



Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP4 – Zerstörungsfreie Prüfungen von Verbund und Oberflächen

Paquet de recherche sur les ponts:

**EP4 - Essais non destructifs de l'adhésion des couches et
des surfaces**

Research package bridge-deck systems:

**EP4 - Non-destructive testing and evaluation of adhesion
and surfaces**

IMP Bautest AG

Christian Angst, Dr. dipl. Ing. ETH

IRSCAT AG

Christian Florin

**Forschungsprojekt VSS 2006/514_OBF auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Christian Angst

Mitglieder

Christian Florin

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

Thomas Arn

Mitglieder Einzelprojekt

Margarita Rodriguez

Heinz Aeschlimann

Hans-Peter Beyeler

Christophe Bressoud

Hans-Jörg Byland

Jean-Louis Cuénoud

Erwin Fetz

Antragsteller

Schweizerischer Verband
der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
Sihlquai 255
CH-8005 Zürich

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Zielsetzung	13
1.1 Ausgangslage	13
1.2 Zielsetzung	14
2 Konzept	15
3 Herstellung der Testflächen	19
3.1 Betonplatten	19
3.2 Kugelstrahlen der Platte	21
3.3 Aufbau eines Schutzzeltes	22
3.4 Qualitätskontrollen Betonuntergrund	22
3.5 Einbau Abdichtung und Belag	23
3.5.1 Übersicht	23
3.5.2 Einbau Feld 2.1 (EP / FLK PU / MA)	25
3.5.3 Einbau Feld 2.2 (EP / PBD / MA)	26
3.5.4 Einbau Feld 2.3 (BIT. / PBD / MA)	26
3.5.5 Einbau Feld 2.4. (PMMA / MA)	27
3.5.6 Einbau Feld 1.1 (bit. Grundierung / PBD / MA)	27
3.5.7 Einbau Feld 1.2 (EP / PBD / MA)	27
3.6 Herstellung der Fehlstellen	28
3.7 Qualitätskontrollen Abdichtungen	31
3.7.1 EP-Grundierung bzw. Versiegelung	31
3.7.2 PBD Abdichtung	32
3.7.3 FLK Abdichtungen	32
3.8 Qualitätskontrollen Gussasphalt	33
4 Messverfahren für Zerstörungsfreie Prüfungen	35
4.1 Infrarot- Verfahren (Thermografie)	35
4.2 Bau Radar-Verfahren	37
4.3 Ultraschall-Verfahren	38
4.4 Schallanalyse-Verfahren	39
5 Messergebnisse	41
5.1 Messprogramm	41
5.2 Messungen auf der Betonunterlage	41
5.2.1 IR-Messungen auf Platte 1	42
5.2.2 IR-Messungen auf Platte 2	45
5.2.3 IR-Messung auf Platte 3	48
5.3 Messungen auf den Abdichtungen	50
5.3.1 IR- Messungen	51
5.3.2 Schallanalyse	55
5.4 Messungen auf der Schutzschicht	57
5.4.1 IR-Messungen	57
5.4.2 Ultraschallmessungen	61
5.4.3 Radarmessungen	61
6 Empfehlungen für Feldmessungen	65

6.1	Empfehlungen für die Feldmessungen	65
7	Messungen in der Praxis.....	67
7.1	Das Ultraschall-Messverfahren.....	67
7.1.1	Messeinrichtung:	67
7.2	Messungen auf diversen Objekten	68
7.2.1	Auswertung	68
7.2.2	Durchführung der Messung	68
7.2.3	Auswertung der Resultate.....	69
7.2.4	Objekt 1 „BünztaI“	70
7.2.5	Objekt 2 „Lenzburg“	71
7.2.6	Objekt 3 „Brienz“	72
8	Langzeitbeobachtung des Blasenwachstums	73
8.1	FLK PU –Abdichtung auf EP-Grundierung:	73
8.2	PDB-Abdichtung auf EP-Versiegelung	73
8.3	PBD-Abdichtung auf bituminöser Grundierung.....	75
8.4	PMMA-Abdichtung	75
8.5	Zusammenfassung zur Blasenbildung.....	76
9	Folgerungen	77
9.1	Thermografie.....	77
9.2	Radar	77
9.3	Ultraschall	78
9.4	Schallanalyse	78
9.5	Zusammenfassung	78
	Glossar.....	81
	Literaturverzeichnis.....	83
	Projektabschluss	85
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	89

Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von zerstörungsfreien Prüfungen wurden im Rahmen der Ausschreibung Messungen auf verschiedenen Objekten der Nationalstrassen vorgesehen. Aufgrund der durchgeführten Auftragsanalyse haben wir ein anderes Konzept vorgeschlagen, dessen Hauptgedanke der Bau einer Versuchsplatte ist. Anstelle der Untersuchung mehrerer Objekte wurde vorgeschlagen, verschiedene Abdichtungssysteme auf gezielt hergestellten, unterschiedlichen Betonunterlagen möglichst praxisnah einzubauen und zu prüfen. Es wurden 3 Platten von 8 x 10 m mit unterschiedlichem Beton und unterschiedlicher Bearbeitung der Oberfläche betoniert. Die Herstellung der Betonplatten wurde durch Laboruntersuchungen begleitet und die fertigen Platten wurden eingehend auf deren Eigenschaften untersucht. Anschliessend wurden verschiedene Abdichtungssysteme durch Bauunternehmungen eingebaut, wobei die Flächen der verschiedenen Abdichtungssysteme 2 x 10 m betragen. Dies erlaubte eine Ausführung wie sie in der Praxis vorkommt.



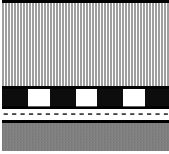
Auf den Testfeldern wurden folgende Abdichtungssysteme eingebaut:

- Polymerbitumen Dichtungsbahn auf bituminöser Grundierung
- Polymerbitumen Dichtungsbahn auf Epoxidharz-Versiegelung
- Flüssigkunststoff-Abdichtung aus Polyurethan auf Epoxidharzgrundierung
- Flüssigkunststoff-Abdichtung aus Polymethylmethacrylat-Abdichtung (PMMA).

Die Abdichtungsschicht wurde mit einer Gussasphalt-Schutzschicht bestehend aus MA 11, Schichtdicke 35 mm, überdeckt.

Während dem Einbau der Abdichtung und der Schutzschicht wurden gezielt Fehlstellen in zwei unterschiedlichen Ebenen in den Aufbau angebracht. Einerseits im Beton (unterhalb der Abdichtung) und andererseits - bei anderen Testfeldern - in der Abdichtung (unterhalb der Schutzschicht). Das Ziel des Forschungsauftrages bestand darin, die zerstörungsfreien Prüfmethode hinsichtlich der Früherkennung von Blasenbildungen zu untersuchen. Daher wurden kleine Fehlstellen eingebaut, deren Grösse sich an den möglichen Dimensionen von Blasenkeimen orientiert. Die Fehlstellen wiesen Tiefen von 4, 8 oder 15 mm auf; deren Durchmesser betrug ebenfalls 4, 8 oder 15 mm. Auf diese Weise entstanden Fehlstellen mit insgesamt 9 unterschiedlichen Dimensionen.

Das an den Testfeldern durchgeführte Messprogramm ist in der untenstehenden Tabelle zu entnehmen:

Messprogramm			
Prüfmethode	geprüfter Aufbau		
	Beton-Untergrund	Abdichtung	Gussasphalt
			
Radar			X
IR (Thermografie)	X	X	X
Ultraschall			X
Schallanalyse		X	

Ergebnisse					geprüfter Aufbau		
					Beton-Untergrund	Abdichtung	Gussasphalt
0 keine Ergebnisse 1 Ergebnisse möglich 2 Ergebnisse positiv							
Prüfmethode	Fehlstellen						
	Tiefe [mm]			Ø			
	4	8	15	[mm]			
Radar	x			4	keine Messungen	keine Messung	0
	x			8			0
	x			15			0
		x		4			0
		x		8			0
		x		15			0
			x	4			0
			x	8			0
			x	15			0
IR (Thermografie)	x			4	Messung der Porosität	0 0 1	0
	x			8			0
	x			15			0
		x		4			0
		x		8			0
		x		15			0
			x	4		0	0
			x	8		0	0
			x	15		1	0
Ultraschall	x			4	keine Messungen	0 0 0	
	x			8			0
	x			15			0
		x		4			keine Messung
		x		8			
		x		15			
			x	4		0	
			x	8		0	
			x	15		0	
Schallanalyse	x			4	keine Messungen	0 1 2	
	x			8			0
	x			15			1
		x		4			keine Messung
		x		8			
		x		15		2	
			x	4			0
			x	8			1
			x	15			2

Anschliessend wurden auf einigen Objekten stichprobenweise vergleichende Untersuchungen der Schallanalyse mit den herkömmlichen Prüfungen durchgeführt.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass mit den bekannten Verfahren der zerstörungsfreien Prüfungen (IR, Radar, Ultraschall) die für Abdichtungssysteme relevanten Schadstellen – mit relativ kleinen Ausmassen – nicht geortet werden können. Einschränkend ist zu erwähnen, dass sich diese Aussage nur auf den Neuzustand bezieht, bei welchem zerstörungsfreie Prüfungen im Sinne der Qualitätssicherung angewendet werden könnten. Die IR-Thermografie liefert bekanntlich gute Ergebnisse im Falle von bereits entstandenen Schäden, jedoch erst bei deutlich grösseren Hohlstellen als in diesem Bericht untersucht wurden.

Résumé

Dans le cadre de l'appel d'offre de ce projet de recherche, une analyse du domaine d'application des investigations non-destructives a été prévue par des mesures à effectuer sur différents objets du réseau des routes nationales. Après l'analyse technique du mandat, IMP a proposé une approche différente, dont la construction d'une dalle d'essai en béton était l'élément central. Au lieu des investigations sur différents objets, il a été proposé de poser et de tester différents systèmes d'étanchéité sur différents supports en béton, mis en œuvre sur une dalle d'essai dans des conditions réelles de la pratique et préparés spécifiquement.

Trois dalles d'essai de 8x10m ont été bétonnées avec différents sortes de béton et une préparation de la surface à chaque fois différente. La mise en œuvre des dalles en béton a été suivie par des contrôles de laboratoire et, une fois terminées, les caractéristiques des dalles ont été analysées en détail. Par la suite, des entreprises construction spécialisées ont posés différents systèmes d'étanchéité sur une surface de 2x10m chacune. La mise en œuvre a ainsi pu être réalisée dans des conditions réelles de la pratique.



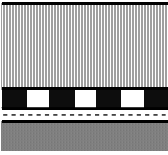
Sur les planches d'essai, les systèmes d'étanchéité suivants ont été mis en œuvre:



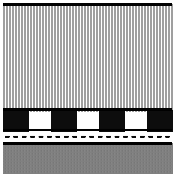
- Lés d'étanchéité en bitumes-polymères PBD sur un glacis bitumineux
- Lés d'étanchéité en bitumes-polymères PBD sur une vitrification époxy
- Etanchéité liquide à base de polyuréthane (FLK-PU) sur un glacis époxy.
- Etanchéité liquide à base de polyméthylméthacrylate (FLK-PMMA)

Les couches d'étanchéité ont été recouvertes par une couche de protection en asphalte coulé MA 11 d'une épaisseur de 35mm.

Lors de la pose de l'étanchéité et de la couche de protection, des points de défaillance ont été introduits volontairement dans la structure sur deux niveaux différents : d'une part dans le support en béton (sous l'étanchéité) et d'autre parts – sur d'autres planches d'essai – dans l'étanchéité (sous la couche de protection). L'objectif du projet de recherche était de tester l'aptitude des méthodes d'investigation non-destructives à détecter la formation de cloques au stade initial. Ainsi, les petits points d'amorce de défaillance introduits avaient une taille similaire à celle des amorces de cloque "naturelles". La profondeur des points de défaillance était de 4, 8 et 15mm ; de même, leur diamètre mesurait 4, 8 et 15mm également. Il en résultait alors au total 9 sortes de points de défaillance de tailles différentes.

Le tableau ci-dessous présente le programme des mesures effectuées sur les différentes planches d'essai.

Programme d'essai			
Méthode d'essai	Structure testée		
	Support en béton	Etanchéité	Asphalte coulé
			
Radar			X
Thermographie IR	X	X	X
Ultrasons			X
Analyse acoustique		X	

0 aucun résultats 1 résultat possible 2 résultats positifs					résultats		
					Structure testée		
Méthode d'essai	void				Support en béton	Etanchéité	Asphalte coulé
	profondeur [mm]			Ø			
	4	8	15	[mm]			
Radar	x			4	aucune mesure	aucune mesure	0 0 0
	x			8			
	x			15			
Thermographie IR		x		4	Mesure de la porosité	0 0 1	0 0 0
		x		8			
		x		15			
Ultrasons			x	4	aucune mesure	0 0 1	0 0 0
			x	8			
			x	15			
Analyse acoustique	x			4	aucune mesure	0 1 2	aucune mesure
	x			8			
	x			15			
		x		4		0 1 2	
		x		8			
		x		15			
			x	4		0 1 2	
			x	8			
			x	15			

Par la suite, des mesures ponctuelles ont été effectuées sur quelques objets afin de comparer les résultats de l'analyse acoustique et des essais traditionnels.

Les résultats de la recherche montrent, que les méthodes d'investigation non-destructives traditionnelles (IR, radar, ultrasons) ne permettent pas de localiser les points de défaillances relativement petits mais significatifs pour un système d'étanchéité. A préciser néanmoins, que cette conclusion n'est valable qu'à l'état neuf de l'étanchéité et si l'on envisage d'utiliser ces méthodes non-destructives dans le cadre du contrôle de la qualité de la pose. Il est bien connu, que la méthode de Thermographie IR permet d'obtenir de bons résultats dans le cas de défauts existants, mais alors, ces cloques ont déjà une taille considérablement plus grande que celles analysées dans ce projet de recherche.

Summary

In order to evaluate methods of non-destructive measurements on bridge-deck systems, a study was proposed to test out different non-destructive methods on several projects on highways. Contrary to the initial request for proposal, we proposed a concept that is mainly based on using test plates. Instead searching for a suitable variety of different bridges-deck systems that are in the process of being built, it was proposed to build test sections with the requested sealing systems. These sealing systems were laid on a number of distinct concrete plates as close to practical application as possible. All systems were tested for their specific characteristics. Three concrete plates measuring 3 m x 8 m with different mixtures of concrete and two different surface conditionings were produced. The production of these plates was also accompanied by laboratory tests for quality control. The finished plates were analysed in depth for their characteristics. Then different sealing systems were implemented by construction companies. Each sealing system was applied on a surface of 2 m x 10 m. This allowed an installation as close to the field as possible.

On the test fields, the following sealing systems were installed:

- Polymer bitumen membrane on bituminous primer
- Polymer bitumen membrane on epoxy sealing
- A liquid-applied plastic sealing based on polyurethan on epoxy primer
- A liquid-applied plastic sealing based on Polymethylmethacrylat (PMMA)

The sealing systems were then protected by a 3.5 cm thick layer of mastic asphalt MA 11.

During the construction of the sealing and the protective layer, faults were implemented on two different layers: (1) in the concrete (beneath the sealing) and (2) within the seal (beneath the protective layer of the MA). The size of the faults that were implemented is consistent with the probable dimensions of initial fault sizes necessary to build bubbles. The faults implemented had a depth of 4, 8, and 15 mm; with respective diameters of 4, 8, and 15 mm. The initial faults therefore had 9 different dimensions.

The measurement program used is shown below.

measuring program			
test methode	controlled structure		
	concrete-underground	sealing system	mastic asphalt
radar			X
IR (thermography)	X	X	X
ultrasonic			X
sound analysis		X	

					Results		
					controlled structure		
					concrete-underground	sealing system	mastic asphalt
0 no results 1 result possible 2 results positive							
test methode	pore						
	depth [mm]			Ø			
	4	8	15	[mm]			
Radar	x			4	no measurement	no measurement	0 0 0
	x			8			
	x			15			
		x		4			0
		x		8			0
		x		15			0
			x	4			0
			x	8			0
			x	15			0
IR (thermography)	x			4	Measurement of the porosity	0 0 1	0 0 0
	x			8			
	x			15			
		x		4		0	0
		x		8		0	0
		x		15		1	0
			x	4			0
			x	8			0
			x	15			0
ultrasonic	x			4	no measurement	0 0 0	no measurement
	x			8			
	x			15			
		x		4		0	
		x		8		0	
		x		15		0	
sound analysis	x			4	no measurement	0 1 2	no measurement
	x			8			
	x			15			
		x		4		0	
		x		8		1	
		x		15		2	
			x	4			0
			x	8			1
			x	15			2

The investigations have shown that the relevant damages in sealing systems - with relatively small proportions -cannot be located with the known methods of non-destructive testing (IR, radar, ultrasound).

It is to be noted that this statement refers only to the condition of a freshly laid bridge-deck system, in which non-destructive methods could be applied for purposes of quality assurance. The IR thermography known good results in the case of already incurred damages, however, were investigated at much larger voids than in this report.