, Schadenfälle und Evaluation neuer Systeme

Dr. Ch. Angst, Ch. Clavien, IMP Bautest AG, Oberbuchsiten

Zusammenfassung

Aufgrund der Feststellungen bei mehreren Schadenfällen wurde eine systematische Untersuchung von Brückenrandfugen für die Ausführung weiterer Objekte durchgeführt. Im vorliegenden Erfahrungsbericht werden die Ergebnisse aus mehreren Objekten die in den letzten 3 Jahren ausgeführt wurden zusammengefasst und kommentiert.

Bei einigen Objekten wurden ähnliche Schadensbilder festgestellt. Die häufigsten Schäden bei Brückenrandfugen bestehen aus Ablösungen der Heissvergussmasse gegenüber den Fugenflanken oder aus Deformationen bei hohen Temperaturen (Auslaufen der Masse).

Diese Schäden traten teilweise auf, obwohl die Heissvergussmasse die Produkthanforderungen erfüllte.

Zur Evaluation neuer Systeme wurde aus diesem Grunde ein grosses Gewicht auf die Systemprüfungen gelegt. Dabei ging es darum, die Fugensysteme sowohl bei tiefen Temperaturen als auch bei hohen Temperaturen zu untersuchen. Das Dehnverhalten bei -20°C gibt wertvolle Aufschlüsse über das Verhalten an den Fugenflanken. Zudem konnten erstmalige Einblicke in die Fuge gewonnen und fotografisch festgehalten werden.

Zur Prüfung des Wärmeverhaltens wurde ein einfacher Laborversuch entwickelt, bei welchem die aufgetretenen Schadenfälle simuliert werden können.

Im Erfahrungsbericht werden die Feststellungen und Beobachtungen in Bezug auf folgende Faktoren beschrieben:

Einfluss des Haftvermittlers, der Rauigkeit der Oberfläche, eine Trennschicht innerhalb der Fuge, Beobachtungen an Gummiprofile und Splittverfüllungen sowie Vergleich unterschiedlicher geometrischen Formeln der Fugen.

Die aufgeführten Folgerungen geben einerseits wertvolle Hinweise auf das Verhalten verschiedener Systeme, andererseits werfen sie viele Fragen auf.

Brückenrandfugen – Erfahrungen aus der Praxis, Schadenfälle und Evaluation neuer Systeme

Dr. Ch. Angst, Ch. Clavien, IMP Bautest AG, Oberbuchsiten

1. Schadenfälle

Bei diversen Schäden auf Brücken des Nationalstrassenbaus konnten immer wieder ähnliche Schadensbilder festgestellt werden. Die aufgetretenen Schäden lassen sich in 2 Gruppen klassieren; es handelt sich um Randablösungen oder um Verdrückungen der Masse aus der Fuge.

In der Abbildung 1 sind Ablösungen der Heissvergussmasse gegenüber dem Beton dargestellt. Diese Ablösungen können zu einem Abreissen des Kittkeils (Abbildung 1a) führen oder den gesamten Kittkeil ablösen. Häufig sind diese Schäden schlecht sichtbar, insbesondere wenn wie bei Abbildung 1b die Kittfuge stehen bleibt. Hinter der abgelösten Kittfuge entsteht eine Tasche in welcher Feuchtigkeit und Schmutz liegen bleibt. Stellenweise konnte diese Ablösung auf der gesamten Höhe der Heissvergussfuge festgestellt werden. Ablösungen zwischen Beton und Heissvergussmasse stehen oft im Zusammenhang mit dem Feuchtigkeitshaushalt des Betons.

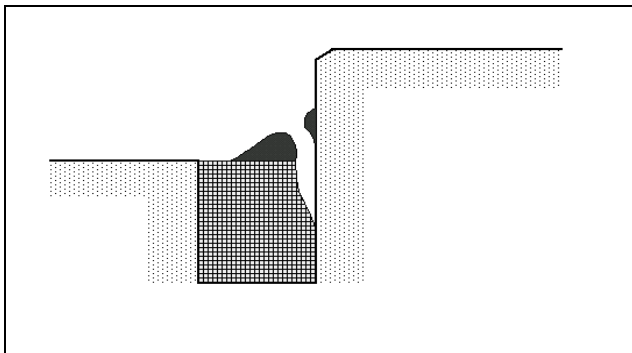


Abbildung 1a: Ablösungen der Heissvergussmasse an der Beton-Flanke

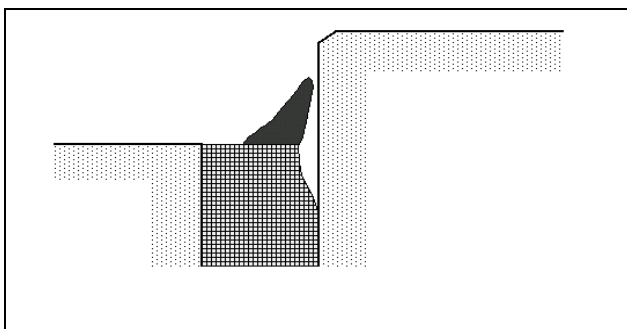


Abbildung 1b: Ablösungen der Heissvergussmasse an der Beton-Flanke

In der Abbildung 2 sind Ablösungen zwischen dem Asphaltbelag und der Heissvergussmasse dargestellt. In der Schweiz gilt Gussasphalt als Standardbelag für Brückenobjekte, so dass man grundsätzlich davon ausgehen kann, der Belag sei wasser- und dampfdicht. Dies wird die Begründung, dafür sein, weshalb Ablösungen zwischen Gussasphalt und Heissvergussfuge seltener sind als zwischen Heissvergussfuge und Beton.

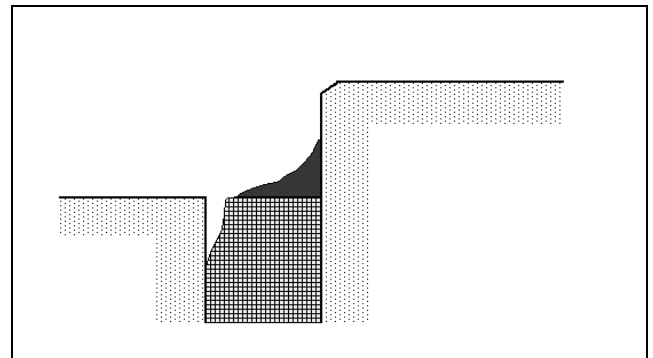


Abbildung 2: Ablösungen der Heissvergussmasse an der Asphalt-Flanke

Verdrückungen wie sie in der Abbildung 3 dargestellt werden, sind vor allem bei südexponierten Heissvergussfugen feststellbar. An heißen Sommertagen werden bei sonnenexponierten Fugen hohe Temperaturen gemessen, die bei ungeeigneter Vergussmasse zu Deformationen führen. Dieses Schadensbild wurde an verschiedenen Orten festgestellt und konnte auch labortechnisch nachvollzogen werden. Wir stellen uns den Schadensvorgang wie folgt vor: Entlang dem Betonrand lagert sich Schmutz und Sand mit der Zeit ab. Diese Schmutzablagerung wirkt dauerhaft auf einem Teil der Fuge und drückt durch das Eigengewicht die Fugenmasse nach unten. Diese Verdrückung erfolgt unter Volumenkonstanz, so dass die Heissvergussmasse aus der Fugenmulde tritt.

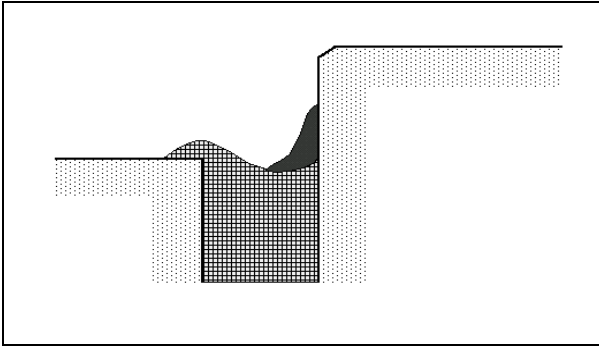


Abbildung 3: Durch Schmutzablagerung ausgelöste Verdrückungen

Eine nachhaltige Instandstellung schadhafter Längsfugen ist nur möglich, sofern die Schadensursachen bekannt sind. Es ist daher von grossem Vorteil vor der Instandstellung eine Schadensanalyse durchzuführen. Dabei ist auch das „Umfeld“ der Heissvergussmasse zu prüfen. Wurde der Konsolkopf wie in Abbildung 4 reprofiliert, muss auf ein rissfreies Vorgehen geachtet werden. In der Abbildung 4 ist deutlich zu erkennen, dass Risse zwischen dem ursprünglichen Beton und dem Reprofilierungsmörtel entstanden sind. Durch diese Risse konnte Wasser eindringen und die Fuge von der Flanke wegdrücken.



Abbildung 4: Risse zwischen Reprofilierungsmörtel und Betonuntergrund ermöglichen das Eindringen von Wasser

Aufgeschraubte Leitplankenpfosten übernehmen bei einem Fahrzeugaufprall grosse Lasten. Diese Spannungen werden an die Unterlage weitergegeben und können ebenfalls zu Risse führen. In einem Schadensfall konnte beispielsweise festgestellt werden, dass von jedem Leitplankenpfosten aus ein Riss durch den Konsolkopf verlief. Dieser Riss ermöglichte ein Wassereindringen hinter die Flanke der Heissvergussfuge.

Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass bei der Ausbildung einer Heissvergussfuge nicht nur die „schwarzen“ Arbeiten von grosser Bedeutung sind, sondern auch die Vorbereitung und Gestaltung der Fugenflanken.

2. Evaluation neuer Systeme

2.1 Prüfverfahren

Aufgrund der Erfahrungen aus den Schadenfällen legen wir grossen Wert auf Systemprüfungen, bei denen neben der Untersuchung des eigentlichen Produktes der Heissvergussmasse auch Versuche am gesamten System durchgeführt werden. Dabei ist es erforderlich das Verhalten sowohl bei hohen als auch bei tiefen Temperaturen zu erfassen.

2.1.1 Wärmeverhalten

Im Rahmen eines Schadenfalles bei welchem die in Abbildung 3 dargestellten Verdrückungen sehr häufig festgestellt wurden, ging es darum den Schadenshergang im Labor zu simulieren. Dabei entstand die Idee eines praxisnahen Versuches bei welchem der Vorgang simuliert werden sollte. Die Beobachtungen auf der Baustelle wiesen darauf hin, dass die Schmutzablagerungen entlang des Konsolkopfes zu Deformationen führen könnten. Diese Auflast ist zwar gering, doch wirkt sie lang andauernd und spricht dadurch gerade bei hohen sommerlichen Temperaturen die viskosen Eigenschaften der Heissvergussmasse an.

Im Labor wurde eine Modellfuge mit der entsprechenden Heissvergussmasse vergossen und wie folgt beansprucht:

Durch Aufbringen eines Quarzsandkeiles auf der einen Hälfte der Fuge und der Lagerung im Klimaschrank bei 50 bzw. bei 60 °C wurde die Verformung beobachtet. Dieser sehr empirische, praxisnahe Versuch konnte nicht nur den Schadenshergang im Labor nachvollziehen, sondern diente auch als Entscheidungskriterium für die Wahl des Produktes. An den Laborprüfkörpern konnte teilweise die in Abbildung 3 dargestellte, volumenkonstante Verformung der Heissvergussmasse sehr deutlich festgestellt werden.

2.1.2 Kälteverhalten

Zur Bestimmung des Dehn- und Haftverhalten des Systems Längsfuge wurden kleine Fugenmodellkörper vorbereitet, die an der EMPA untersucht wurden.

Bei der Prüfung handelt es sich um eine kontinuierliche Dehnung der Fugenmasse zwischen dem Gussasphalt und dem Betonelement bis zu einem Dehnweg von 10 mm bei -20 °C (Prüfung in Anlehnung an SN 671 920a „Voranstrich- und Vergussmassen: Dehnbarkeit“). Die kontinuierliche Dehnung mit 0 ... 6 mm Dehnweg erfolgte mit einer Geschwindigkeit von 1 mm pro Stunde. Nach Erreichen des Dehnweges von 6 mm wurde gestoppt und der Dehnweg während einer Stunde konstant gehalten. Danach wurde die Prüfung bis zum maximalen Dehnweg von 10 mm mit der gleichen Geschwindigkeit fortgesetzt.

Die Prüfkörper werden so in die Prüfeinrichtung eingebaut, dass die untere Seite des Prüfkörpers (Seite Betonelement) auf den Boden der Prüfeinrichtung befestigt und die obere Seite des Prüfkörpers (Seite Gussasphalt) durch den Prüfkolben in Vertikalrichtung nach oben gezogen wurde. Die während der Prüfung entstehende Kraft wurde kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet.

Massgebend für die Beurteilung des Verhaltens der Fugenmasse waren Rissbildung in der Fugenmasse sowie Flankenablösungen zwischen Fugenmasse und Gussasphalt bzw. Betonelement. In der Abbildung 5 ist die Prüfeinrichtung dargestellt.

- | | |
|----|---|
| 1: | Metallklotz fest |
| 2: | Beweglicher Metallklotz |
| 3: | Betonelement |
| 4: | Betonelement mit Metallklotz verklebt |
| 5: | Betonelement nicht mit Metallklotz verklebt |
| 6: | Metallplatte geklebt an Metallklotz - und GA-Oberfläche |
| 7: | Dehnkolbenstange |
| 8: | Führungsstange |
| 9: | Induktive Wegaufnehmer |

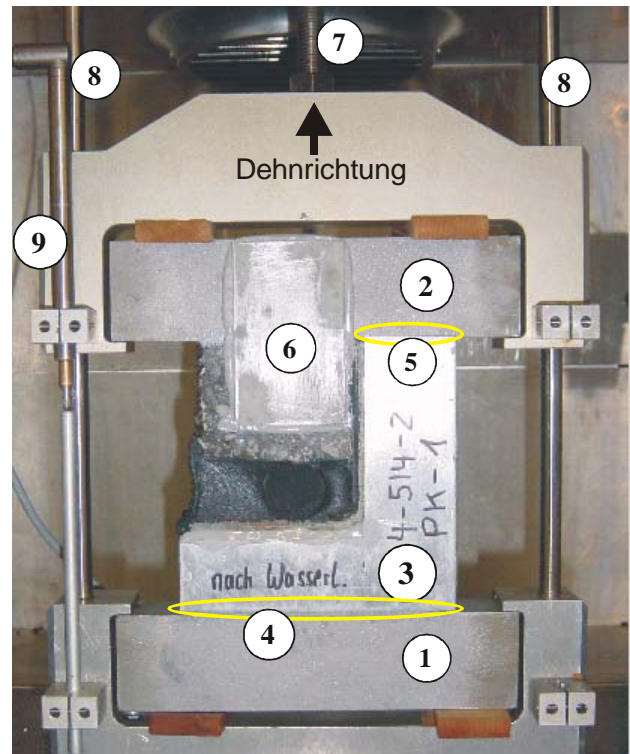


Abbildung 5: Prüfeinrichtung mit einem eingebauten Prüfkörper

2.2 Systemauswahl

Die hier vorgestellten Ergebnisse entstammen nicht einem systematisch aufgebauten Forschungsauftrag, sondern aus einer Sammlung von baustellenbezogenen Untersuchungen über mehrere Jahre. Die 8 untersuchten verschiedenen Fugensysteme unterscheiden sich insbesondere in Bezug auf:

- Haftvermittler
- Rauigkeit der Oberfläche des Haftvermittlers auf Epoxid-Basis
- Produkt der Heissvergussmasse
- Trennschicht innerhalb der Fuge.
- Geometrie/Form der Fuge
- Splittverfüllung der bituminösen Masse

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die 8 verschiedenen Fugensysteme.

Systemauswahl

	System A	B	C1	C2	D1	D2	E1	E2
FUGENSPALTE								
Höhe [mm]	90	70	80	80	100	100	70	70
Breite [mm]	50	35	40	40	40	obere 1/2=40 untere 1/2=20	40	40
VORBEREITUNGSARBEITEN								
Sandstrahlung des Betons	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Haftvermittler auf Epoxid-Basis								
Grundierung (mit Quarzsand)	Ja	Ja	Ja ohne Quarzsand	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja
Versiegelung	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja
3. Schicht	Epoxidharz mit Abstreuerung	Epoxidharz mit Abstreuerung	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Rauigkeit der vert. Oberfläche	sehr rau auf obere Hälfte	sehr rau auf ganze Höhe	fein auf ganze Höhe	rau auf ganze Höhe	fein auf ganze Höhe	fein auf ganze Höhe	sehr rau auf ganze Höhe	sehr rau auf ganze Höhe
Haftvermittler auf Bitumenbasis	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Haftvermittler auf Kunststoffbasis	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja untere Hälfte	Ja untere Hälfte	Nein	Nein
Vorwärmen der Unterlage	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
FUGENMASSE			Mastix BFL; extrudiert					
Produkt	Heissverguss- masse A	Heissverguss- masse B						Heissverguss- masse E
Anzahl Schichten	2	2	2	2	2	2	2	2
Trennschicht	Oelpapier	Gummiprofil, D=30mm	Feinsplitt 2/4	Feinsplitt 2/4	Nein	Nein	Nein	Gummiprofil, D=30mm
Untere Schicht mit Splitt	Ja Splitt 11/16	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Tabelle 1: Beschrieb aller untersuchten Systeme

5 Systeme wurden mit einem relativ neuen Applikationssystem hergestellt, bei welchem die Vergussmasse heiss extrudiert wird. Dabei werden Fugenbänder aus Bitumen-Kautschukelastomer, die im Hochbau zur Abdichtung von Fugen verwendet werden, erhitzt und unter Druck in die Fugenmulde gepresst. Die Hauptmotivation dieser neuartigen Anwendung besteht darin, die Randvergussfugen maschinell auszuführen. Ein speziell konstruiertes Gerät erwärmt die Fugenmulde auf mind. 100 °C bevor die Fugenmasse in die Mulde extrudiert wird.



Abbildung 6: Einbringen der extrudierten Heissvergussmasse



Abbildung 7: Einbringen der extrudierten Heissvergussmasse (Kittkeil / Wasserabweiser)

2.3 Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, wurden die hier dargestellten Ergebnisse aus objektbezogenen Untersuchungen über einen längeren Zeitraum gesammelt. Die Fugen wurden unter Baustellenbedingungen zu verschiedenen Zeitpunkten an verschiedenen Orten von verschiedenen Unternehmungen ausgeführt. Obwohl ein identisches, systematisches Vorgehen geplant war, konnte dies leider (baustellenbedingt) nicht immer realisiert werden.

Die Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die an den 8 Systemen durchgeführten Ausführungskontrollen und Untersuchungen der Systeme und Produkte.

Die Untersuchungsergebnisse sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Prüfungen	System A		System B		System C1		System C2		System D1		System D2		System E1		System E2									
VORBEREITUNGSARBEITEN																								
- Betonuntergrund																								
Haftzugfestigkeit	✓	-			✓			✓		-			-		✓		✓							
Wassergehalt (CM-Methode)	✓	-			✓			✓		-			-		-		-							
Rauigkeit	✓	-			✓ (visuel)			✓ (visuel)		-			-		✓		✓							
- Haftvermittler																								
Haftzugfestigkeit	✓		✓		✓			✓		-			-		✓		✓							
Poren	✓		✓		✓			✓		-			-		✓		✓							
Schichtdicke	✓		✓		✓			✓		-			-		✓		✓							
- PBD-Bahnen																								
Haftzugfestigkeit	-		-		✓ (manuel)			✓ (manuel)		-			-		✓		✓							
- Kontrolle der Fugenspalte (Abmessungen, visuel. Beurteilung, usw.)	✓		✓		✓			✓		-			-		✓		✓							
- Begleitung des Einbaues (Wetterbedingungen, Einbautemp., usw.)	✓		✓		✓			✓		-			-		✓		✓							
FUGENMASSE	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.	Anl.	n. Alt.						
Aussehen / Beschaffenheit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*						
Fliesslänge 60°C	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*						
Penetration 25°C	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	*	*						
EP RuK	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*						
Kugelfallprobe -20°C	-	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*						
FUGENSYSTEM	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR	Ohne WL	Nach WL	Nach UV/IR			
Dehnbarkeit -20°C	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	*	*	*	
Wärmestandfestigkeit	✓			✓			-			-			-			-			✓			*		
Langzeitbeobacht. vor Ort	-			-			✓			✓			-			-			-			-		
Langzeitbeobacht. im Labor	-			-			✓			✓			-			-			-			-		

Legende

- Anl. Anlieferung
- n. Alt. nach Alterung
- WL Wasserlagerung
- UV / IR UV/IR Beanspruchung
- keine Angaben
- * in Arbeit

Tabelle 2 : Durchgeführte Kontrollen der Arbeiten und Prüfungen am System sowie an der Heissvergussmasse

Ergebnisse	System A				B				C1				C2			
	Anlieferung		Alterung		Anlieferung		Alterung		Anlieferung		Alterung		Anlieferung		Alterung	
FUGENMASSE																
Fließlänge [mm]	1.0	☺	-	-	1.0	☺	-	-	1.0	☺	-	-	1.0	☺	-	-
Penetration 25°C [¹ / ₁₀ mm]	72	☺	105	-	96	☺	81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EP RuK [°C]	96.1	☺	91.7	-	97.0	☺	98.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kugelfallprobe	-	-	0	☺	-	-	0	☺	-	-	-	-	-	-	-	-
FUGENSYSTEM																
Dehnbarkeit - 20°C	ohne WL nach WL UV / IR				ohne WL nach WL UV / IR				ohne WL nach WL UV / IR				ohne WL nach WL UV / IR			
Ablösungen																
zum Beton	☺	☺	☺		☺	☺	-		☺	☺	☺		☺	☺	☺	
zum Asphalt	☹	☹	☹		☹	☹	-		☺	☺	☺		☺	☺	☺	
max. Kraft [kN]	3.2	3.5	4.7		3.8	3.7	-		2.3	1.4	1.9		3.4	2.1	1.7	
Wärmestandfestigkeit	☹ ¹⁾				☺ ¹⁾				☹ ²⁾				☹ ²⁾			

Ergebnisse	System D1				D2				E1				E2			
	Anlieferung		Alterung		Anlieferung		Alterung		Anlieferung		Alterung		Anlieferung		Alterung	
FUGENMASSE																
Fließlänge [mm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3)	3)	3)	3)
Penetration 25°C [¹ / ₁₀ mm]	-	-	-	-	-	-	-	-	83	☺	64	-	3)	3)	3)	3)
EP RuK [°C]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3)	3)	3)	3)
Kugelfallprobe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3)	3)	3)	3)
FUGENSYSTEM																
Dehnbarkeit - 20°C	ohne WL nach WL UV / IR				ohne WL nach WL UV / IR				ohne WL nach WL UV / IR				ohne WL nach WL UV / IR			
Ablösungen																
zum Beton	☺	☺	-		☺	☺	-		-	-	-		3)	-	-	
zum Asphalt	☺	☺	-		☹	☹	-		-	-	-		3)	-	-	
max. Kraft [kN]	0.7	1.7	-		0.6	0.5	-		-	-	-		3)	-	-	
Wärmestandfestigkeit	-				-				☺ ¹⁾				3)			

- ☺ Anforderungen erfüllt
- ☹ Anforderungen mehrheitlich erfüllt
- ☹☹ Anforderungen mehrheitlich nicht erfüllt
- 1) Laborversuch
- 2) Langzeitbeobachtung vor Ort
- 3) in Arbeit

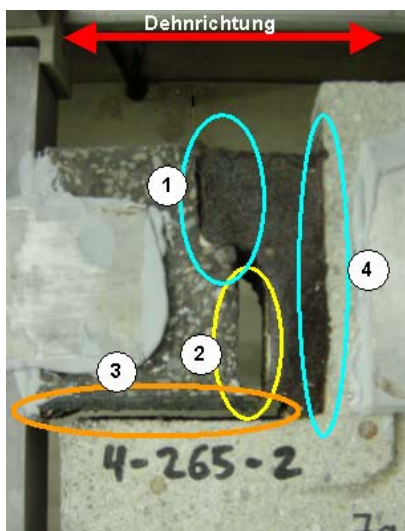
Tabelle 3: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse an den Systemen und den Heissvergussmassen

3. Folgerungen

Aus dem Vergleich der verschiedenen untersuchten Systeme lassen sich einige interessante Folgerungen ziehen:

- **Fugengeometrie:**
Das System D2 wurde mit einer abgestuften Fuge erstellt. Die untere Hälfte der Fuge hat eine Breite von 20 mm; die obere eine von 40 mm. Das System D1 wurde mit den gleichen Baustoffen und der gleichen Vorbereitung der Fugenflanken erstellt, jedoch mit einer konstanten Fugenbreite von 40 mm.

Das Fugensystem mit abgestufter Fuge zeigte ein ungenügendes Dehnverhalten in der Kälte. Im schmalen Bereich löste sich die Fuge aus dem Gussasphalt sowohl vor als auch nach der Wasserlagerungen nach etwa 2 mm Dehnweg ab. Im Unterschied dazu verhielt sich das System D1 sehr gut; die Fugen waren auch nach einer Dehnbeanspruchung von 10 mm bei -20°C intakt.



- 1) Haftung (Fuge/Asphalt) in Ordnung
- 2) Ablösung 60mm zwischen Tack Coat und Asphalt. Haftfestigkeit zwischen Tack Coat und Fuge war in Ordnung
- 3) Ablösung zwischen PBD und Beton
- 4) Haftung zwischen Fuge und Beton in Ordnung

Abbildung 8: System mit abgestufter Fuge nach der Prüfung des Dehnverhaltens in der Kälte (-20°C)

Das Fugensystem mit abgestufter Fuge konnte für die Praxisanwendung nicht empfohlen werden.

- **Einfluss der Trennschicht in der Masse:**
Bei den Systemen C1 und C2 wurde die Fuge in 2 Schichten verfüllt, wobei zwischen den Schichten eine Trennschicht aus Feinsplitt 2/4 gebildet wurde. Beim System D1 hingegen wurde die Fuge ebenfalls in 2 Arbeitsgängen mit Heissvergussmasse verfüllt, es wurde jedoch keine Trennschicht ausgebildet.

Bei der Prüfung des Dehnverhaltens bei tiefen Temperaturen konnte ein deutlich unterschiedliches Verhalten, das in der Abbildung 9 schematisch dargestellt ist, festgestellt werden. Das System mit Trennschicht hat sich deutlich günstiger Verhalten, da keine Ablösungen an den Fugenflanken festgestellt wurden.

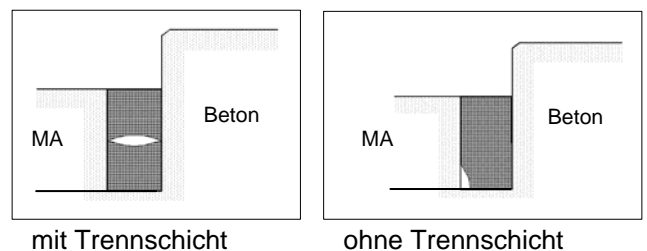


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Verhalten der Fuge mit/ohne Trennschicht

Es ist keine neue Feststellung, dass die Ausbildung einer Trennschicht das Dehnverhalten einer Fuge günstig beeinflusst. Sehr befriedigend ist jedoch, dass die an der EMPA durchgeführte Prüfung den Unterschied laborteknisch nachgewiesen hat. Ohne Trennschicht entsteht eine grössere Randspannung in den Ecken der Fuge. Dass bei der Prüfung die Ablösung in der unteren Ecke zum Gussasphalt auftrat ist im Zusammenhang mit den grossen Schubspannungen zu sehen, die während der Prüfung im Bereich Fuge/Abdichtung auftreten.

- Einfluss der Grundierung:
Bei den Systemen C1/C2 und D1 wurde die Fugenflanke aus Beton sandgestrahlt; bei den Systemen C1 und C2 wurde zusätzlich eine Epoxidharzversiegelung appliziert. Beim System D1 wurde darauf verzichtet.

Bei den Systeme C1/C2 wurde kein weiterer Haftvermittler appliziert; beim System D1 in der unteren Hälfte ein Haftvermittler auf Kunststoffbasis.

Da in allen 3 Systemen die gleiche Heissvergussmasse verwendet wurde, lässt sich das Verhalten bei tiefen Temperaturen direkt vergleichen. Bei allen 3 Systemen konnten keine Flankenablösungen festgestellt werden. Auch bei der Prüfung nach Wasserlagerung konnten keine Unterschiede in den Flankenablösungen festgestellt werden.

Unseres Erachtens wäre es etwas voreilig aus dem Vergleich dieser 2 Prüfkörper abzuleiten, man könne auf eine Grundierung verzichten. Im Laborversuch wird lediglich die Dehnung der Fuge untersucht; in der Praxis kommen weitere Beanspruchungen hinzu, insbesondere durch Feuchtigkeit im Beton hervorgerufene Diffusions- und Dampfdruckprobleme.

Immerhin zeigt der Vergleich auf, dass eine hervorragende Haftung auf eine sandgestrahlte, vorgewärmte Betonoberfläche gut möglich ist.

- Einfluss der Rauigkeit der Betonoberfläche:
Bei den Systemen C1 und C2 wurden identische Materialien eingebaut, der Unterschied besteht darin, dass beim System C1 die Grundierung nicht abgestreut wurde. Dadurch entstand eine wesentlich tiefere Rauigkeit der vertikalen Fugenflanke. Die Prüfung der Dehnbarkeit bei tiefen Temperaturen ergab keine signifikante Unterschiede zwischen den beiden Systemen.
- Vergleich zweier Heissvergussmassen:
Die Systeme A und B wurden mit Heissvergussmassen unterschiedlicher Herkunft ausgeführt.

Die Prüfungen an den Heissvergussmassen zeigten sehr ähnliche Eigenschaften: Die Fließlänge bei 60 °C lag in beiden Systeme bei 1.0 mm; auch der Erweichungspunkt Ring und Kugel lag bei 96.1 bzw. 97.0 °C. Trotzdem konnte ein recht unterschiedliches Verhalten in der praxisnahen Überprüfung der Wärmestandfestigkeit festgestellt werden. Das System A wurde aufgrund grosser Deformationen

der Fuge nicht weiter empfohlen (siehe Abbildung 10).

Auch bei der Prüfung der Dehnbarkeit bei -20°C konnte bei den Prüfkörpern nach Wasserlagerung ein Unterschied festgestellt werden; das System B zeigte eine befriedigende Haftung zum Asphalt; beim System A zeigten sich Ablösungen. Auch hier konnten die „klassischen Prüfungen“ keinen Aufschluss über das Kälteverhalten geben; die Kugelfallprobe (bei -20°C) wurde sowohl vom System A als auch von System B bestanden.



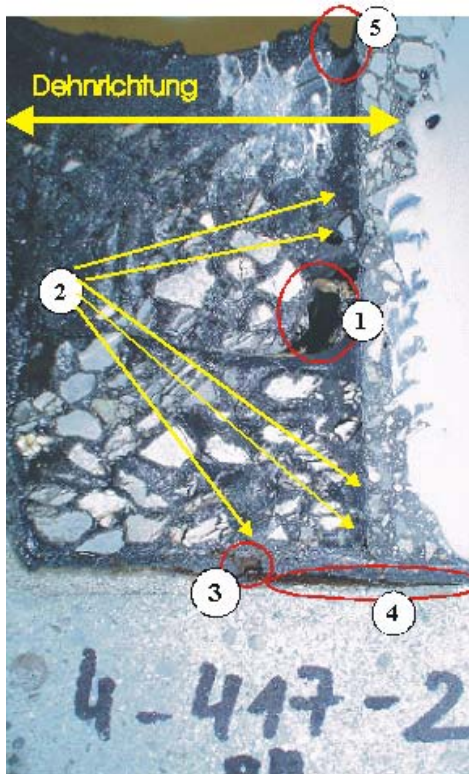
Abbildung 10: Prüfung der Wärmestandfestigkeit beim System A

- Bei der Prüfung der Dehnbarkeit konnte festgestellt werden, dass Ablösungen generell auf Seite des Gussasphaltes aufgetreten sind. Bei sämtlichen geprüften Systemen konnte keine einzige Ablösung auf Seite des Betons festgestellt werden. Diese Beobachtung steht im Widerspruch zur Häufung der Ablösungen auf Seite Beton die in der Praxis festgestellt werden können. Wir gehen davon aus, dass sich dieser scheinbare Widerspruch dadurch erklären lässt, dass in der Praxis neben der Dehnbeanspruchung weitere Faktoren das Verhalten der Heissvergussmasse beeinflussen. Im Vordergrund steht der Feuchtigkeitshaushalt des Beton.
Diese Feststellung unterstreicht die Bedeutung des „Umfeldes“ einer Fuge.
- Splittverfüllung:
Beim System A wurde die untere Hälfte der Fuge mit einer Splittverfüllung analog den bei den Fahrbahnübergängen bekannten Verfahren angewendet. Es wurde ein Splitt 11/16 verwendet.

Bei der Prüfung der Dehnung bei -20°C konnte eine Rissbildung bzw. Ablösung zwischen Bindemittel und Splittkörner festgestellt werden (siehe Abbildung 11). Im Kraftdehndiagramm

kann ein massiver Abfall der Kraft nach etwa
1–2 mm Dehnweg festgestellt werden.

Wir gehen davon aus, dass dieser Abfall auf die Ablösungen zwischen Mineral und Bindemittel zurückzuführen sind. Dies bedeutet, dass die festgestellte Rissbildung bereits zu Beginn der Dehnprüfung auftrat und nicht erst beim grossen Dehnweg von ca. 10 mm.



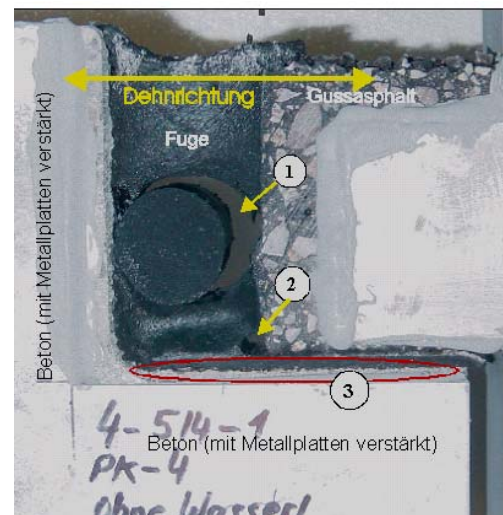
- ① Ein Loch ca. 14x19mm im Bereich Ende der Trennfolie
- ② Rissbildung bzw. Ablösungen zw. dem Bindemittel und den Zuschlagstoffen
- ③ PBD-Risse
- ④ Ablösung zw. PBD und Beton

Abbildung 11: System mit Splittverfüllung nach der Prüfung des Dehnverhaltens in der Kälte (-20°C)

Aufgrund dieser Erfahrungen raten wir davon ab, Splittverfüllungen im unteren Bereich einer Fugenmasse ohne Systemprüfung anzuwenden.

- Gummiprofil:
Als Trennlage zwischen den beiden Schichten der Heissvergussmasse wurde beim System B ein Gummiprofil Ø 30 mm eingesetzt.

Nach der Dehnbeanspruchung von 10 mm bei -20°C bleibt die obere Hälfte der Prüfkörper ohne und mit Wasserlagerung des Fugensystems intakt. Hingegen entstand eine Ablösung und ein Hohlraum im Bereich des Gummiprofils (siehe Abbildung 12). Wir nehmen an, dass das Gummiprofil nicht zur Aufnahme der Fugendehnbewegung beigetragen hat. Bei -20°C verhält sich der geprüfte Gummi wesentlich steifer als das bituminöse Fugenverfüllmaterial. Der entstandene Hohlraum ist klar als Nachteil für das Praxisverhalten zu bewährten. Die Verwendung derartiger Gummiprofile kann unsererseits nicht ohne Systemprüfung empfohlen werden.



- ① Hohlraum zwischen Gummiprofil, Gussasphalt und Fuge
- ② Hohlraum zwischen Fuge, PBD und Gussasphalt
- ③ Ablösung zwischen PBD und Beton

Abbildung 12: System mit Gummiprofil nach der Prüfung des Dehnverhaltens in der Kälte (-20°C)

Die aufgeführten Folgerungen geben einerseits wertvolle Hinweise auf das Verhalten verschiedener Systeme, andererseits werfen sie viele Fragen auf. Wir weisen nochmals darauf hin, dass die gewonnenen Kenntnisse nicht einer systematischen Untersuchung entstammen, sondern auf mehreren Baustellen über einen Zeitraum von 3 Jahren gesammelt wurden.