



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)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Forschungspaket Brückenabdichtungen: 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 Baustest 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

Präsident, Einzelprojekt

Thomas Arn

Mitglieder Gesamtprojekt

Heinz Aeschlimann

Harry Fehlmann

Kurt Frei

Jean-Christoph Putallaz

Jean-Marc Waeber

Hans Wahlen

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 „Bünztal“	70
7.2.5	Objekt 2 „Lenzburg“	71
7.2.6	Objekt 3 „Brienzi“	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 betrugen. Dies erlaubte eine Ausführung wie sie in der Praxis vorkommt.

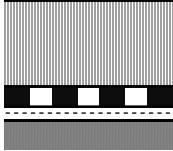
Auf den Testfeldern wurden folgende Abdichtungssysteme eingebaut:

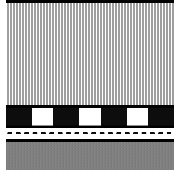
- Polymerbitumen Dichtungsbahn auf bituminöser Grundierung
- Polymerbitumen Dichtungsbahn auf Epoxidharz-Versiegelung
- Flüssigkunststoff-Abdichtung aus Polyurethan auf Epoxidharzgrundierung
- Flüssigkunststoff-Abdichtung aus Polymethylmethacrylat-Abdichtung (PMMA).

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

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. Einschränkung 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.

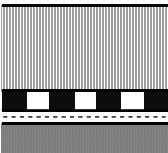
Sur les planches d'essai, les systèmes d'étanchéité suivants ont été mis en œuvre:

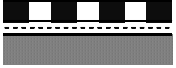
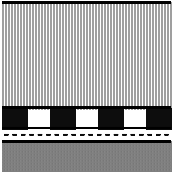
- Lés d'étanchéité en bitumes-polymères PBD sur un glacis bitumineux
- Lés d'étanchéité en bitumes-polymères PBD sur une vitrification époxy
- Etanchéité liquide à base de polyuréthane (FLK-PU) sur un glacis époxy.
- Etanchéité liquide à base de polyméthylméthacrylate (FLK-PMMA)

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
Anylse acoustique		X	

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

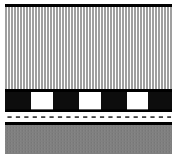
On the test fields, the following sealing systems were installed:

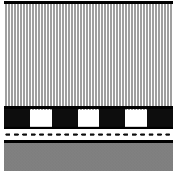
- Polymer bitumen membrane on bituminous primer
- Polymer bitumen membrane on epoxy sealing
- A liquid-applied plastic sealing based on polyurethan on epoxy primer
- A liquid-applied plastic sealing based on Polymethylmethacrylat (PMMA)

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	

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

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.

1 Zielsetzung

1.1 Ausgangslage

Im Jahre 2005 ist die Norm 640 450 „Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken“ [1] publiziert worden. Schon während ihrer Ausarbeitung hat sich erheblicher Forschungsbedarf gezeigt. Bestätigt wurde das auch durch die Vernehmlassung. Von der Arbeits-Gruppe Brückenforschung AGB sind zudem weitere Fragestellungen eingegangen.

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

Mit zerstörungsfreien Prüfungen wie Laserprofilometrie [3,4] kann die Textur von Beton- und Asphaltoberflächen ermittelt werden. Ebenso kann zerstörungsfrei die Porosität des Betonuntergrundes (Luftpermeabilität [5]) oder die ausreichende Überdeckung der Bewehrung mit magnetischen Verfahren [6,7] ermittelt werden. Diese genannten Prüfverfahren sind in der Baupraxis bestens eingeführt und werden seit Jahren routinemässig angewendet. Sie sind den zerstörenden Prüfungen (Entnahme von Bohrkernen) in vielfacher Hinsicht deutlich überlegen, denn sie erzeugen keine Flickstellen, die Ergebnisse stehen wesentlich rascher zur Verfügung und sie erfassen die Bauwerke nicht nur punktuell, sondern flächendeckend oder wenigstens entlang einer Messlinie. Sie stellen somit weit umfassendere Daten über den Zustand des Betonuntergrundes zur Verfügung.

Weitere zerstörungsfreie Prüfungen wie Georadar [8,9] und Thermographie [10, 11, 12] liefern erwiesenermassen wertvolle Informationen für die Beurteilung des Systems Abdichtung und bitumenhaltige Decke auf einer Fahrbahnplatte aus Beton. Diese Verfahren sind bis heute in der Praxis nicht routinemässig eingeführt.

Grundsätzlich ist jede vermiedene Entnahme eines Bohrkerns auf einer Brücke gut. Zerstörungsfreie Prüfungen haben das Potenzial, solche Entnahmen zu vermeiden oder doch zumindest zahlenmässig zu reduzieren. Es bestehen durchaus erste Erfahrungen in diesem Einsatzbereich. Allerdings fehlen systematisch auf die normierten Systeme in der Schweiz abgestimmte Untersuchungen, die Richtlinien für eine Normierung solcher Kontrollverfahren liefern können.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel des Einzelprojektes EP4 ist es, den Einsatz der zerstörungsfreien Prüfungen (ZFP) zu fördern, da so die Anzahl Probenahmen verringert und die dadurch verursachten Schäden vermieden werden. Das Einzelprojekt hat:

- Die Nachweisgrenze (Ausmass, Schwere) von Schäden (Baufehler in Beton, Schäden in bitumenhaltigen Schicht, Verbund) zu ermitteln
- Die Nachweisgrenze von Feuchtigkeit (Beton, Haftvermittler) zu ermitteln
- Die Nachweisgrenze von Verbundmängeln (fehlender Verbund versus mangelhafter Verbund, Grösse der Schadstelle) zu ermitteln
- Die möglichen Aussagen zur Oberflächenstruktur werden dargelegt
- Die Relevanz der nachweisbaren Schäden für das Funktionieren des Abdichtungssystems anhand der Ergebnisse wird aufgezeigt
- Die Eignung der untersuchten zerstörungsfreien Prüfverfahren zu evaluieren
- Empfehlungen für Einsatzbereich der verschiedenen Methoden der ZFP zu geben
- Vorschläge für Anforderungswerte aufgrund der Prüfergebnisse der Objekte und unter Analysieren der vorhandenen Daten (Einbauprotokolle, Mischgutanalysen) zu formulieren

Es sind Messkampagnen an Brücken durchzuführen, die durch Messungen an Laboraufbauten (in Zusammenarbeit mit anderen Einzelprojekten) zu ergänzen sind. Die angestrebten Aussagen werden durch den Quervergleich der Ergebnisse der anderen Einzelprojekte an den Laboraufbauten und der Daten der Objekte gewonnen.

Georadar und Thermographie sind Verfahren, die nicht weiterentwickelt werden müssen. Hingegen fehlen ausreichende Unterlagen, die es erlauben, Normanforderungen für Messungen mit diesen Geräten zu formulieren. Um diese Lücke zu schliessen, ist dazu einerseits zu definieren, welche Ergebnisse auf relevante Schäden schliessen lassen (Nachweisgrenzen) und andererseits die Beziehung zu den Ergebnissen punktueller Methoden (wie Untersuchung von Bohrkernen) herzustellen.

Die Verfahren zur Bewertung der Oberflächeneigenschaften (Laser-Profilometer und Sandflächenverfahren) sind normierte, bewährte Prüfverfahren. Der Laser-Profilometer wurde allerdings bisher vorwiegend zur Beurteilung der Textur von Verkehrsflächen verwendet; beispielsweise in Zusammenhang mit deren Rollgeräusch und oder Griffigkeitseigenschaften. Es fehlt eine breite Anwendung zur Beurteilung der Textur von Beton-Oberflächen im Hinblick auf die Applikation einer verklebten Abdichtung.

Für die Normierung stehen aber noch keine verlässlichen Grundlagen zur Bewertung dieser Informationen vor. So findet eine flächendeckende oder eine Linie abdeckende Messmethode naturgemäss viel mehr Schadstellen als eine punktuelle Messmethode. Sie können damit, unbesehen angewendet, eine erhebliche Verschärfung der Anforderungen bringen. Das kann dazu führen, dass ein unbedeutendes Restrisiko zu einem volkswirtschaftlich viel zu hohen Preis weiter reduziert wird.

2 Konzept

Die Ausschreibung des Forschungspakets sah vor, dass die Messungen auf Brücken-Objekten durchgeführt werden sollten. Eine solche Vorgehensweise hat viele Nachteile:

- Die Auswahl der Brückenabdichtungs-Systeme beschränkt sich auf die gerade in Ausführung stehenden Brückenobjekte; es dürfte daher schwierig sein eine breite Auswahl zu erhalten. Die Forschungsstelle dürfte erhebliche Schwierigkeiten haben, sich grundsätzlich unterscheidende Aufbauten innert nützlicher Frist zu finden.
- Auf Brückenbaustellen herrscht in der Regel ein hoher Termindruck; der Goodwill der Bauherrschaften müsste strapaziert werden, um genügend Zeit für die Messungen zu finden. Wiederholungen allfälliger Messungen dürften kaum möglich sein, da nicht erwartet werden kann, dass der Baufortschritt Rücksicht auf das Forschungsprojekt nimmt.
- Der Vergleich verschiedener Messungen auf unterschiedlichen Brückenobjekten dürfte nicht einfach sein, da auf viele Parameter (unterschiedliche Baustoffe, unterschiedliche Einbaubedingungen etc.) nicht Einfluss genommen werden kann.

Im Rahmen der Auftragsanalyse haben wir daher ein anderes Konzept vorgeschlagen dessen Hauptgedanke der Bau einer Versuchsplatte ist. Anstelle der Untersuchung mehrerer Objekte wurde vorgeschlagen, verschiedene Abdichtungs-Systeme auf gezielt hergestellten, unterschiedlichen Betonunterlagen möglichst praxisnah einzubauen und zu prüfen.

Es wurden drei Platten mit den Abmessungen 8 x 10 m mit unterschiedlichem Beton und unterschiedlicher Bearbeitung der Oberfläche hergestellt. Die Abb. 1 gibt einen Überblick über die Betonplatten und legt die Bezeichnungen der einzelnen Flächen fest. Die Herstellung der Betonplatten wurde durch Laboruntersuchungen (Frischbetonkontrollen) begleitet und die fertigen Platten wurden eingehend auf deren Eigenschaften untersucht.

Anschliessend wurden verschiedene Abdichtungssysteme durch Bau-Unternehmungen eingebaut, wobei die Flächen 2 x 10 m betrugen. Dies erlaubte eine Ausführung, wie sie in der Praxis vorkommt.

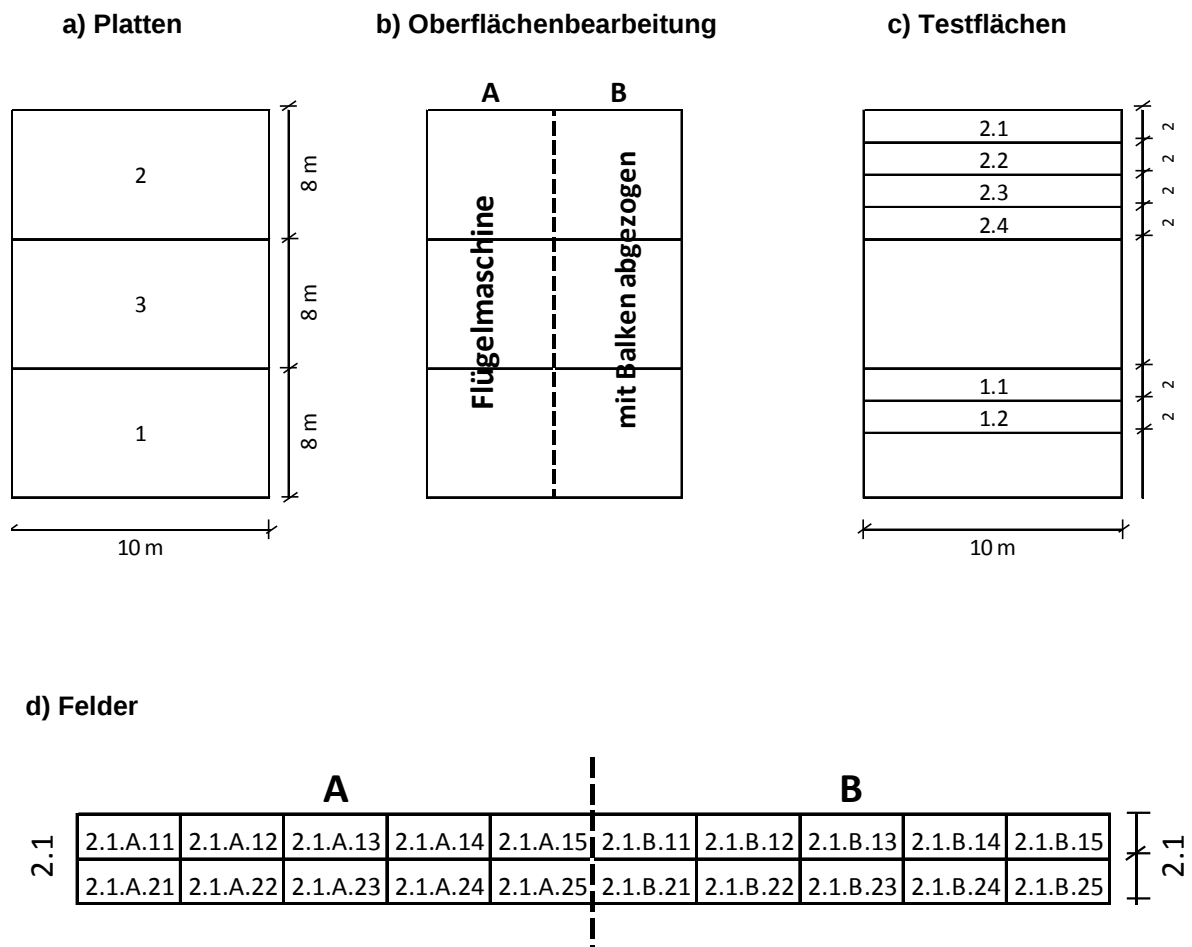


Abb. 1 Übersicht der erstellten Testflächen und deren Bezeichnungen

- a) Platten (8 x 10 m) mit unterschiedlicher Betonqualität
- b) Unterschiedliche Bearbeitung der Beton-Oberfläche
- c) Bezeichnung der Testflächen (2 x 10 m) mit verschiedenen Abdichtungen
- d) Bezeichnung der Felder (1 x 1 m) mit verschiedenen Fehlstellen

Die Platten 1, 2 und 3 wurden mit Varianten der gleichen Betonsorte (30/37) erstellt. Variiert wurde der Wasser- und Luftporengehalt (siehe 3.1). Bei jeder Platte wurde die Oberfläche mit 2 verschiedenen Techniken bearbeitet: Flügelmaschine und Vibrobalken.

Wie in Kap. 3.1 erläutert, wurde die 3. Platte als Reserveplatte verwendet.

Es wurden folgende Abdichtungen eingebaut:

Tab. 1 Übersicht über die Abdichtung der Testflächen

Testfläche	Abdichtung
1.1	PBD-Abdichtung auf bituminöser Grundierung
1.2	PBD-Abdichtung auf Epoxi Versiegelung
2.1	FLK-PU-Abdichtung auf Epoxi Grundierung
2.2	PBD-Abdichtung auf Epoxi Versiegelung
2.3	PBD-Abdichtung auf bituminöser Grundierung
2.4	PMMA-Abdichtung auf PMMA-Grundierung

Auf diese Weise entstanden 12 verschiedene Testflächen à je 2 x 5 m welche sich bezüglich Betonqualität, Beton-Oberflächenbearbeitung sowie Abdichtungssystem unterscheiden.

Die einzelnen Felder wurden für verschiedene Zwecke verwendet; einerseits zur treppenförmigen Durchführung der eingebauten Schichten; andererseits zur Herstellung von Fehlstellen. Diese Fehlstellen sollten dann mit den zerstörungsfreien Prüfverfahren geortet werden. Die Abb. 2 und Abb. 3 geben einen Überblick zu Verwendung der einzelnen Felder.

	1 m	1 m	5 m	1 m	1 m	1 m	1 m	5 m	1 m	1 m
1 m	treppenförmiger Aufbau der einzelnen Schichten Grundierung bis Gussasphalt	Prüfungen Beton	Fehlstellen 1 Beton	Fehlstellen 2 Beton	Fehlstellen 3 Beton	Fehlstellen 1 Beton	Fehlstellen 2 Beton	Fehlstellen 3 Beton	Prüfungen Beton	Reserve
1 m		Prüfungen Grundierung / Versiegelung	Fehlstellen 1 Abdichtung	Fehlstellen 2 Abdichtung	Fehlstellen 3 Abdichtung	Fehlstellen 1 Abdichtung	Fehlstellen 2 Abdichtung	Fehlstellen 3 Abdichtung	Prüfungen Grundierung / Versiegelung	Reserve
		Prüfungen Abdichtung							Prüfungen Abdichtung	

Abb. 2 Detailplanung der Felder innerhalb der Testflächen

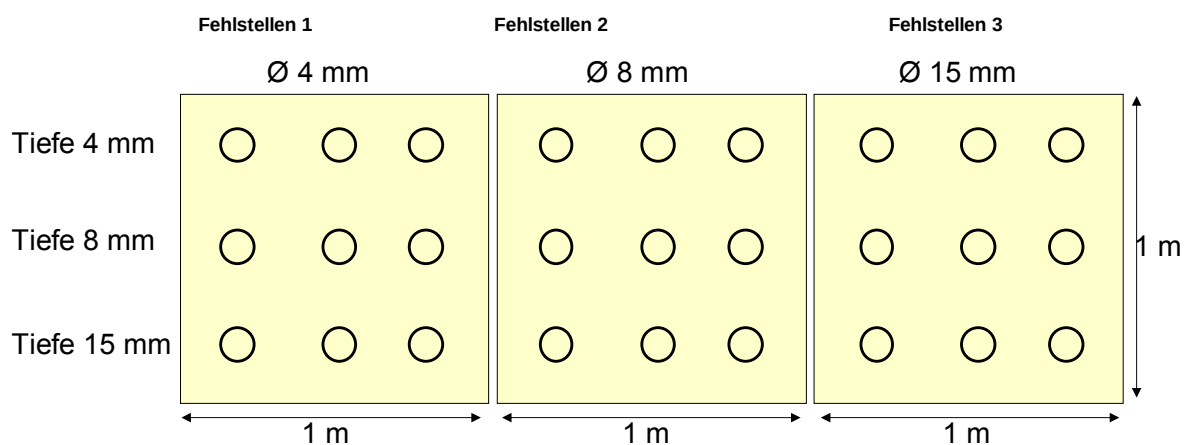


Abb. 3 Definition von Durchmesser und Tiefe der Fehlstellen

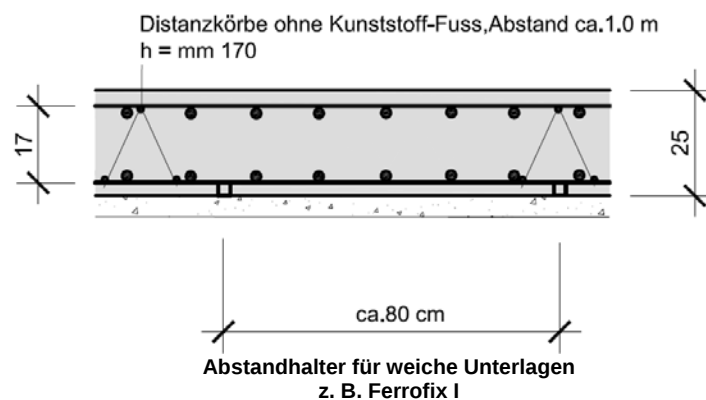
Die Fehlstellen wurden durch Bohrungen mit unterschiedlichen Bohrer-Durchmessern erstellt.

3 Herstellung der Testflächen

3.1 Betonplatten

Nachdem der Humus abgestossen war, wurde eine ca. 15 cm dicke Schicht aus ungebundenem Gemisch eingebaut und mit einer Plastikfolie abgedeckt. In der Abb. 4 „Randdetail“ ist der Aufbau schematisch aufgezeigt. Es wurden 3 Platten à 10 x 8 m, das heisst insgesamt eine totale Fläche von 24 x 10 m, betoniert. Die Platte wies eine Dicke von 25 cm auf und wurde gemäss Abb. 4 bewehrt

Querschnitt, 1 : 25



Randdetail , 1 : 25

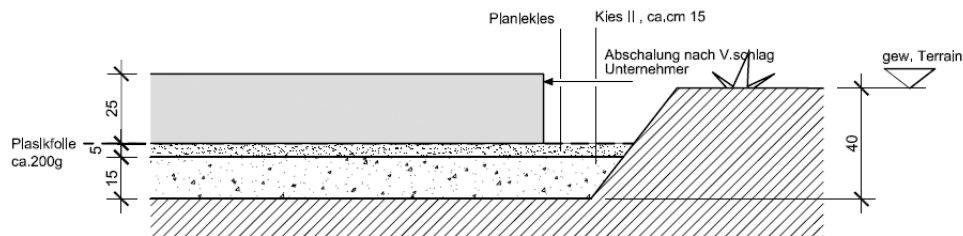


Abb. 4 Aufbau der Versuchsplatten aus Beton

Um unterschiedliche Felder bezüglich der Betonqualität zu erreichen wurde der gleiche Beton mit unterschiedlichem WZ-Faktor vorgesehen. Als Betonsorte wurde ein Beton C30/37, XC4, $D_{\max}$ 32mm gemäss SN EN 206-1 festgelegt. Als Zielgrößen für den Wasserzement-Faktor sowie den Luftporengehalt im Frischbeton wurden die Werte gemäss Tab. 2 definiert:

Tab. 2 Zielgrößen der 3 Betone

Platten-Nummer	1	2	3
WZ-Faktor	0.4	0.5	0.45
Luftporengehalt Vol.-%	Keine	6	3

Zur Erzielung unterschiedlicher Oberflächen wurde der nördliche Teil A der jeweiligen Platte mit einer Flügelmachine bearbeitet; der südliche Teil B wurde mit einem Balken abgezogen. Die Tab. 3 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Frisch- und Festbetonkontrollen.

Tab. 3 Ergebnisse der Betonprüfungen

Plattennummer	1 (West)	2 (Ost)	3 (Mitte)
Datum	9.07.2009	10.07.2009	13.07.2009
WZ-Faktor	0.40	0.42	0.41
Luftporen Vol.-%	1.1	5.4	4.0
Verdichtungsmass Walz	1.13	1.18	1.12
Temperatur Luft	14	18	22
Temperatur Beton	20	20	26
Druckfestigkeit 28-Tage [N/mm ²]	58.1	46.3	45.5

Die Abb. 5 zeigt die Betonierarbeiten der Platte 1.

Zur Betonzusammensetzung sind folgende Angaben zu vermerken:

Betonsorte: C30/37, CL 0.10
 Zementart: CEM II / A-LL 42.5 N
 Zusatzmittel: ViscoCrete 3010
 Gesteinskörnung: 0-32 mm
 Zementdosierung: 320 kg/m³
 Dosierung Zusatzmittel: 1.30 %



Abb. 5 Betonarbeiten der Platte 1

Die durchgeführten Frisch- und Festbetonprüfungen zeigten auf, dass die gewünschte Abstufung bezüglich Luftporengehalt und WZ-Faktor nicht im erwarteten Ausmass erreicht wurde. Aus diesem Grunde wurde die Platte 3 (Mitte) als Reserveplatte definiert; die Probefelder mit den entsprechenden Abdichtungs- und Brückenbelagsaufbauten werden auf den Platten 1 und 2 ausgeführt.

3.2 Kugelstrahlen der Platte

Am 7. April 2010 wurde die Vorbereitung der Betonunterlage mittels Kugelstrahlen durchgeführt.



Abb. 6 Kugelstrahlen der Betonoberfläche

3.3 Aufbau eines Schutzzeltes

Um die Ausführung der einzelnen Versuchsfelder mit einer Brückenabdichtung- und einem Brückenbelagsaufbau unabhängig von der Witterung ausführen zu können und auch um die entsprechenden Prüfungen zeitgerecht durchführen zu können, wurde die gesamte Platte von 10 x 24 m mit einem Schutzzelt vor den Witterungseinflüssen geschützt, wie auf Abb. 7 zu sehen ist.



Abb. 7 Aufbau des Schutzzeltes (Bild 5301 und 5303) am 7. April 2010

3.4 Qualitätskontrollen Betonuntergrund

Tab. 4 Übersicht der Untersuchungsergebnisse am Betonuntergrund

Testfläche	Stichwort	Haftzug N/mm ²	Feuchtigkeit		Rautiefe mm	Porosität Luftporen Vol.-%	Torrent Luftpermeabilität 10E-16m ²
			CM Masse-%	Troxler Masse-%			
1.1. A	PBD-Bit	3.77	2.2*	5.5	0.5	1.4*	0.003
1.2. A	PBD/EP	2.95	2.2°	5.6	0.5	1.4°	0.003
1.1.B	PBD/Bit	3.45	2.8*	6.0	0.6	2.2*	0.009
1.2.B	PBD/EP	4.62	2.8°	5.8	0.8	2.2°	0.009
2.1.A	FLK PU	2.82°	2.4°	5.8	0.6*	5.8°	0.011
2.2 A	PBD-EP	2.82*	2.4*	5.8	0.5*	5.8*	0.014
2.3.A	PBD-Bit	2.82°	2.4°	5.4	0.5*	5.8°	
2.4.A	PMMA	2.82°	2.4°	5.7°	0.5°	5.8°	
2.1.B	FLK PU	2.39°	2.8°	5.5	0.7*	4.0°	0.008
2.2 B	PBD-EP	2.39*	2.8*	5.5	0.7*	4.0*	0.003
2.3.B	PBD-Bit	2.39°	2.8°	5.6	0.7°	4.0°	
2.4.B	PMMA	2.39°	2.8°	5.5°	0.7°	4.0°	

* Wert gemessen

° Wert angenommen, da gleiche Betonplatte

Die Ergebnisse werden wie folgt beurteilt:

Die Haftzugfestigkeit der Betonoberfläche erfüllt die Anforderungen an einen Betonuntergrund für eine Abdichtung mit Verbund gemäss SN 640 450 „Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken“ [1].

Der Feuchtigkeitsgehalt (CM-Methode) liegt mit Werten kleiner 3.0 Masse-% unterhalb der kritischen Grösse (3.5 bis 4. Masse-%) für Abdichtungen mit Verbund. Die vorgesehenen Abdichtungssysteme können eingebaut werden.

Auch die Rautiefen liegen mit Werten von 0.5 bis 0.8 mm im Bereich, in welchem keine baulichen Massnahmen (Aufrauen oder applizieren eines Rauigkeitsausgleich) erforderlich sind.

Auffallend ist, dass der Beton der Platte 2 – im Vergleich zur Platte 1 – eine wesentlich höhere Porosität aufweist, dass in der Luftpermeabilität hingegen kein markanter Unterschied festgestellt werden kann. Da die Luftpermeabilität mehr von den oberflächennahen Poren beeinflusst wird, die Porosität hingegen den Gesamtgehalt an Poren wiedergibt, muss jedoch nicht zwangsläufig ein Zusammenhang dieser beiden Kenngrössen bestehen.

3.5 Einbau Abdichtung und Belag

3.5.1 Übersicht

Die Tab. 5 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Aufbauten.

Tab. 5 Gewählte Aufbauten Brückenabdichtung und Belag

Teilfläche	Beton-vorbereitung	Grundierung	Versiegelung	Abdichtung	Schutzschicht
1.1	Kugelstrahlen	Bit.	-	PBD	MA3)
1.2	Kugelstrahlen	EP	EP	PBD1)	MA1)
2.1	Kugelstrahlen	EP	-	FLK	MA3)
2.2	Kugelstrahlen	EP	EP	PBD	MA3)
2.3	Kugelstrahlen	Bit.	-	PBD	MA3)
2.4	Kugelstrahlen	PMMA	-	PMMA	MA2)

1) Beim Feld 1.2 wurde nur das halbe Feld mit PBD und Gussasphalt abgedeckt; bei der 2. Hälfte wurde die Epoxydversiegelung nicht abgedeckt.

2) Gussasphaltsorte der Firma Aeschlimann

3) Gussasphaltsorte der Firma Walo Bertschinger

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
 - Bituminöse Grundierung:
Voranstreich 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, Schichtdicke 35 mm; Erstprüfung; Schichtdicke 35 mm

3.5.2 Einbau Feld 2.1 (EP / FLK PU / MA)

Auf dem Feld 2.1. wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- 09.04.2010 EP-Grundierung durch Sika
- 12.04.2010 FLK PU Abdichtung durch Sika
- 26.04.2010 IMP erstellt Fehlstellen in der Abdichtung
- 26.04.2010 Applikation eines Schmelzklebers
- 28.04.2010 Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht durch Walo Bertschinger



Abb. 8 Applikation der Epoxidharz-Grundierung mit Lammfellroller



Abb. 9 Aufspritzen der Abdichtung aus Flüssigkunststoff FLK PU

3.5.3 Einbau Feld 2.2 (EP / PBD / MA)

Auf dem Feld 2.2. wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- 09.04.2010 EP-Grundierung durch Sika
- 12.04.2010 EP-Versiegelung durch Sika
- 15.04.2010 PBD-Abdichtung durch Aeschlimann AG
- 26.04.2010 IMP erstellt Fehlstellen in der Abdichtung
- 28.04.2010 Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht durch Walo Bertschinger



Abb. 10 Applikation der PBD-Abdichtung

3.5.4 Einbau Feld 2.3 (BIT. / PBD / MA)

Auf dem Feld 2.3. wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- 09.04.2010 bituminöse Grundierung durch Aeschlimann AG
- 15.04.2010 PBD-Abdichtung durch Aeschlimann AG
- 26.04.2010 IMP erstellt Fehlstellen in der Abdichtung
- 28.04.2010 Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht durch Walo Bertschinger

3.5.5 Einbau Feld 2.4. (PMMA / MA)

Auf dem Feld 2.4. wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- 08.04.2010 1. Schicht PMMA durch Aeschlimann AG
- 09.04.2010 2. Schicht PMMA durch Aeschlimann AG
- 26.04.2010 IMP erstellt Fehlstellen in der Abdichtung
- 26.04.2010 Applikation Schmelzkleber
- 27.04.2010 Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht durch Aeschlimann AG



Abb. 11 Aufspritzen der PMMA-Flüssigkunststoff-Abdichtung

3.5.6 Einbau Feld 1.1 (bit. Grundierung / PBD / MA)

Auf dem Feld 1.1. wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- 09.04.2010 bituminöse Grundierung durch Aeschlimann AG
- 15.04.2010 PBD-Abdichtung durch Aeschlimann AG
- 26.04.2010 IMP erstellt Fehlstellen in der Abdichtung
- 28.04.2010 Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht durch Walo Bertschinger

3.5.7 Einbau Feld 1.2 (EP / PBD / MA)

Auf dem Feld 2.2. wurden folgende Arbeiten ausgeführt:

- 09.04.2010 EP-Grundierung durch Sika
- 12.04.2010 EP-Versiegelung durch Sika
- 15.04.2010 PBD-Abdichtung durch Aeschlimann AG
- 26.04.2010 IMP erstellt Fehlstellen in der Abdichtung
- 28.04.2010 Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht durch Walo Bertschinger

3.6 Herstellung der Fehlstellen

Um die Nachweisgrenzen der verschiedenen zerstörungsfreien Prüfmethoden zu evaluieren wurden definierte Fehlstellen an festgelegten Orten in die Betonoberfläche beziehungsweise in die Abdichtung gebohrt.

Um Durchmesser und Tiefe der Fehlstellen festzulegen wurden im Rahmen eines Vorversuches folgende Parameter untersucht:

- Durchmesser der Bohrung: 2 mm / 5 mm / 15 mm
- Tiefe der Bohrung: 2 mm / 5 mm / 15 mm

Diese Hohlstellen wurden mit einer Polymerbitumendichtungsbahn abgedeckt.

Mit der Thermografie wurden die Fehlstellen gesucht. Es stellte sich heraus, dass keines der Prüfverfahren in der Lage war, die Hohlstellen mit einem Durchmesser von 2 mm wieder zu finden. Aus diesem Grunde wurden Durchmesser beziehungsweise Tiefe der Bohrungen zu 4, 8, 15 mm festgelegt. Die Bohrungen wurden mit einer Schablone in einem gleichbleibenden Raster an vordefinierten Feldern in die entsprechende Schicht gebohrt. Abb. 3 zeigt die Detailplanung eines Feldes.

Die Hohlstellen wurden bezüglich ihrer Höhe an 2 unterschiedlichen Orten gebohrt:

Einerseits wurden die Hohlstellen im Betonuntergrund erstellt und dann mit der Abdichtung sowie der Schutzschicht überdeckt.

Andererseits wurden die Hohlstellen nach der Applikation der Abdichtung in diese Schicht gebohrt und danach mit der Schutzschicht aus Gussasphalt überzogen. Abb. 12 zeigt schematisch die Höhenlage der Hohlstellen.

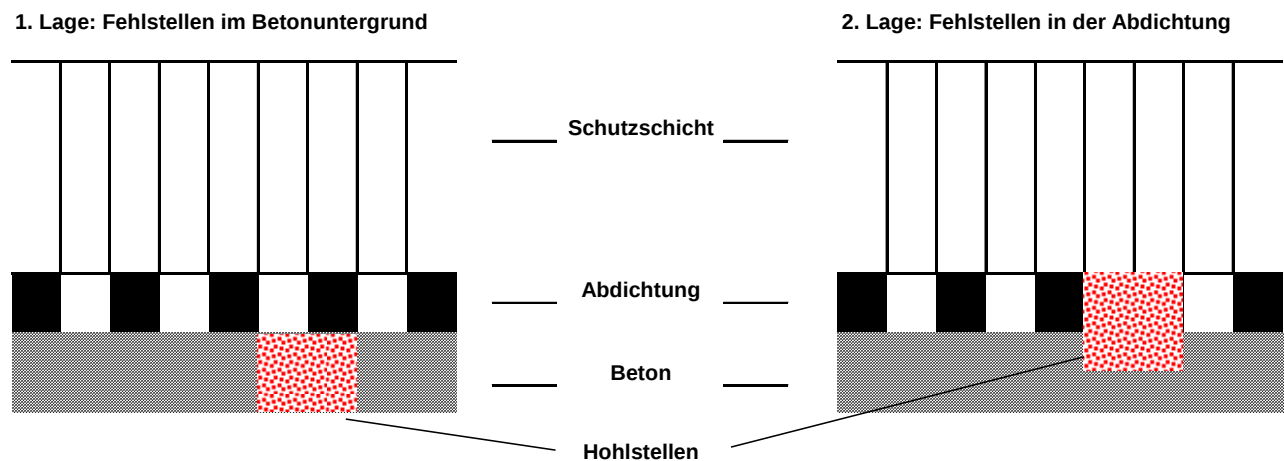


Abb. 12 Schematische Darstellung der Höhenlage der gebohrten Hohlstellen

In der Abb. 14 ist die verwendete Schablone abgebildet. Mittels Schnurschlag wurden die einzelnen Probefelder in 1 x 1 m grosse Quadrate eingeteilt. In die festgelegten Quadrate wurden mittels Schablone die Hohlstellen gebohrt.

Damit die gebohrten Hohlstellen auch tatsächlich hohl bleiben, mussten Massnahmen getroffen werden, da ansonsten die Haftkleber (auf Bitumenbasis oder auf Epoxydharzbasis) die Hohlstellen verfüllt hätten. Die Hohlstellen wurden mit einem textilen Klebeband abgeklebt (siehe Abb. 15). Bei den Feldern, auf denen eine Polymerbitumendichtungsbahn aufgeflämmt werden sollte, wurden die Fehlstellen zusätzlich mit einer Bitumenschicht vor der direkten Einwirkung der Flamme während dem Aufkleben geschützt. (siehe Abb. 15).



Abb. 13 Markierung der einzelnen Felder auf der Betonoberfläche



Abb. 14 Schablone zum Bohren der Hohlstellen

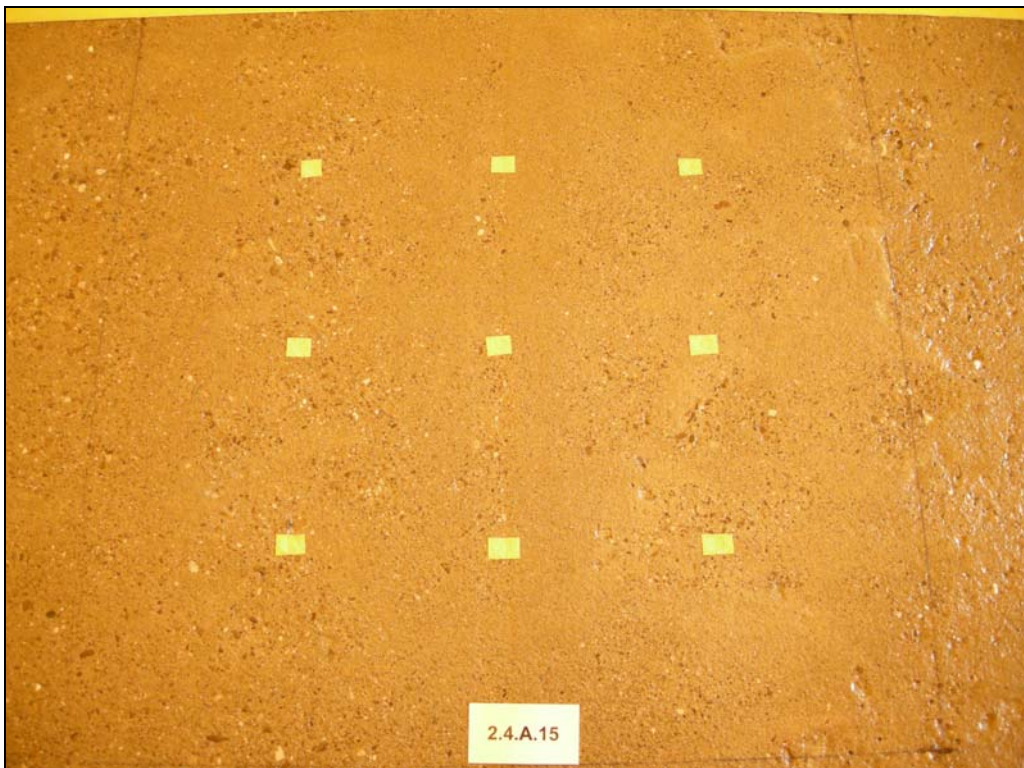


Abb. 15 Abkleben der Hohlstellen um zu verhindern, dass sie durch den Auftrag des Haftklebers verfüllt werden.

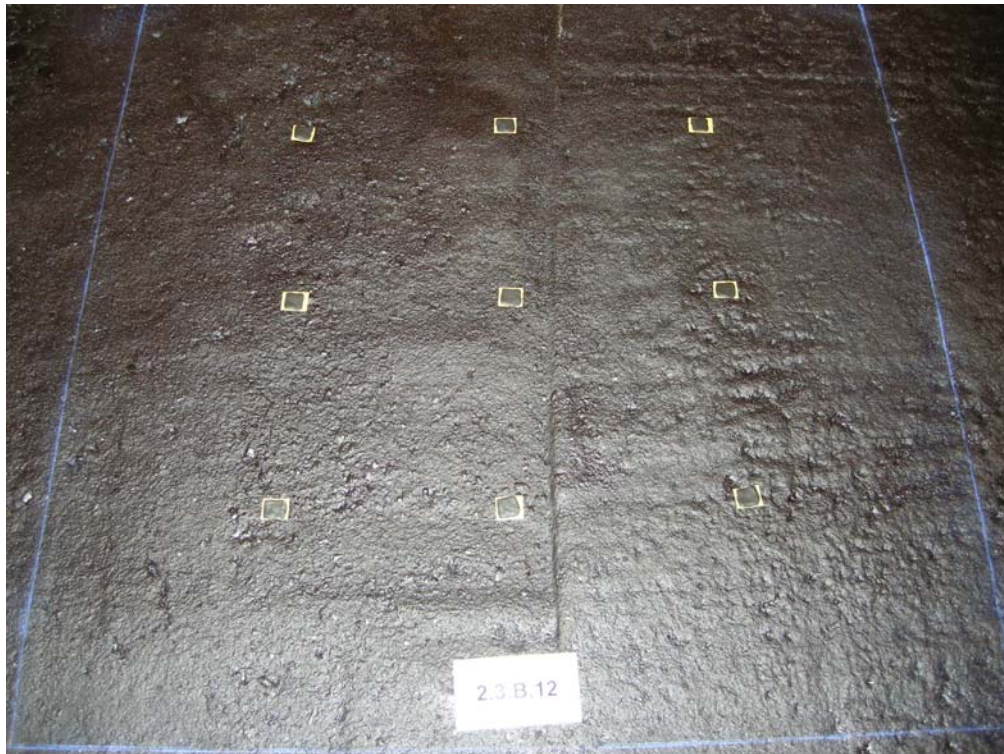


Abb. 16 Um zu verhindern, dass beim Aufklappen der PBD die Abklebung verbrannt wird, wurde die Abbildung mit einer Bitumenschicht geschützt. Kugelstrahlen Platte

3.7 Qualitätskontrollen Abdichtungen

3.7.1 EP-Grundierung bzw. Versiegelung

Tab. 6 Ergebnisse der Qualitätskontrollen auf der Epoxidharz-Grundierung (bei FLK) bzw EP-Versiegelung (bei PBD)

Platten-Nr.	Aufbau	Haftzugfestigkeit; Mittelwert einer 3-er Serie	Rautiefe (Sandflächen-Verfahren)
		N/mm ²	mm
1.2. A	PBD auf EP-Versiegelung	4.97	0.3
1.2.B	PBD auf EP-Versiegelung	5.12	0.4
2.1.A	FLK PU auf EP-Grundierung	2.56	
2.1.B	FLK PU auf EP-Grundierung	3.28	
2.2 A	PBD auf EP-Versiegelung	1.4	0.4
2.2 B	PBD auf EP-Versiegelung	2.44	0.4

Die Anforderungen an die Haftzugfestigkeit der Grundierung und der Versiegelung werden erfüllt. Die Rautiefe ist relativ gering, es wurde trotzdem auf eine Aufrauung verzichtet.

3.7.2 PBD Abdichtung

Tab. 7 Ergebnisse der Qualitätskontrollen auf den PBD-Abdichtungen

Platten-Nr	Aufbau	Schälzugprüfung		Haftzugprüfung	
		Mittelwert	Temperatur der Unterlage	Mittelwert	Temperatur der Unterlage
		N/mm	°C	N/mm ²	°C
1.1. A	PBD auf bituminöser Grundierung	3.1	18.4	0.9	10
1.1.B	PBD auf bituminöser Grundierung	2.9	18.6	0.95	13
1.2. A	PBD auf EP-Versiegelung	8.3°		1.33	10
1.2.B	PBD auf EP-Versiegelung	8.3°		1.02	13
2.2 A	PBD auf EP-Versiegelung	8.3	18.3	1.16	12
2.2 B	PBD auf EP-Versiegelung	8.3°		1.08	
2.3.A	PBD auf bituminöser Grundierung	3	18.2	0.82	12
2.3.B	PBD auf bituminöser Grundierung	4.2	18.8	0.94	12

° Wert angenommen, da gleiche Unterlage

Die Untersuchungsergebnisse erfüllen die Anforderungen sowohl für den Schälzug- als auch für den Haftzugversuch.

Zur Erinnerung sei an dieser Stelle erwähnt, dass die Buchstaben der Platten-Nr auf eine unterschiedliche Bearbeitung der Betonoberfläche hinweisen (Propeller / Vibrationsbalken). Diese Unterschiede wirken sich in der Zwischenschicht Grundierung / Abdichtung nicht aus. Daher wurden in der Tabelle bei einigen Platten die Werte anderer Platten eingefügt und zur Nachvollziehbarkeit mit einem Index (°) versehen.

Zudem wurden die PBD-Flächen mit dem Laubrechen-Verfahren auf Hohlstellen geprüft; es wurden keine Hohlstellen festgestellt.

3.7.3 FLK Abdichtungen

Tab. 8 Ergebnisse der Qualitätskontrollen auf den FLK-Abdichtungen

Platte	Aufbau	Haftzugprüfung		Schälzugprüfung	
		Mittelwert einer 3-er Serie	Temperatur	Mittelwert einer 3-er Serie	Temperatur
		N/mm ²	°C	N/mm	°C
2.1.A	FLK PU auf EP-Grundierung	1.94	19	1.3	13.4
2.1.B	FLK PU auf EP-Grundierung	1.94°		1.3°	
2.4.A	PMMA	2.17	19	2.7	13.8
2.4.B	PMMA	1.34	19	4.2	16.5

° Wert angenommen, da gleiche Unterlage

Die Untersuchungsergebnisse erfüllen die Anforderungen sowohl für den Schälzug- als auch für den Haftzugversuch.

3.8 Qualitätskontrollen Gussasphalt

Tab. 9 Ergebnisse der Qualitätskontrollen des eingebauten Gussasphaltes MA 11

IMP Nr		10-02123-001
Bindemittelsorte		B 35/50
lösl. Bindemittelgehalt	[Masse.-%]	6,61
Füllergehalt	[Masse.-%]	21,4
Durchgang 2.0 mm	[Masse.-%]	44,4
Durchgang 4 mm	[Masse.-%]	57,8
Durchgang 11 mm	[Masse.-%]	97,3
statische Eindringtiefe; 30 Min	[mm]	2,0
dynamische Eindringtiefe; 2500 Zyklen	[mm]	2.06

Auf den Feldern wurde als Schutzschicht ein Gussasphalt MA 11 eingebaut dessen Zusammensetzung und Eigenschaften in der Tab. 9 zusammengefasst sind.

4 Messverfahren für Zerstörungsfreie Prüfungen

4.1 Infrarot- Verfahren (Thermografie)

Das sichtbare Licht, einer der wichtigsten Informationsträger für den Menschen, ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem gesamten elektromagnetischen Spektralbereich. Die Thermografie ist ein Verfahren, das von Auge nicht sichtbare Infrarotstrahlung in ein Bild umwandelt und auf diese Art und Weise „Wärmeabstrahlungen“ sichtbar macht. „Wärmebilder“ (Thermogramme) sind unter definierten Bedingungen „Temperaturbilder“.



Abb. 17 Wärmebildkamera mit Auswertung am Monitor

Wärmebildsysteme arbeiten im Spektralbereich von 3 – 5 μm oder von 8 – 14 μm . Sie sind entweder standardmässig mit einem thermoelektrischen Kühler ausgestattet oder benötigen keine Kühlung und erfassen die von einem Gegenstand abgestrahlte Energie völlig berührungslos, ohne Auswirkung auf das Messobjekt. Die Abstrahlung im Blickfeld der Wärmebildkamera wird über eine Optik dem Sensor zugeführt und auf einem Monitor dargestellt. Die Software erlaubt die Auswertung erfasster oder abgespeicherter Daten nach Standardfunktionen.

Im Unterschied zur aktiven Thermografie, bei welcher der untersuchte Bauteil mit einer Wärmequelle bestrahlt wird, erfolgt bei der passiven Thermografie keine Wärmezufuhr.

Um Fehlstellen oder Inhomogenitäten im zu untersuchenden Bauteil festzustellen, müssen bei der passiven Thermografie Informationen zum zeitlichen Verhalten des Bauteils als Folge der Sonneneinstrahlung vorliegen, weil anders keine Beurteilung möglich ist.

Ausgewertet werden die zeitabhängigen Temperaturänderungen die sich aufgrund der Sonnen- Einstrahlung ergeben. Die Signale unterscheiden sich an den Orten der Fehlstellen von den Signalen der Umgebung. Die Temperaturgradienten zwischen einer Fehlstelle und dem Nebenumfeld der Fehlstelle haben im Abkühlungszeitraum einen maximalen Temperaturkontrast.

Typischerweise erscheinen tief liegende Fehler zu einem späteren Zeitpunkt und mit geringerem Temperaturkontrast. Dabei werden zum Beispiel Hohlstellen als wärmere Bereiche und Feuchtigkeit (im Inneren oder an der Oberfläche) als kältere Bereiche sichtbar.

Die Thermografie ermöglicht die Ortung von Inhomogenitäten und verdeckten Strukturen innerhalb eines Körpers, sofern sich die thermischen Materialeigenschaften unterscheiden.

den. Je tiefer eine Fehlstelle oder eine Struktur im Bauteil liegt, umso später wird sie sichtbar und umso kontrastärmer zeichnet sie sich ab.



Abb. 18 Vermessen der Aufnahmestandorte für die Erstaufnahmen mit der IR-Kamera.

Bei den ersten Aufnahmen wurden die Sonnenstrahlung als Pulsquelle verwendet. (Absorption im Sonnenspektrum und Emission im IR- Spektrum). Bei den erstellten Aufnahmen wurde allein die Eigenstrahlung des Objektes detektiert und zur Auswertung aufbereitet. Die „Aktive Thermografie“ oder „Phasen-Puls-Thermografie“ wurden nicht angewendet.

Für die Beton-Oberflächen vor dem Einbau der Abdichtung wurden Aufnahmen aus spitzen Winkel durchgeführt. Die einzelnen Felder sind in dieser Perspektive gross genug um Wärmeabstrahlungsunterschiede zu zeigen. Für IR- Aufnahmen weisen Aufnahme-winkel $\pm 10^\circ$ bis $\pm 35^\circ$ weniger Reflektionen auf. Bei den Aufnahmen die nach den einzelnen Arbeitsschritten notwendig waren, wurden „Schrägaufnahmen“ erstellt sowie partiell Aufnahmen aus fast vertikaler Richtung. Mit der IR- Kamera wurde bei den Vertikal-aufnahmen ein Feld von 1,0 x 1,2 m ($45^\circ \times 25^\circ$) erfasst.

4.2 Bau Radar-Verfahren

Verfahren zur Bestimmung von Strukturen oder zur Detektion von Objekten im Untergrund eines Bauwerks aufgrund der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen.

Das Georadar beruht auf der Aussendung elektromagnetischer Wellen in einem Medium, in Form von Impulsen mit Frequenzen im Bereich von ca. 20 MHz bis 2 GHz. Auf seinem Weg durch das Bauteil wird das Radarsignal gestreut, reflektiert und gebeugt sowie durch Absorption in hohem Maße geschwächt. Das zurück kommende Signal wird vom Empfänger erfasst. Die Wellenausbreitung hängt von den elektrischen Materialeigenschaften ab. Wesentlich hierfür sind die Dielektrizitätskonstante ϵ und die Leitfähigkeit σ .

Die Reflexionsanordnung wird bei gängigen Radarmessungen verwendet wobei Reflexionen an Kontrasten statt finden. Die Geschwindigkeit der Wellen ist von der Dielektrizitätskonstante des Materials abhängig, die Radarreichweite von der Leitfähigkeit. Niederfrequente Signale (unter 1 GHz) haben eine grössere Reichweite als hochfrequente Signale.

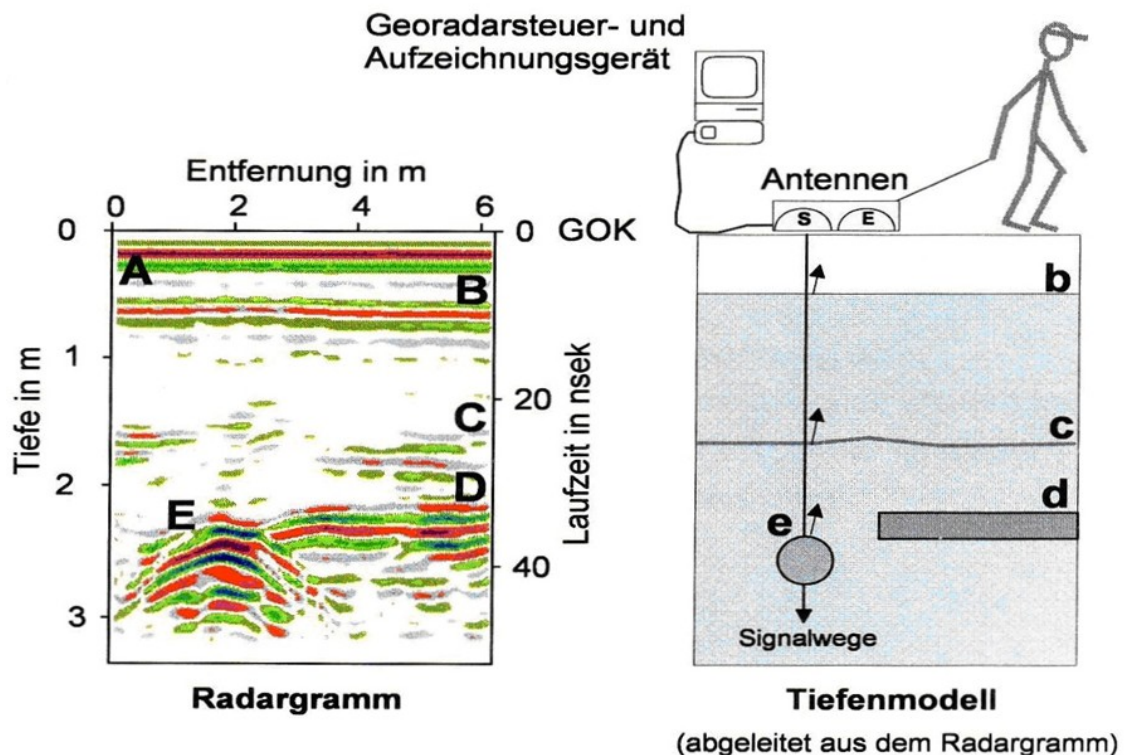


Abb. 19 Funktionsprinzip einer Georadarmessung (S: Sender; E: Empfänger)

Sende-Empfangsantennen-Kombinationen für geotechnische und ingenieurmässige Anwendungen haben in der Regel getrennte Sender und Empfänger. Der Reflektorabstand (z.B. ab Objektoberkante) berechnet sich aus der Wellengeschwindigkeit und der Laufzeit t des Signals. Je kleiner die Antennen umso höher die Arbeitsfrequenz, je höher die Arbeitsfrequenz je geringer ist die Eindringtiefe im Bauteil. Die Auswertung der erfassten Signale erfolgt über eine spezielle Auswertesoftware.

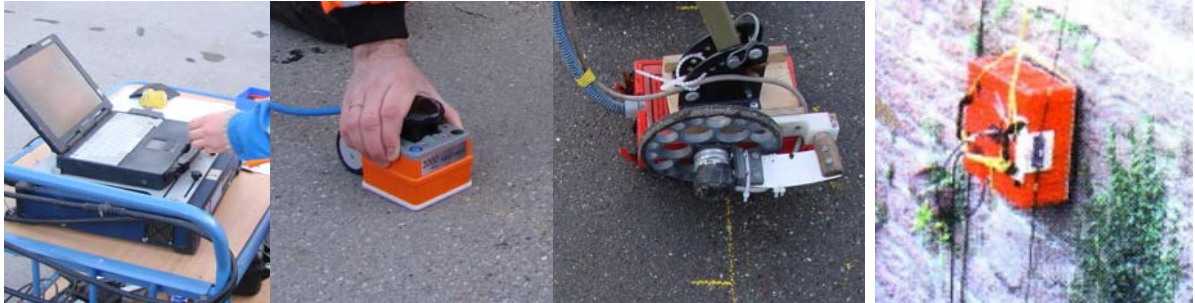


Abb. 20 Geräte des Radar-Verfahrens; Aufzeichnungseinheit (links) und die verschiedenen Antennen.

Zur Datenaufnahme wird eine Sender-Empfänger-Kombination entlang einer Messlinie geführt. Zur Erfassung einer Fläche werden einzelne, parallele Messlinien angeordnet. Meist können die Daten dabei am Bildschirm beobachtet werden. (Messpunktabstand einige mm bis einige cm).

Registriert wird die Signalamplitude in Abhängigkeit der Zeit. Die Amplitude wird grau- oder farbcodiert dargestellt. Durch Aneinanderreihung der Signalspuren erhält man ein Diagramm, in dem die Entfernung entlang der Messlinie über der Laufzeit aufgetragen ist. Im Radargramm zeigen sich die reflektierenden Strukturen als mehr oder weniger starke Signale. Im Allgemeinen überwiegt bei Georadar die Betrachtung von nahezu vertikal ausgesandten und reflektierten Signalen, jedoch erlaubt eine räumliche Trennung von Sender und Empfänger die Aufzeichnung von unter verschiedenen Winkeln reflektierten Signalen oder die Durchstrahlung des Untersuchungsobjektes

Unverarbeitete Radargramme setzen sich aus dem Primärsignal, dem Nutzsignal und dem Störsignal zusammen. Die Datenverarbeitung dient der Hervorhebung des Nutzsignals, der Entzerrung der Wegmessung sowie der Umwandlung der Laufzeit in eine Tiefenangabe.

In diesem Projekt wurde eine Frequenz von 1.4 GHz verwendet

4.3 Ultraschall-Verfahren

Die Ultraschall Phased-Array-Technik (Gruppenstrahlertechnik) wird in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung an Metallen und Kunststoffen schon lange erfolgreich eingesetzt. Durch die zeitlich gesteuerte Anregung der einzelnen Wandlerelemente des Arrays kann das Schallbündel im Probekörper „verschoben“, „geschwenkt“ und/oder „fokussiert“ werden.

Die notwendigen Verzögerungen der Sendespannungen zur Schallbündelsteuerung wird durch kommerziell erhältliche Komponenten erreicht. Die Hardware besteht aus der Leistungsendestufe und dem Interface zwischen einem Rechner und dem Messkopf.

Das Phased-Array-Gerät besteht aus dem Processor mit der Baugruppe für die Zeitsteuerung und einem externen Leistungsteil. Es sind 12 Ultraschallprüfköpfe und 12 Empfänger im Messkopf eingebaut.

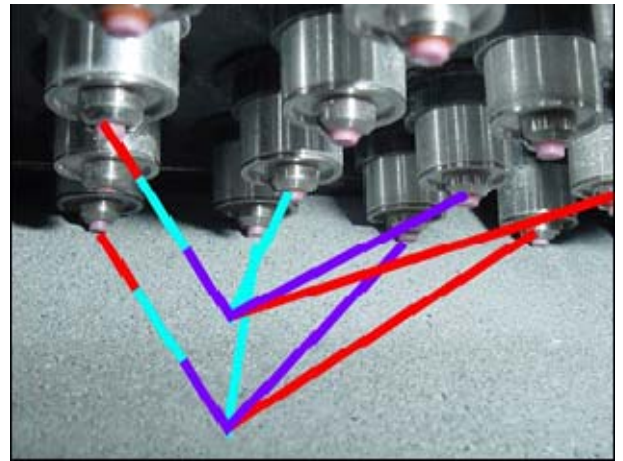


Abb. 21 Geräte des Ultraschall-Verfahrens; Speichergerät (links) und Messkopfeinheit (rechts).

Die 12 Sender und Empfänger liefern ein räumliches Schallbild aus dem Innern eines Bauteils.

Die Sender- /Empfänger-Einheit wird manuell oder mit einer Einrichtung in x- und y- Richtung über die Oberfläche geführt, sodass die erfassten Daten in einen Plan übertragen werden können.

Untenstehend werden die Daten des verwendeten Messgerätes aufgeführt:

Gerätebedingte maximale Betondicke:	3500mm
Minimale Größe eines Luftzylinders:	12mm
Ungenauigkeit der gemessenen Tiefe:	10%
Frequenzbereich (Mittenfrequenzen):	15-250kHz
Anzeige:	LCD mit 320 x 240 Punkten
Stromversorgung:	eingebauter Akkumulator

4.4 Schallanalyse-Verfahren

Risse, Hohlräume oder Loslösungen in Festkörpern liefern ein charakteristisches akustisches Signal. Die Signale werden mit piezokeramischen Sendern erzeugt und wieder erfasst, aufgezeichnet und analysiert.

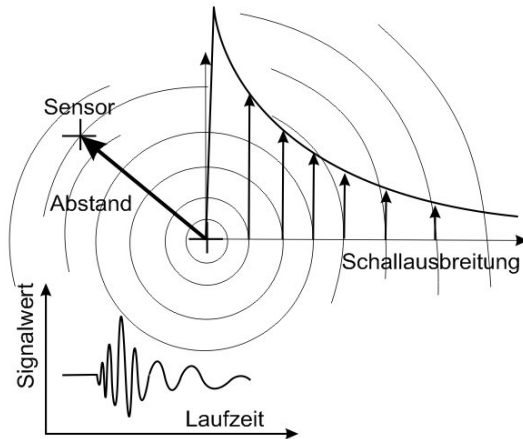
Zur Beurteilung eines Untergrundes werden akustische Signale im hörbaren Frequenzbereich ausgesendet. In der Folge wird das zurückreflektierte Signal aufgenommen und ausgewertet.

Fehler wie Risse, Porosität, Schichtentrennung und Gefügeveränderungen, wirken sich auf das Schwingungsverhalten und auf die Dämpfung von akustischen Wellen aus.

Bei der Anwendung der Methode wird dem Bauteil eine akustische Schwingung mit einem Piezoquarz aufgezwungen und die sich daraus ergebende Schwingung in einem definierten, gleichbleibenden Abstand gemessen. Gemessen werden die Laufzeit der Schwingung und das gedämpfte Signal zwischen dem Sensor und dem Empfänger in einem definierten Abstand. In der Geophysik wird die Analyse dieser akustischen Emission auch Mikroseismik genannt.

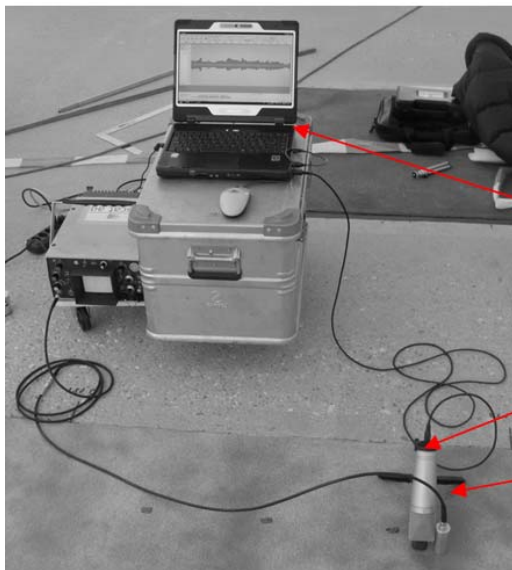
Das Verfahren erlaubt eine schnelle, vollflächige Prüfung, ist aber nicht geeignet, um die Art eines Fehlers zu identifizieren. Die Messwerte unterliegen verschiedenen Einflüssen die von Fall zu Fall zu bewerten sind (Feuchte, Masse). Mit der akustischen Schwingungsanalyse werden Veränderungen im Material oder Hohlräume (zum Beispiel Schichttrennung) festgestellt. Ist ein Hohlraum vorhanden, kommt es von dieser Zone aus zur

Ausbreitung einer Schwingung die mit geeigneten Sensoren aufgenommen, verstärkt und analysiert werden kann.



Das Grundsignal am „ungestörten“ Bauteil (siehe Kurve im Bild nebenan) wird mit Hilfe empfindlicher Schalldruck-sensoren erfasst. Diese „Geräusche“ werden laufend verglichen und analysiert. Bei einem Hohlraum verändert sich das Schwingungsverhalten deutlich. Bei richtiger Systemauslegung werden kaum Störsignale aus der Umgebung gemessen.

Abb. 22 Funktionsprinzip der Schallanalyse



Datenaufzeichnung

Schalldruckempfänger

Schalldruckgeber
(Piezoquarz-Schwinger)

Abb. 23 Geräte des Schallanalyse-Verfahrens

Das auf der Schallanalyse basierende, zerstörungsfreie Verfahren zur Untersuchung von Gefügestörungen wird in vielen Anwendungsbereichen für diverse Zwecke verwendet. Eine generelle Beschreibungen des Verfahrens, dessen Anwendung und der Methodik ist in [14], [15] zu finden.

5 Messergebnisse

5.1 Messprogramm

Die zerstörungsfreien Prüfmethode wurden in verschiedenen Phasen der Herstellung des Brücken-Abdichtungssystems angewendet, um herauszufinden, ob sie die künstlich erzeugten Fehlstellen erkennen können:

- Messung auf dem Betonuntergrund
- Messungen auf der Abdichtung
- Messungen nach dem Einbau der Schutzschicht aus Gussasphalt

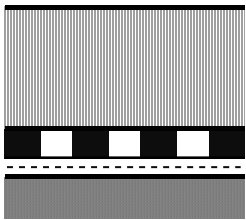
Messprogramm			
Prüfmethode	geprüfter Aufbau		
	Beton-Untergrund	Abdichtung	Gussasphalt
			
Radar			X
IR (Thermografie)	X	X	X
Ultraschall			X
Schallanalyse		X	

Abb. 24 Übersicht über die durchgeführten zerstörungsfreien Messungen in den verschiedenen Bauphasen einer Brücken-Abdichtung.

Alle Verfahren sind unter realen Bedingungen, wie diese in der Praxis angetroffen werden, eingesetzt worden. Dies bedeutet, dass versucht wurde, mit einem vertretbaren Aufwand einfach erfassbare und leicht interpretierbare Resultate zu erzeugen.

5.2 Messungen auf der Betonunterlage

Am 07.04.2010 wurden Messungen auf den Testflächen durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren noch keine Abdichtungsprodukte appliziert worden. Die Betonoberfläche war zum Zeitpunkt der Messungen bereits mit dem Kugelstrahlverfahren vorbereitet worden.

Auf der Betonunterlage wurden nur Messungen mit dem IR-Verfahren durchgeführt.

Die Oberfläche der Platte 1, 2 und 3 mit unterschiedlicher Betonqualität wurde hälftig mit einem Vibrobalken, hälftig mit einer Flügelmachine bearbeitet. Die so entstandenen Teilflächen von 5 x 8 m wurden in einzelne Felder von 1 x 1 m unterteilt, in denen unterschiedliche Fehlstellen eingebaut wurden (siehe Kapitel 2).

5.2.1 IR-Messungen auf Platte 1

Als Beispiel sind ein Normalbild und eine IR-Aufnahme in Schwarz/Weiss-Darstellung einander in Abb. 25 gegenübergestellt. Dunkle Zonen in der IR-Aufnahme entsprechen tieferen Temperaturen.

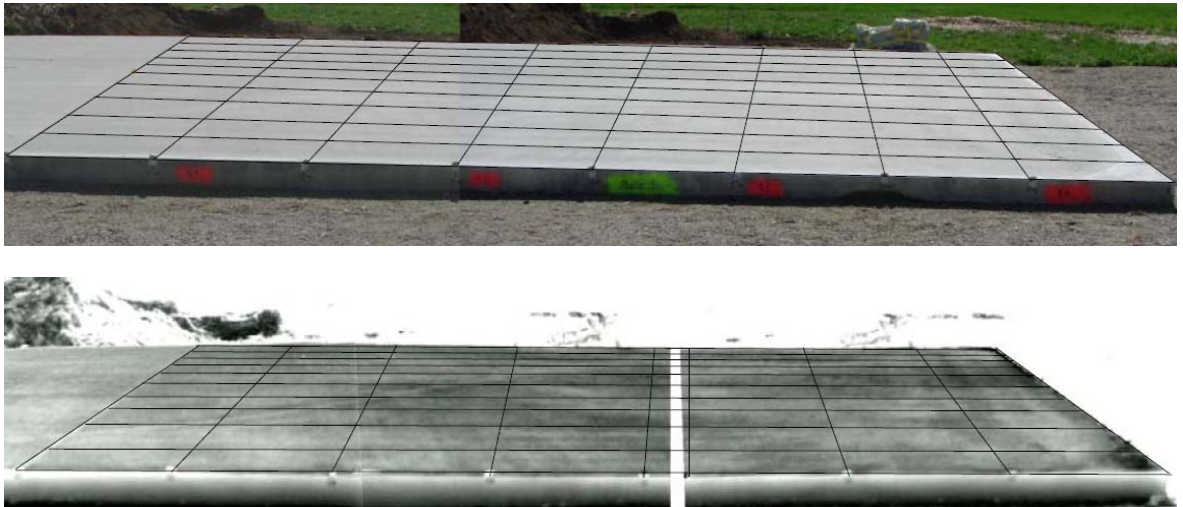
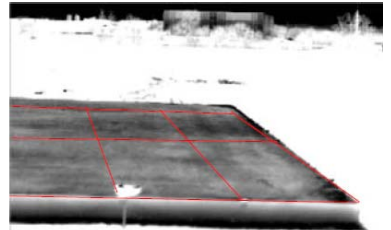
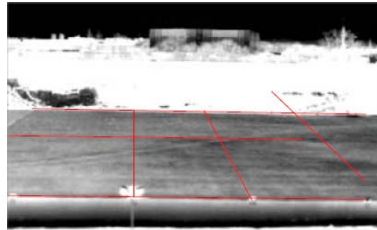
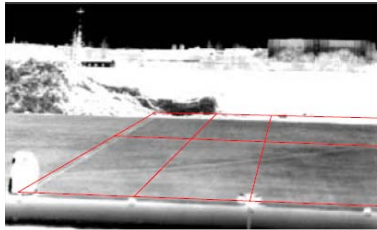
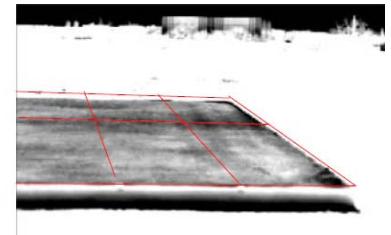
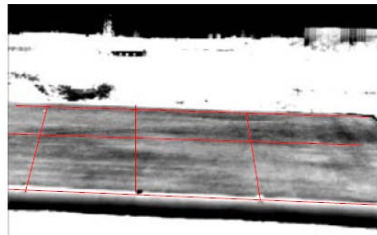
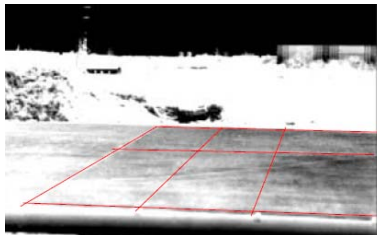


Abb. 25 Normalbild (oben) und IR-Aufnahme der Beton-Oberfläche (Platte 1)

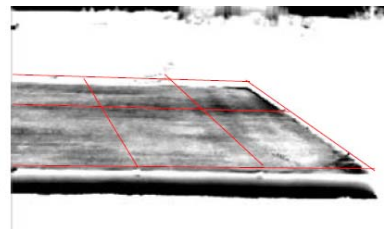
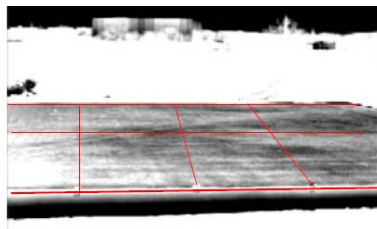
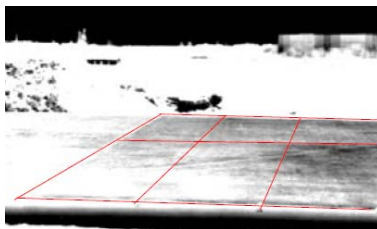
Die folgende Bilderserie der Aufnahmen auf der Betonplatte zeigt die Temperaturentwicklung infolge der homogenen Sonneneinstrahlung in Funktion der Zeit. Die Platteneinteilung ist dem Infrarotbild überlagert.



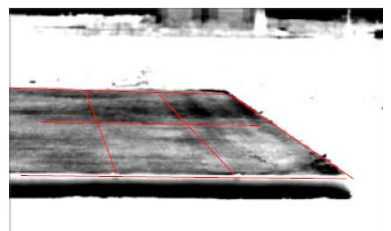
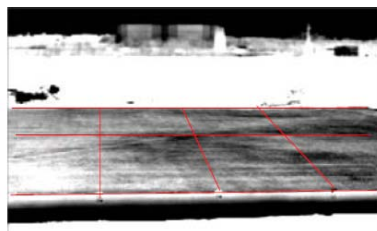
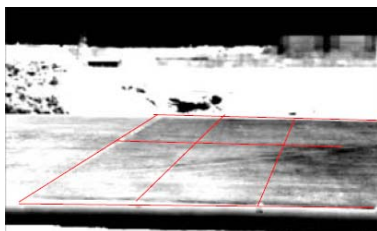
Aufnahmezeit 09:00



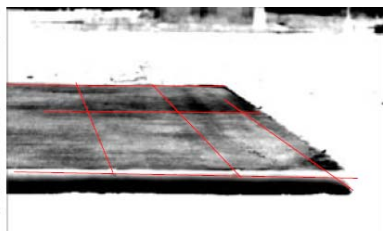
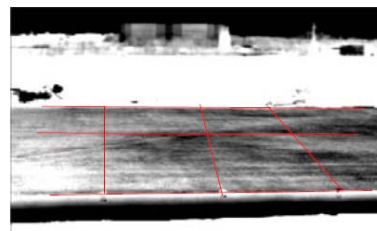
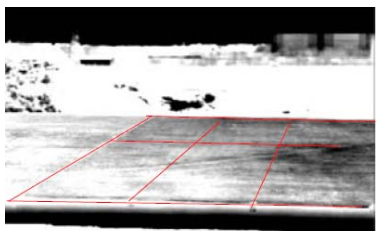
Aufnahmezeit 09:32



Aufnahmezeit 10:02



Aufnahmezeit 10:45



Aufnahmezeit 11:15

Abb. 26 IR-Aufnahmen der Betonoberfläche vom 07.04.2010; linker, mittlerer und rechter Teil der Platte 1

Im folgenden Bild sind einige Messpunkte auf dem Objekt mit den gemessenen Temperaturen angegeben. Die maximale Differenz der Temperaturwerte beträgt bei Messbeginn 4,5°C.

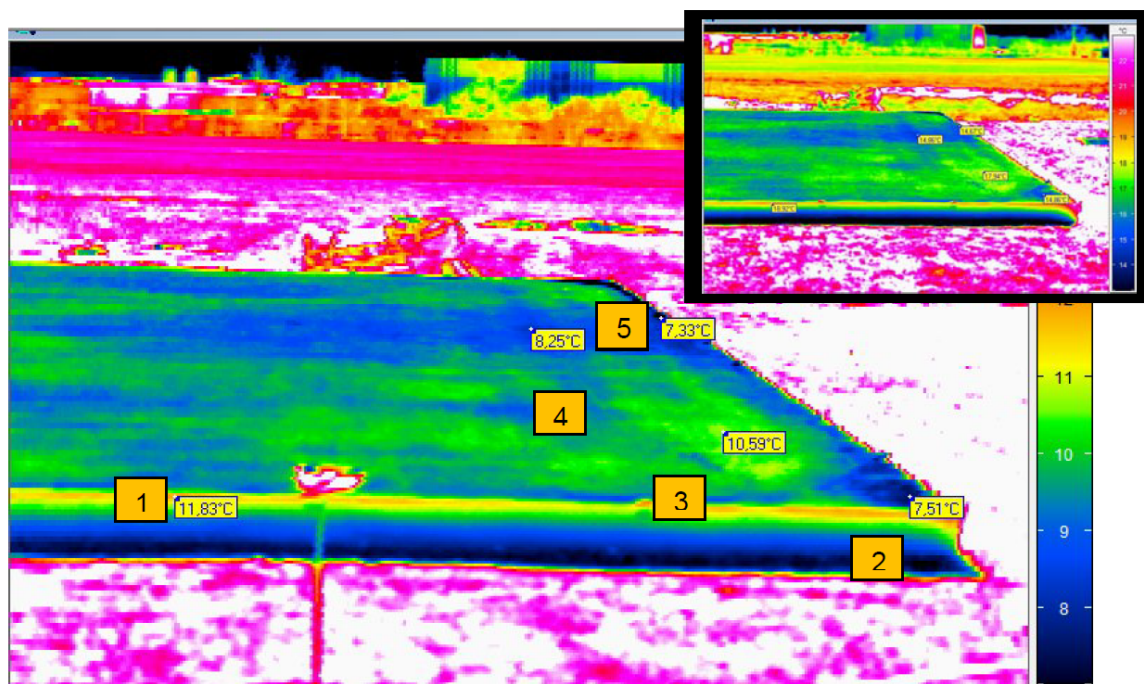


Abb. 27 Darstellung der Temperaturdifferenzen auf der Beton-Oberfläche zu Beginn (09.00 Uhr, grosses Bild) und am Ende (11.15 Uhr, kleines Bild) der Messungen

Aus der Abb. 27 ist ersichtlich, dass sich die Temperatur der Oberfläche infolge der Sonneneinstrahlung verändert, dass jedoch diese Veränderungen unterschiedlich ausfallen. Diese Unterschiede ergeben sich nicht durch die Oberflächenbehandlung (Vibroblek / Flügelmachine). Sie werden durch den Zustand (Textur, Feuchtigkeitsgehalt, etc.) der Betonplatte verursacht.

Tab. 10 Tabellarische Darstellung der gemessenen Oberflächen-Temperaturen

Messpunkt	Oberflächentemperatur [°C]		
	Messbeginn (09:00)	Messende (11:15)	Differenz
Nr. 1	11,83	18,92	7,09
Nr. 2	7,51	14,86	7,35
Nr. 3	10,59	17,94	7,35
Nr. 4	8,25	14,86	6,61
Nr. 5	7,33	14,67	7,34

Die in Abb. 26 beobachteten Temperaturen und Temperaturänderungen können nicht aus den lokalen Materialeigenschaften erklärt werden. Die Eckzonen zeigen grundsätzlich eine höhere Temperatur.

5.2.2 IR-Messungen auf Platte 2

Als Beispiel sind ein Normalbild und eine IR-Aufnahme in Schwarz/Weiss-Darstellung einander in Abb. 28 gegenübergestellt

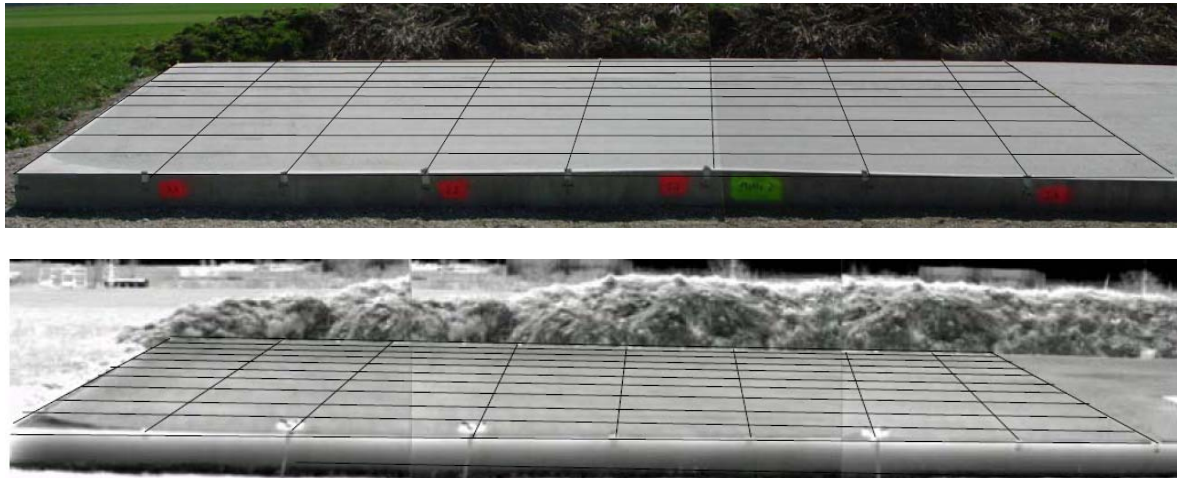
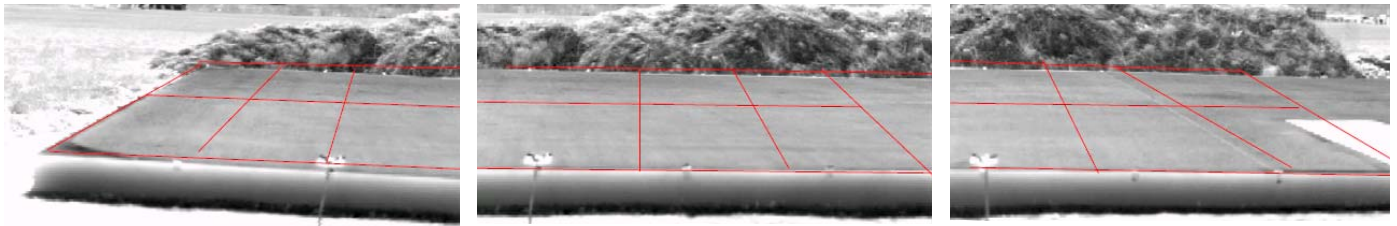
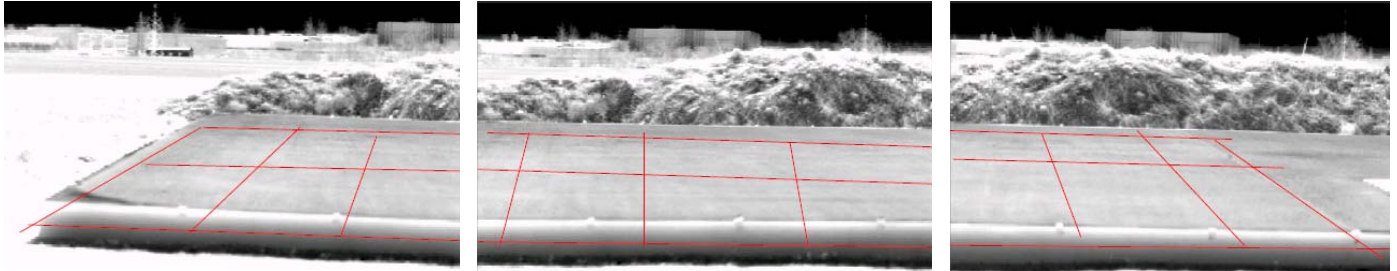


Abb. 28 Normalbild von Platte 2 (oben) und IR- Bild als Beispiel derselben Situation (unten).

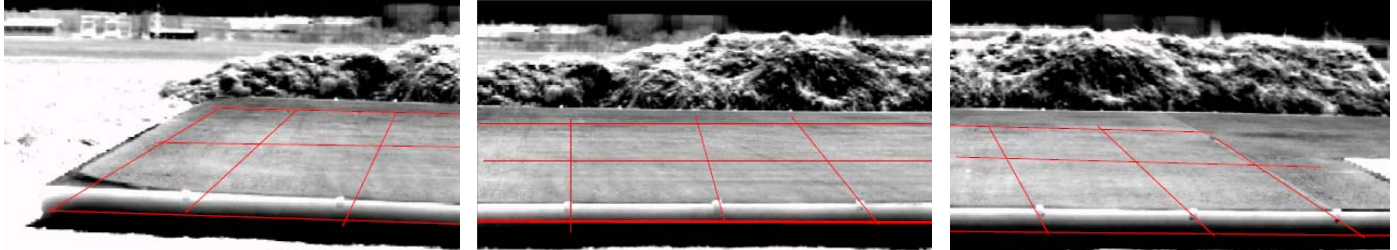
Die folgende Bilderserie der Aufnahmen auf der Betonplatte zeigt die Temperaturentwicklung infolge der homogenen Sonneneinstrahlung in Funktion der Zeit. Die Platteneinteilung ist dem Infrarotbild überlagert.



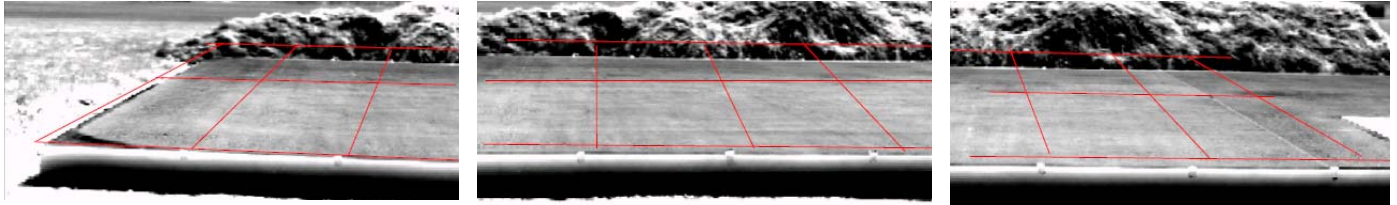
Aufnahmezeit 09:17



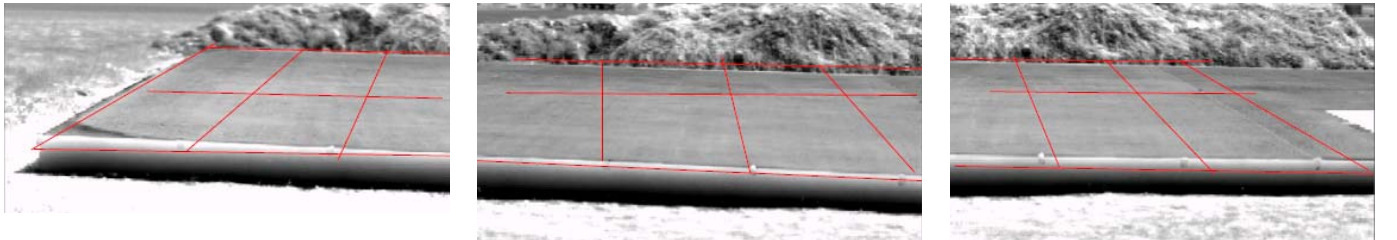
Aufnahmezeit 09:32



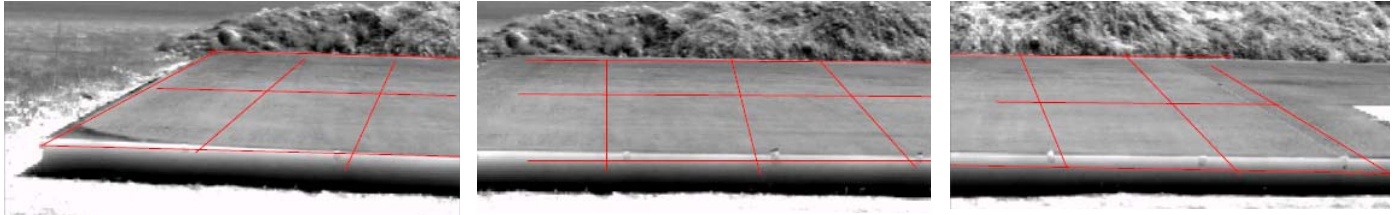
Aufnahmezeit 10:02



Aufnahmezeit 10:45



Aufnahmezeit 11:16



Aufnahmezeit 11:36

Abb. 29 IR-Aufnahme der Beton-Oberfläche von 07.04.2010; linker, mittlerer und rechter Teil der Platte 2

Im folgenden Bild sind einige Messpunkte auf dem Objekt mit den gemessenen Temperaturen angegeben. Die maximale Differenz der Temperatur bei Messbeginn beträgt 4,33°C.

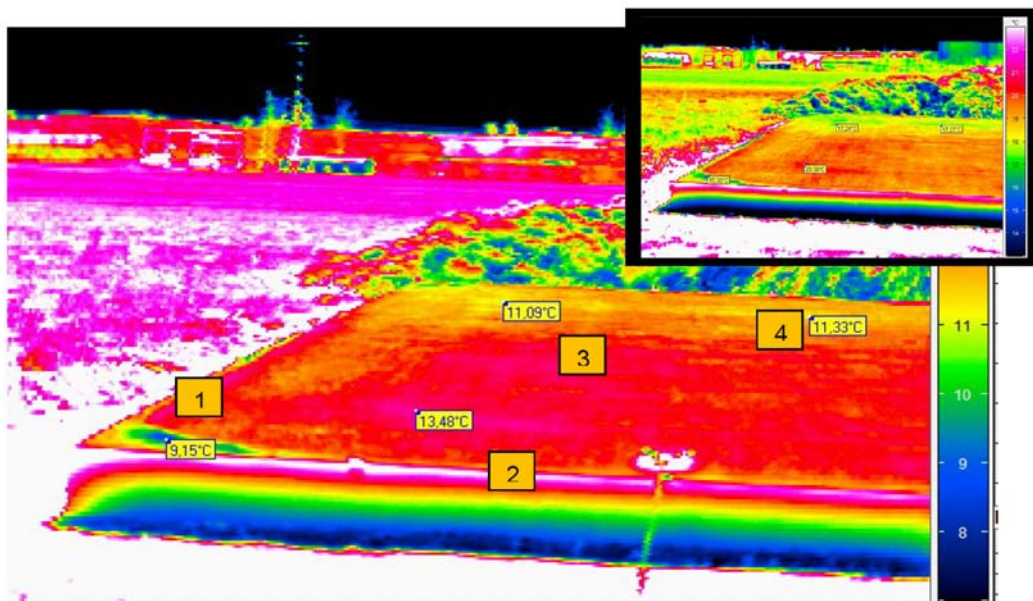


Abb. 30 Darstellung der Temperaturdifferenzen auf der Beton-Oberfläche zu Beginn (09.17 Uhr, grosses Bild) und am Ende (11.36 Uhr; kleines Bild) der Messung

Aus den Bildern (das grosse Bild zeigt die Temperaturverhältnisse am Anfang der Messreihe auf Platte 2, das kleine Bild oben rechts die Temperaturverhältnisse bei Messende) ist ersichtlich, dass sich auf der Oberfläche Temperaturveränderungen infolge der Sonneneinstrahlung ergeben. Wie bereits auf der Platte 1 (siehe Abb. 27) festgestellt, ist auch hier die Entwicklung der Temperatur nicht homogen, sondern wird durch den Zustand der Betonplatte (Textur, Feuchtigkeit, etc.) beeinflusst.

Tab. 11 Tabellarische Darstellung der gemessenen Oberflächen-Temperaturen an ausgewählten Punkten

Messpunkt	Oberflächentemperatur [°C]		
	Messbeginn (09:15)	Messende (11:36)	Differenz
Nr. 1	9,15	15,39	6,24
Nr. 2	13,48	20,38	6,9
Nr. 3	11,09	17,24	6,15
Nr. 4	11,33	12,27	0,94

Zudem beeinflussen Wind, Feuchtigkeit und Exposition der Betonoberfläche die Temperaturänderungen. Die Eckzone auf der Plattenoberfläche wird deutlich wärmer als die eigentliche Fläche (siehe Abb. 30). In der Eckzone wirken sich die Unterschiede in der Feuchtigkeit der Betonplatte und im Emissionswert auf das thermische Verhalten aus.



Abb. 31 Höhere Temperatur in der Ecke

5.2.3 IR-Messung auf Platte 3

(Reserveplatte für Vorversuche; siehe Kapitel 3.1).

In der mittleren Platte wurde ein Vorversuch durchgeführt um die ursprünglich festgelegte Grösse der unter der Polymer-Dichtungsbahn erstellten Fehlstellen zu überprüfen. Ursprünglich wurden Durchmesser und Tiefe der Fehlstellen wie folgt abgestuft: 2/5/15 mm,

Um sicher zu gehen, dass diese Abstufung relevant ist, wurde in einem Vorversuch überprüft, ob die Fehlstellen detektiert werden können.



Abb. 32 Vorversuch bei dem unter der PBD-Abdichtung Fehlstellen erstellt wurden.

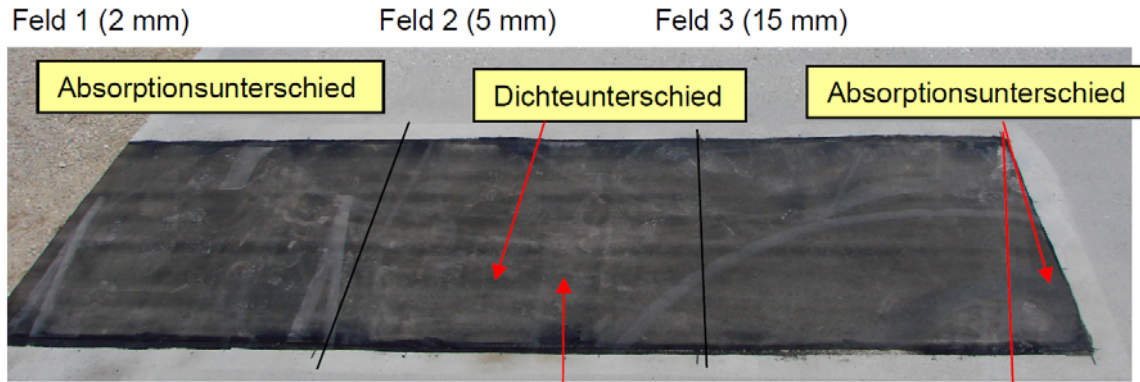


Abb. 33 Normalbild der Probefläche ca. 1 x 3 m

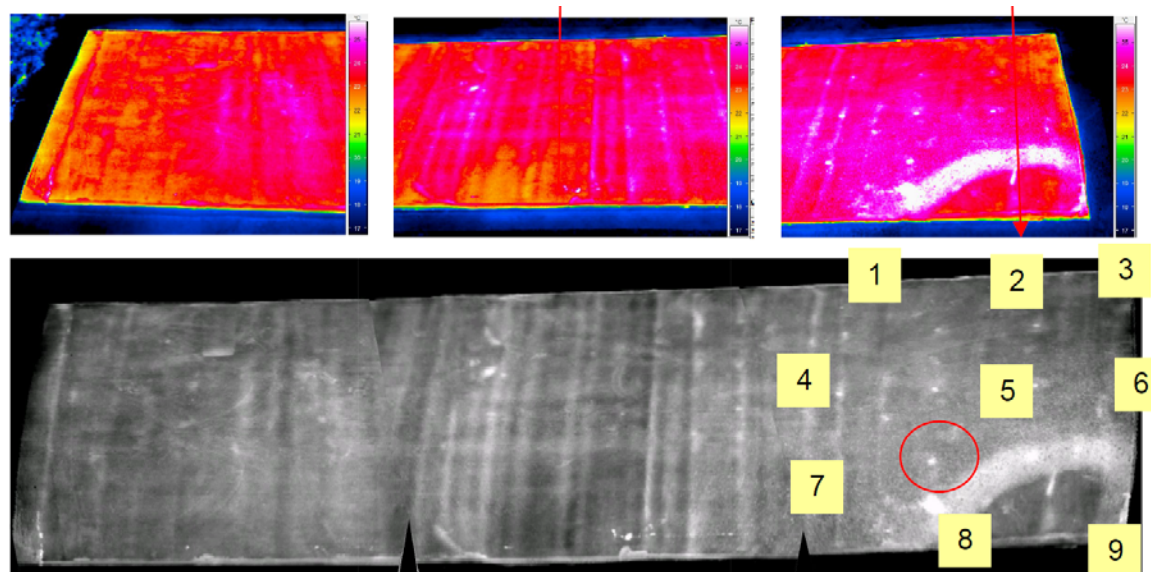


Abb. 34 Infrarotbilder in Farbe und Schwarz/Weiss. Unterschiede im Emissionswert und in der Dichte sind kaum auseinanderzuhalten.

Wie der Abb. 34 zu entnehmen ist, erscheint es nicht möglich die visuell feststellbaren Unterschiede auf deren Ursache zurückzuführen. Im Bild rechts erkennt man die systematisch angeordneten Fehlstellen sowie einen langgezogenen, gebogenen, hellen Flecken. Dieser Fleck entspricht der Fahrspur eines PW, welcher über die PBD-Abdichtungsbahn gefahren ist. Diese Reifen-Spur erscheint heller als deren Umgebung, da die Dichte der PBD an dieser Stelle grösser ist (durch das Überfahren komprimiert). Auch die Hohlstellen erscheinen heller. Wüsste man jedoch nicht im Voraus, dass die hellen Punkte Hohlstellen sind, könnte man dies aufgrund der Bilder nicht mit Sicherheit identifizieren.

Die parallel verlaufenden Streifen im Infrarotbild sind Unterschiede in der „Verdichtung“ oder in der Bindschicht. Die Streifenbildung kann beim Applizieren der Schicht entstanden sein.

Zudem ist auch klar ersichtlich, dass Hohlstellen mit Durchmesser 2 und 5 mm nicht erkannt werden. (Linkes Feld 2 mm Fehlerdurchmesser, mittleres Feld, 5 mm Fehlerdurchmesser, rechtes Feld 15 mm Fehlerdurchmesser).

Beispiel

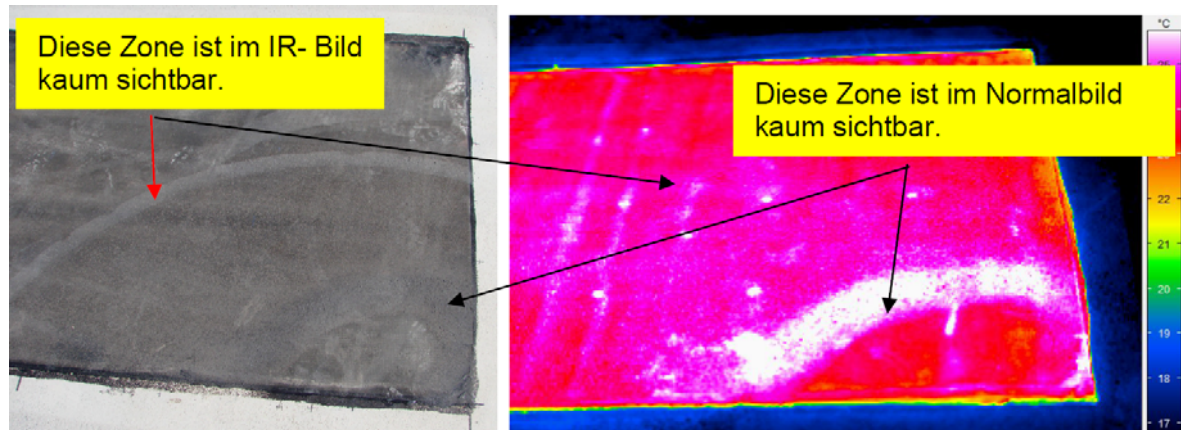


Abb. 35 Normalbild (links) und IR-Bild (rechts) mit Hinweise auf Dichte- und Absorptionsunterschiede

In der Abb. 35 wird nochmals verdeutlicht, dass die Interpretation des IR-Bildes keine eindeutige Selektion der Hohlstellen ermöglicht. Im IR-Bild sehen die erstellten Fehlstellen (weisse Punkte) gleich aus wie ein Bereich in welchem die Polymer-Bitumen-Dichtungs-Bahn PBD durch Befahren etwas zusammen gedrückt wurde (weisse, gebogene Fläche). Andererseits ist eine helle, gebogene Färbung im Normalbild zu erkennen, jedoch im IR-Bild nicht sichtbar.

5.3 Messungen auf den Abdichtungen

Am 18. April 2010 wurden Messungen auf den Abdichtungen durchgeführt:

Da die Abdichtungsarbeiten unter einem Schutzzelt erfolgten, musste die Position der Kamera neu gewählt werden. Der Blickwinkel ist in den folgenden Aufnahmen - gegenüber den Aufnahmen der Betonoberfläche – um 90 °C gedreht worden.

5.3.1 IR- Messungen

5.3.1.1 IR-Messungen auf Platte 1

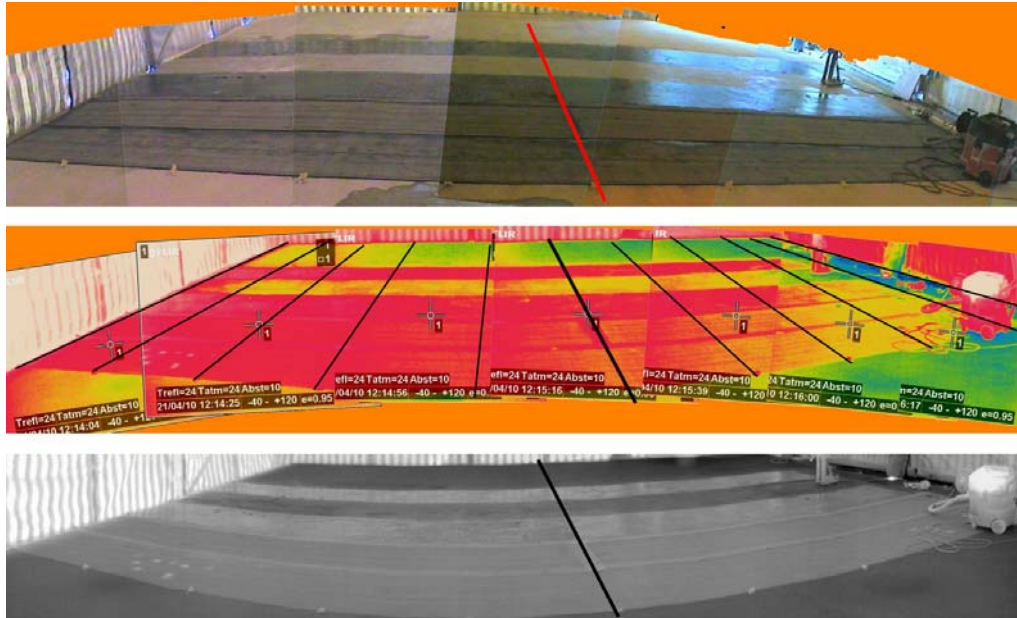
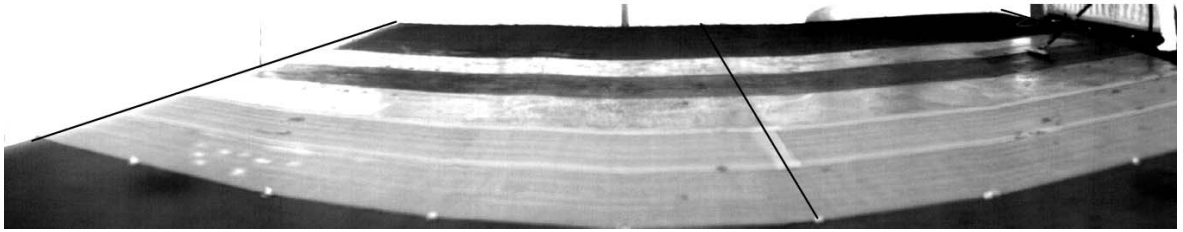


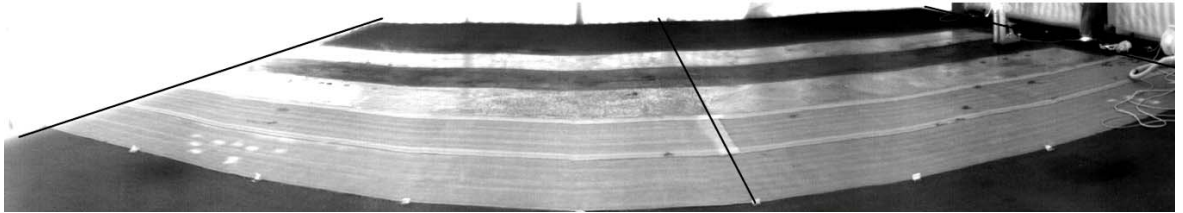
Abb. 36 Normalbild (oben) und IR-Bilder (farbig und schwarz/weiss; unten) als Übersicht aller eingebauten Abdichtungen.

Die Bilder lassen sich wie folgt auswerten:

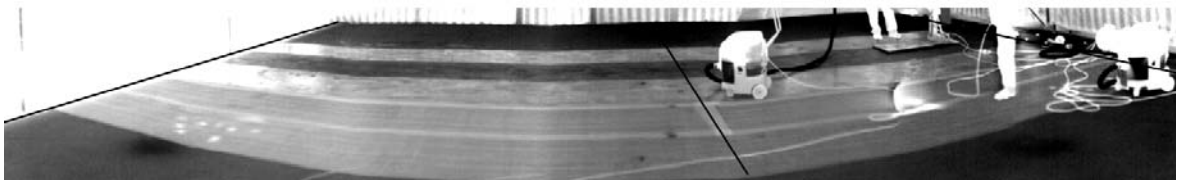
- Vorne links sind die Bohrkern-Entnahmestellen zu sehen
- Die Überlappungen der einzelnen PBD-Bahnen sind deutlich zu sehen
- Die unter der Abdichtung erstellten Fehlstellen mit Durchmesser und Tiefe bis zu 15 mm sind nicht erkennbar



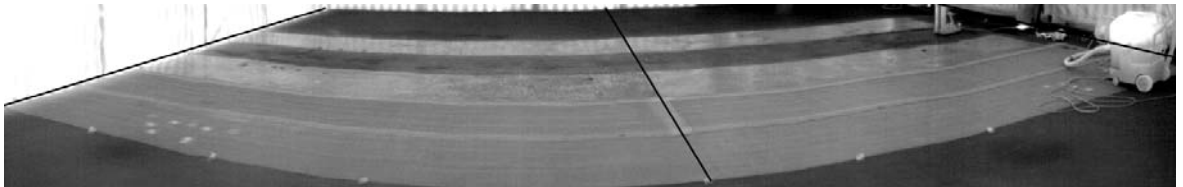
Aufnahmezeit: 21.4.2010, 09:00 Uhr



Aufnahmezeit: 21.4.2010, 10:00 Uhr



Aufnahmezeit: 21.4.2010, 11:00 Uhr



Aufnahmezeit: 21.4.2010, 12:00 Uhr

Abb. 37 IR-Aufnahmen der Abdichtungen auf der Platte 1 vom 18. April 2010; Blickrichtung gegen Westen

Die Einteilung der Testflächen in einzelne 1 x 1 m grosse Felder ist in der Abb. 37 mit weissen Punkten markiert; die Mitte der Testfläche (links Oberflächenbearbeitung mit Vibrobalken, rechts mit Flügelmachine) wurde eingezeichnet. Während den Aufnahmen wurden Prüfungen an den Abdichtungen sowie Bohrkernentnahmen durchgeführt.

5.3.1.2 IR-Messungen auf Platte 2

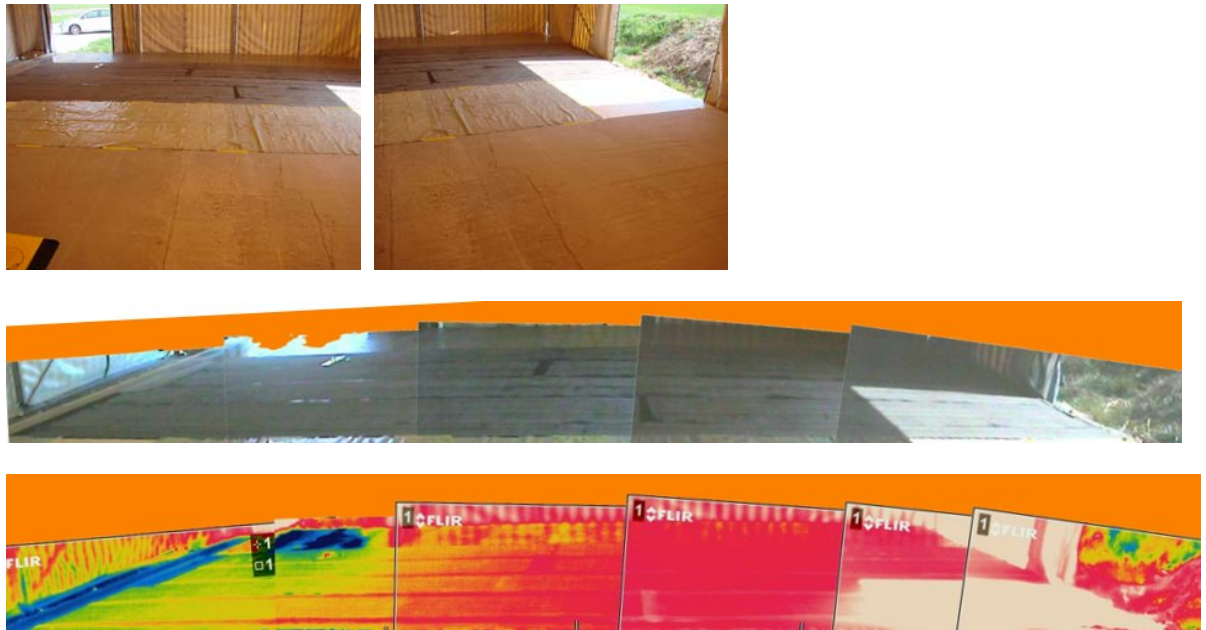
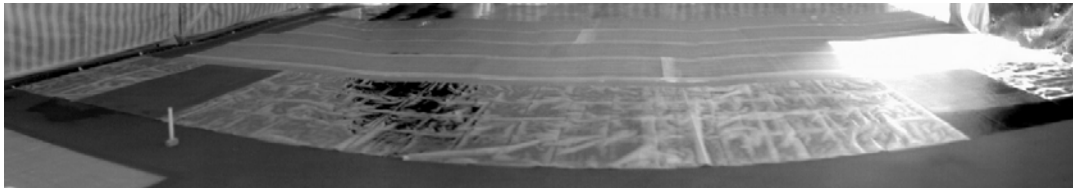


Abb. 38 Normalbild (oben) und IR-Bilder (farbig und schwarzweiss; unten) der Übersicht der eingebauten Abdichtungen. Auf der PMMA Schicht wurde keine Messung durchgeführt. Die Schicht war abgedeckt.



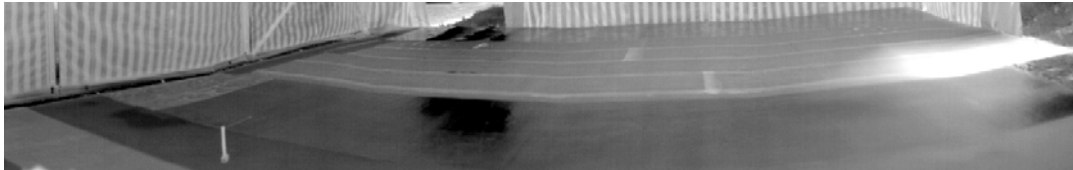
Aufnahmezeit: 21.4.2010, 09:30 Uhr



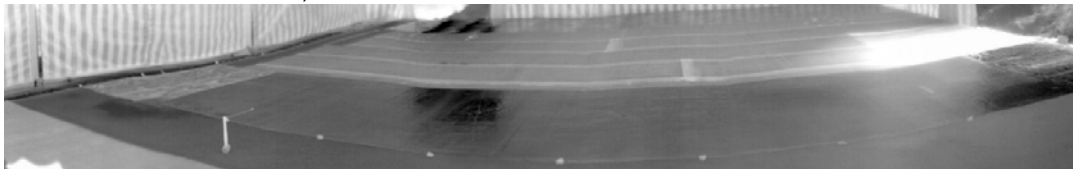
Aufnahmezeit: 21.4.2010, 10:30 Uhr



Aufnahmezeit: 21.4.2010, 11:30 Uhr



Aufnahmezeit: 21.4.2010, 12:30 Uhr



Aufnahmezeit: 21.4.2010, 13:30 Uhr

Abb. 39 IR-Aufnahmen der Abdichtungen auf Platte 2 vom 21. April 2010; Blickrichtung gegen Osten (Zusammengesetzte Aufnahmen).

Die Bilder lassen sich wie folgt auswerten:

Partielle thermische Unregelmäßigkeiten wurden auf allen Abdichtungen festgestellt, jedoch konnten diese nicht den zu ortenden Fehlstellen zugewiesen werden.



Abb. 40 Für die Ortung der Fehlstellen wurden in verschiedenen Feldern auch Detailaufnahmen erstellt. Die Bilder oben sind Ansichten aus der Testfläche 2 bei der Überlappung der Abdichtungsbahnen. Feld 2.2 (Bild oben links) und Feld 2.3 (Bild Mitte) und Feld 2.4 (Bild rechts).

5.3.2 Schallanalyse

Das Messprinzip der Schallanalyse ist im Kapitel 4.4. beschrieben.

Die Messungen mit dem Verfahren der Schallanalyse erfolgten auf der Abdichtung, analog der Verwendung des einfachen Laubrechenverfahrens zur Detektierung von Hohlstellen unter der Abdichtung. Mit einem Schallgeber von 1000 und 20000 Hz wurde die Oberfläche angeregt. Der dadurch produzierte Schall wurde mit einem Schalldruckempfänger aufgenommen. (20 Hz – 40 KHz).

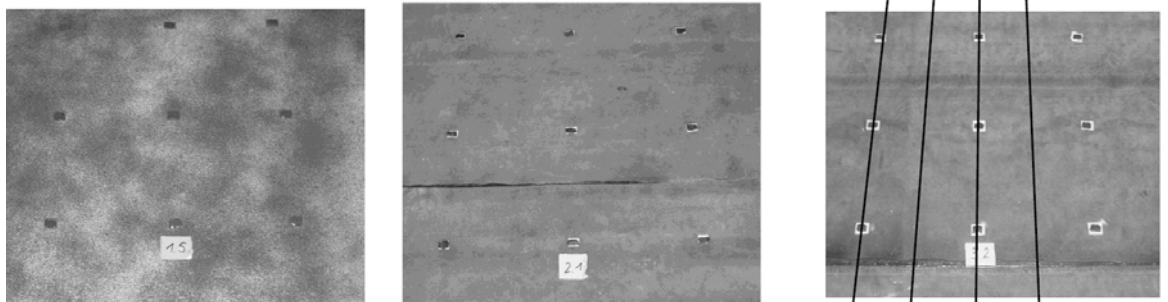


Abb. 41 Normalbilder der untersuchten Felder in den Testflächen 1.5, 2.1, 3.2

Das Schallanalyseverfahren wurde an den Feldern 1.5, 2.1 und 3.2 eingesetzt mit dem Ziel herauszufinden, ob sich die Fehlstellen auf das Schallsignal auswirken.

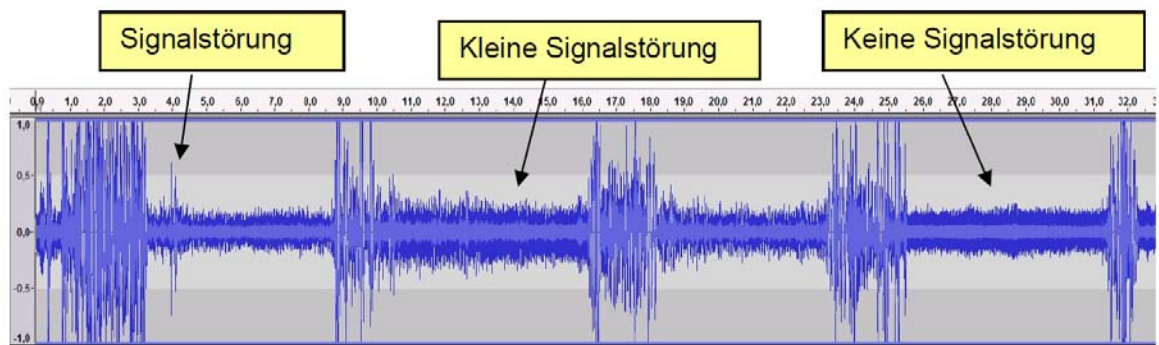


Abb. 42 Beispiel eines Datensatzes der Schallanalyse. Der Messkopf wurde linienförmig über das Testfeld geführt und überfuhr somit die Fehlstellen, bei denen das Signal deutlich ausschlug.

In der folgenden Darstellung sind 4 Linien dargestellt. Im Falle einer Fehlstelle wird ein verändertes Schallsignal erwartet. Die 4 Felder können einzeln betrachtet werden. Sie haben eine Länge von 1 m.

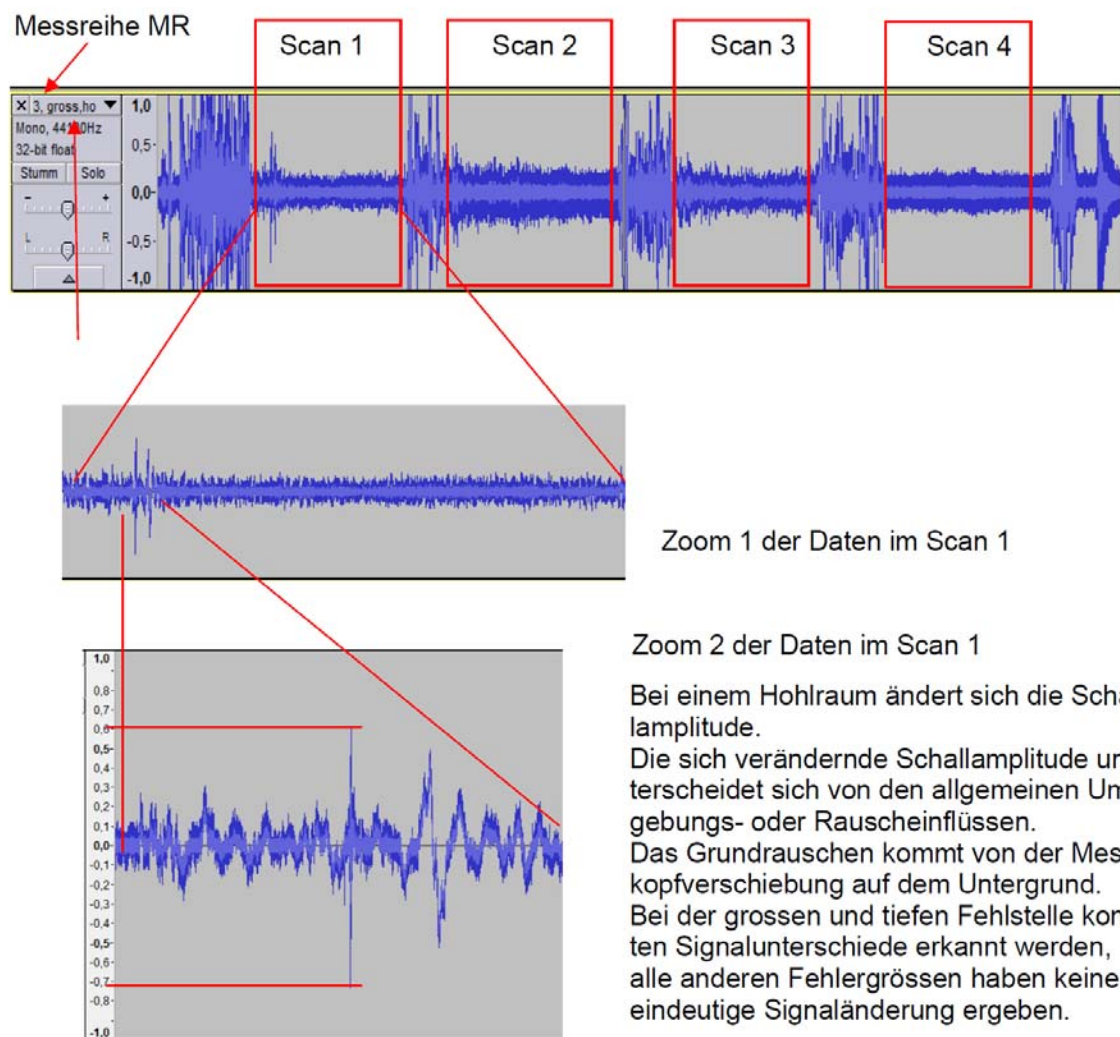


Abb. 43: Datensatz der Schallanalyse eines Testfeldes

5.4 Messungen auf der Schutzschicht

Am 20.05.2010 wurden Messungen auf der eingebauten Schutzschicht aus Gussasphalt durchgeführt. Als Schutzschicht wurde ein MA 11 35 mm dick eingebaut.

5.4.1 IR-Messungen

5.4.1.1 IR-Messungen auf Platte 1

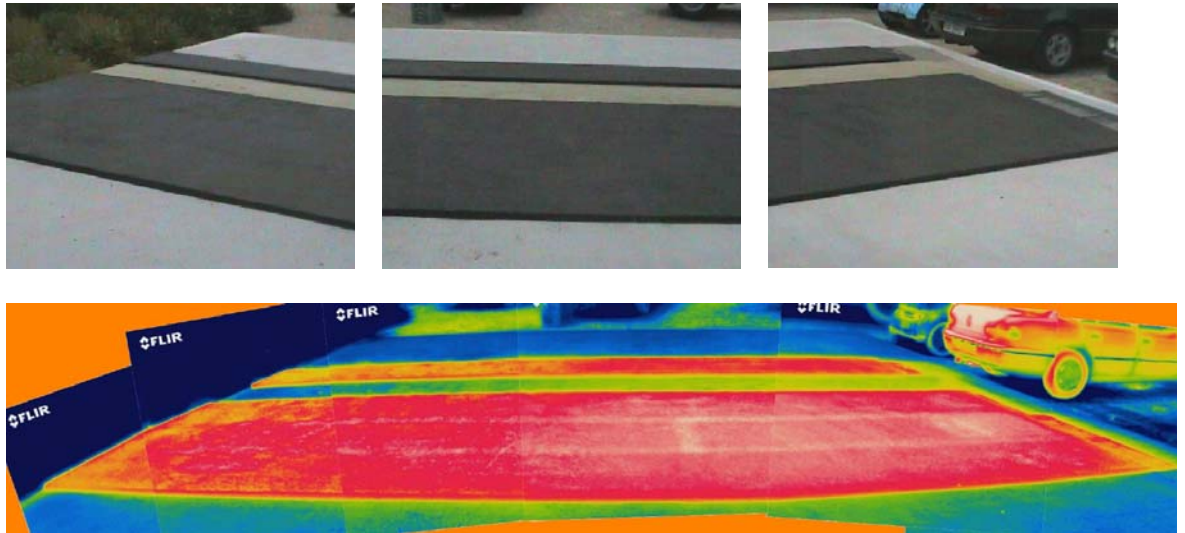
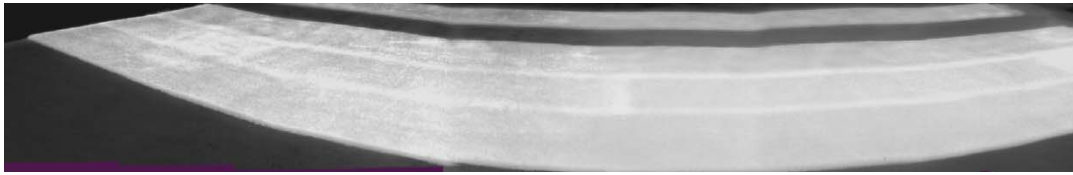


Abb. 44 Normalbild (oben) und IR-Bild (farbig, unten) der Schutzschicht der Platte 1

Die eingebaute Schutzschicht in Feld 1 (Blick gegen Westen). In den IR- Bildern sind Unterschiede im Asphaltbelag und in der Masse (Überlappende Dichtungsbahn) deutlich zu erkennen. Aus den Infrarotbilder können keine Hinweise auf Loslösungen unter der Abdichtungsbahn gezogen werden.



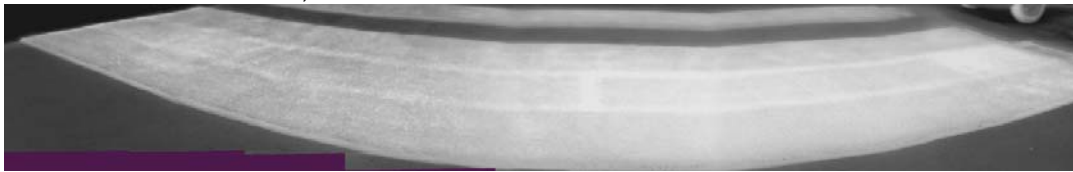
Aufnahmezeit: 20.5.2010, 08:00 Uhr



Aufnahmezeit: 20.5.2010, 09:00 Uhr



Aufnahmezeit: 20.5.2010, 10:00 Uhr



Aufnahmezeit: 20.5.2010, 11:00 Uhr



Abb. 45 IR-Aufnahmen der Gussasphalt-Schutzschicht auf der Platte 1 vom 28. Mai 2010; Blickrichtung gegen Westen

In den IR-Bilder sind Temperatur-Unterschiede in den Randzonen zu sehen. Sehr deutlich sind die Überlappungen in Längs- und Querrichtung der PBD-Abdichtung zu erkennen. Teilweise sind auch flächenhaft aufwertenden Temperaturdifferenzen der Gussasphaltoberfläche festzustellen, deren Ursache unbekannt sind.

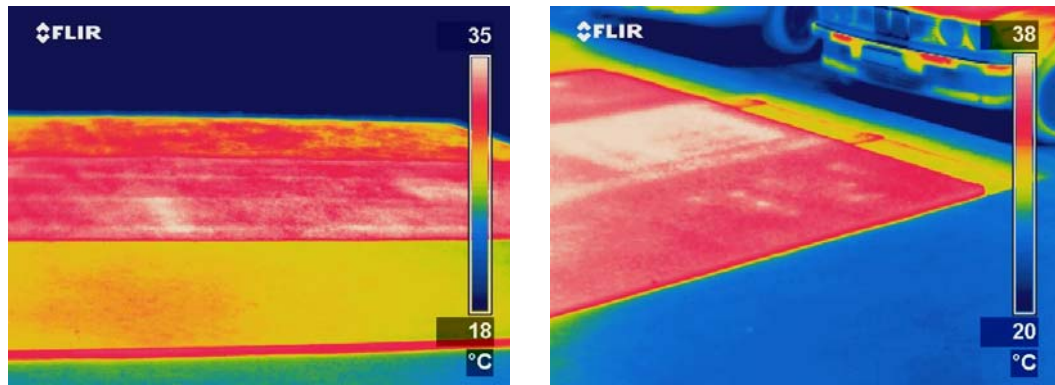


Abb. 46 Zur Ortung der Fehlstellen wurden Detailaufnahmen in verschiedenen Feldern erstellt. (im Bild Testflächen 1.1 und 1.2)

Die detaillierte Auswertung der Aufnahmen (siehe Abb. 46) bringt keine neuen Erkenntnisse: Die örtlich definierten Fehlstellen können mit der Thermografie und den gewählten Aufbauten nicht geortet werden; weder die unter der Abdichtung noch die unter der Gussasphalt-Schutzschicht liegenden, künstlich erzeugten und eingemessenen Fehlstellen können lokalisiert werden.

5.4.1.2 IR-Messungen auf Platte 2

Normalbild und IR- Bild von Platte 2



Abb. 47 Normalbild (oben) und IR-Bild (unten) der Schutzschicht der Platte 2

Messungen vom 28.5.2010, 1200 Uhr bis 1300 Uhr

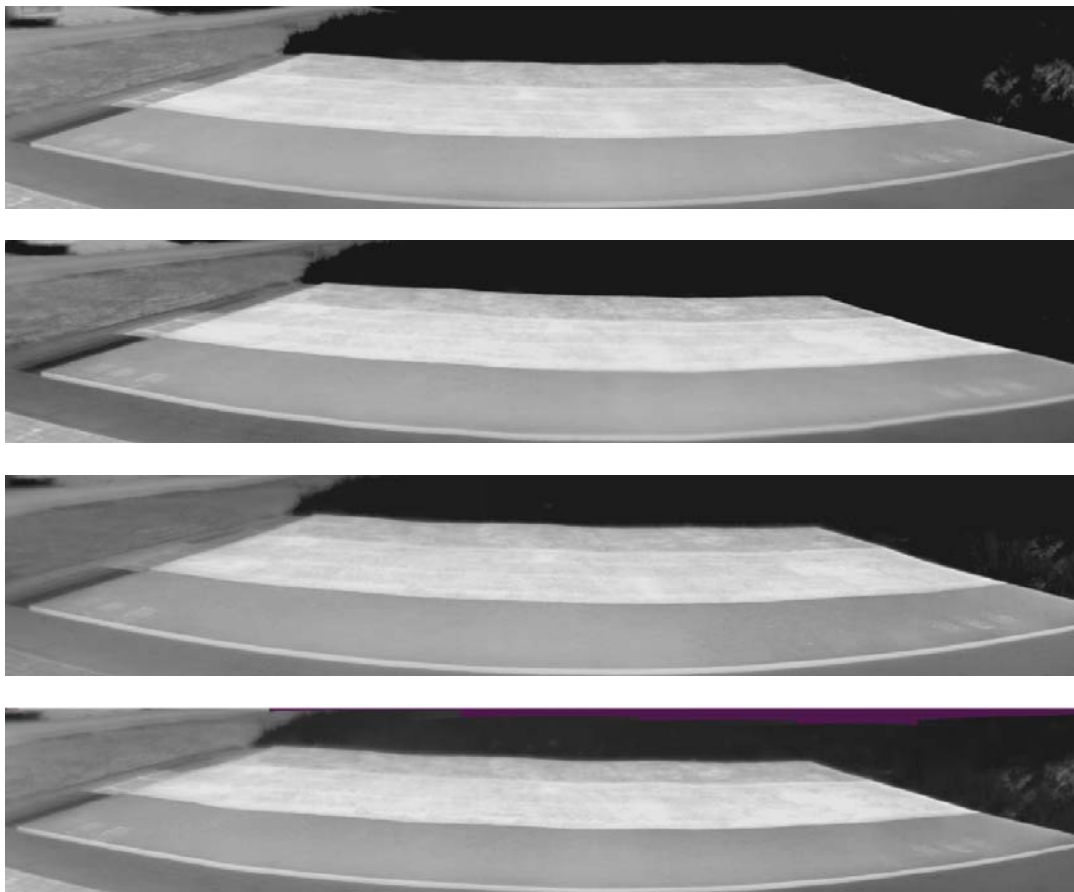


Abb. 48 IR-Aufnahmen der Gussasphalt-Schutzschicht auf der Platte 2 vom 28.05.2010, Blickrichtung gegen Osten; Aufnahmezeitpunkt: 12.00 Uhr bis 13.30 Uhr

Bei strahlungstechnisch homogener Oberfläche (hoher, einheitlicher Imissionsgrad) erkennt man nur die Schichtdicken-Änderungen in den Feldern 2.2 und 2.3, welche durch Überlappungen der PBD-Dichtungsbahn hervorgerufen werden.

Die Fehlstellen unter der Schutzschicht und unter der Abdichtung sind nicht erkennbar.

5.4.2 Ultraschallmessungen

Auf der Reserveplatten für Vorversuche (siehe Kapitel 3.1) wurden zusätzlich Ultraschallmessungen auf einer PBD-Abdichtung durchgeführt. Mit dem Messkopf wurde die Testfläche in 5 cm Schritten entlang der markierten Linie untersucht. Der Messkopf wurde jeweils 10 cm vorwärts bewegt. Nach aufgenommener Datenserie entlang einer Linie wurden die Daten auf der nächsten Linie im Abstand von 5 cm aufgenommen. Aus den Messungen konnte keine Fehlstellen gefunden werden. Die Asphaltschicht dämpft die Ultraschallwellen ganz erheblich.

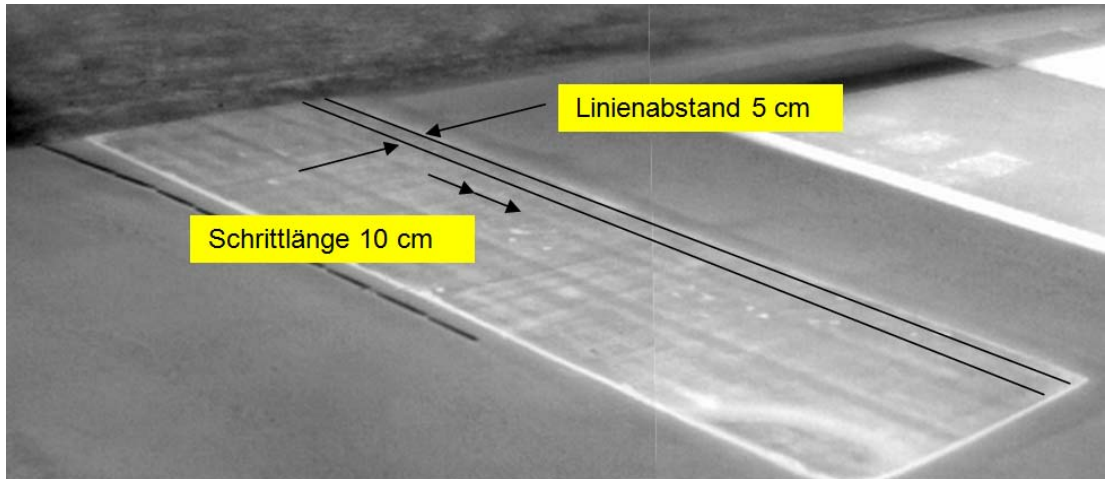


Abb. 49 schematische Darstellung der durchgeführten Messungen entlang von Messlinien im Abstand von 5 cm



Abb. 50 Sender und Empfänger der Ultraschall-Messung

5.4.3 Radarmessungen

Die Messlinien für die Radarsignale wurden über die Fehlstellen gelegt (siehe Abbildung). Es wurden alle Felder vermessen.

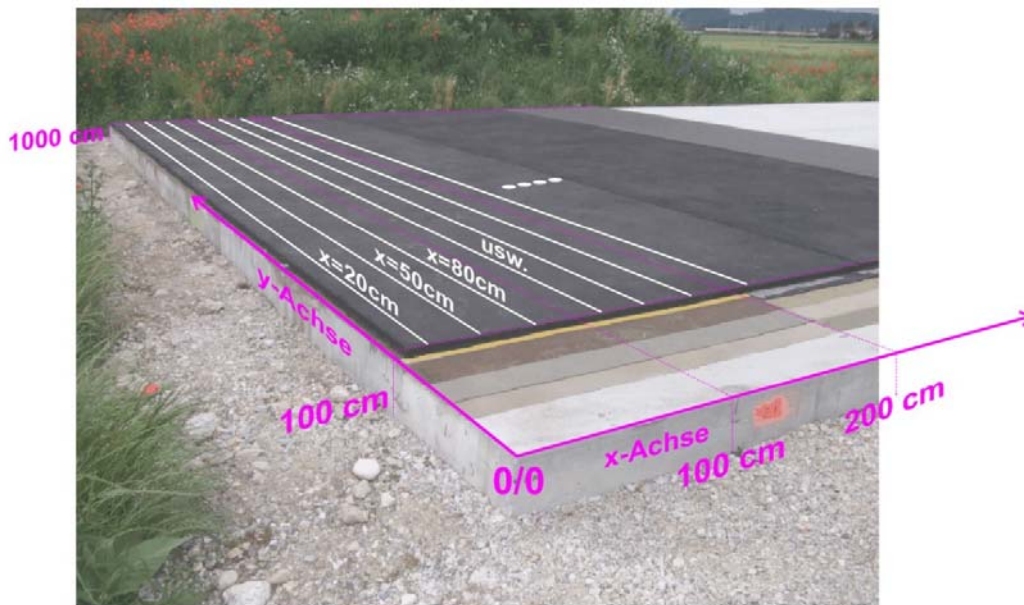
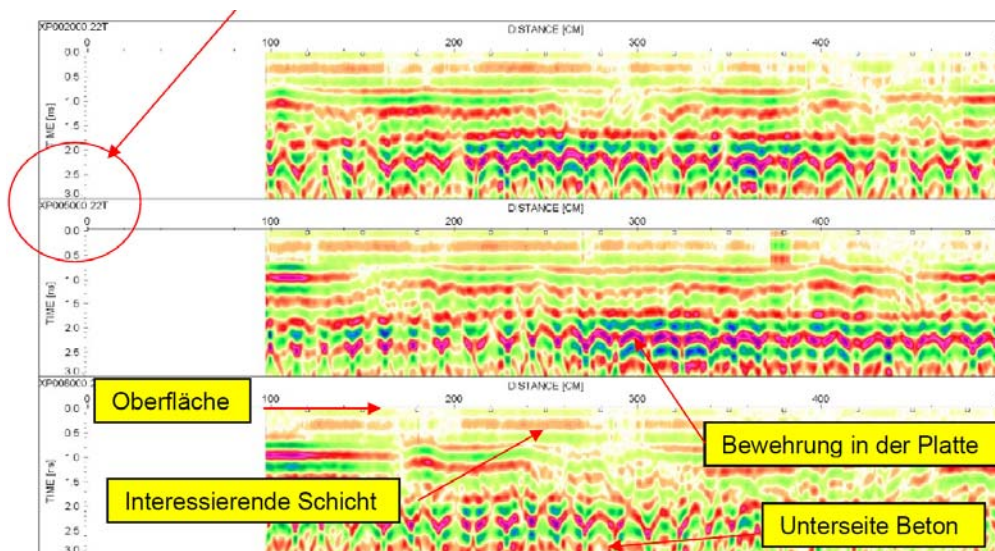


Abb. 51 Schematische Darstellung der Messlinien entlang derer die Messsignale aufgenommen wurden. Die Messlinien verlaufen mittig über die Fehlstellen.

Als Beispiel für die Radardaten sind in der Abb. 52 Standardprofile dargestellt. Die vom Sender ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen werden in den Untergrund (Schutzschicht, Abdichtung und Betonplatte) und an Schichtgrenzen oder an Objekten reflektiert.

Radargramm XP002000.22T (Radargramm bei x+20 cm, Prozessnummer 22)



Radargramm XP002000.22T (Radargramm bei x+20 cm, Prozessnummer 22)

Abb. 52 Radargramme von 3 Messlinien, welche über die Fehlstellen (siehe Abb. 41) gelegt wurden. Aus den Radarsignalen sind solch kleine Fehlstellen nicht erkannt werden.

Die im Objekt reflektierten Signale werden von der Antenne erfasst und in der Elektronik aufgezeichnet. Aus der Laufzeit der Radarwelle und den spezifischen, elektrischen Eigenschaften der untersuchten Materialien lässt sich die Tiefe der Reflektionsebene (=

Schichtgrenze) berechnen. Der interessante Bereich für die Charakterisierung der Grenzfläche zwischen der Abdichtung und der Unterlage liegt bei einer Laufzeit von etwa 0,4 bis 0,45 ns. Die Laufzeit ist aus der Bauteildicke abgeleitet.

Das Radargramm ist eine 2-dimensionale Darstellung der Reflektionen entlang der gewählten Messlinie. Um die Informationen einer Radarmessung in einer definierten Tiefe darzustellen, bedient man sich der sogenannten Zeitscheiben. Dabei werden die reflektierten Signale aller Messpunkte, die einer festgelegten Laufzeit des ausgestrahlten Signals entsprechen, dargestellt. Für jeden Messpunkt entlang der Messlinie wird auf diese Weise ein Wert ermittelt, dem eine Farbe zugeordnet wird, sodass eine 2-dimensionale Darstellung der untersuchten Ebene entsteht.

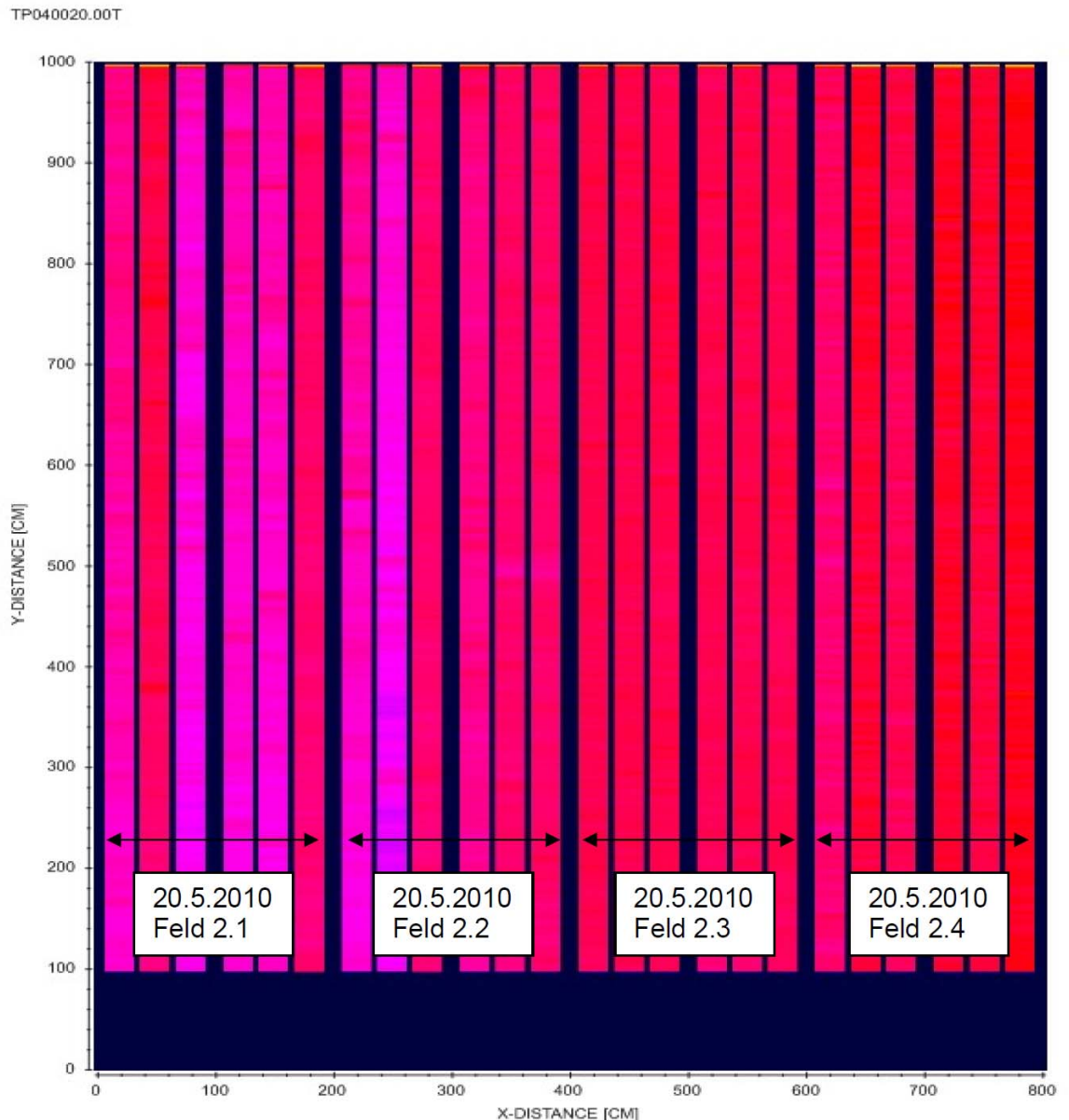


Abb. 53 Zeitscheibe mit einer Signal-Laufzeit von 0.4 ns. (Tiefe 4 – 5 cm). (Datei TP040020.00T)

In der Tiefe wurden Zeitscheiben von 0,05 ns (Etwa 0,5 cm) erstellt um Abweichungen im Signal festzustellen. Zudem wurden die Daten so komprimiert, dass bei der Zuordnung der Farben keine Unterschiede festzustellen waren, welche mit dem Fehlermuster übereinstimmen.

Die Zeitscheibe TP040022.00T ist zum gleichen Zeitpunkt wie im Bild oben bereits angegeben, aber im 22sten Prozessingschritt. (Mit dem Computer bearbeitete Daten). Beim Berechnungsschritt 22 (Das ist ein Signalbearbeitungsschritt) werden die Originalsignale so bearbeitet, dass regionale Unterschiede im Signalverhalten deutlicher werden. Im Bereich der Loslösung werden regionale Unterschiede im Signal gesucht.

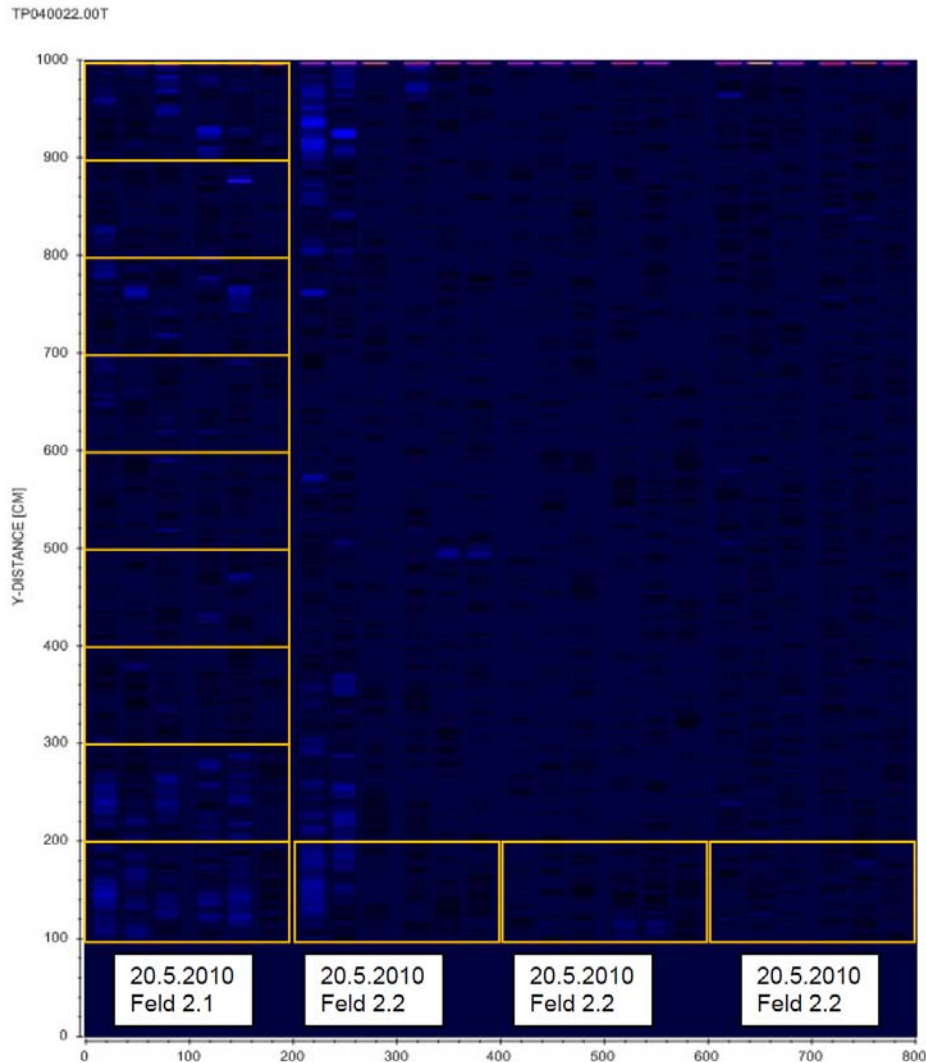


Abb. 54 Zeitscheibe mit einer Signal-Laufzeit von 0.45 ns. (Tiefe 5 – 6 cm), (Datei TP040020.00T)

Die Signale werden in willkürlichen Farbstufen dargestellt, weil kleinste Signalunterschiede gesucht werden. Trotz kleinster Signalauflösung werden keine Unterschiede erkannt, welche darauf hinweisen, dass Zonen von Loslösungen bestehen. Aus den Radarmessungen konnten bei den erzeugten Fehlstellen keine Signale erkannt werden. Es ist zu bemerken, dass Loslösungen die Wasser enthalten andere Signale liefern, weil Wasser ein guter Absorber für Radarsignale ist.

Die Farbzurordnung in der Skala ist wie folgt:



Zeitscheibe Signal-Laufzeit von 0.4 ns.

Zeitscheibe mit einer Signal-Laufzeit von 0.45 ns.

6 Empfehlungen für Feldmessungen

6.1 Empfehlungen für die Feldmessungen

Wir empfehlen für die Anwendung in der Praxis die Schallanalyse, weil aus den andern Verfahren keine Resultate zu erwarten sind.

Begründung:

Das Verfahren hat sich für die Feststellung von Hohlstellen unter der Abdichtungsbahn in jedem Fall als erfolgreich dargestellt. Die Schallpegelunterschiede waren fast unabhängig von der Tiefe des Hohlraumes.

Die Schallanalyse hat im Vergleich zur bisher angewendeten „Laubrechenmethode“ folgende Vorteile:

- Die Messung ist nachvollziehbar und unabhängig von der Erfahrung des Ausführenden.
- Sie könnte einfach mit einer automatischen Positionserfassung ergänzt werden um somit die Ergebnisse zu dokumentieren

7 Messungen in der Praxis

Um das ausgewählte Prüfverfahren in der Praxis einzusetzen und um dessen Gebrauchstauglichkeit unter Baustellen-Bedingungen zu überprüfen, wurde es auf einigen Objekten des Nationalstrassen-Netzes eingesetzt.

7.1 Das Ultraschall-Messverfahren

7.1.1 Messeinrichtung:

Auf der Oberfläche der Abdichtung wurde ein Feld in x- und y-Richtung aufgezeichnet. Im Abstand von 10 cm wurden in beiden Richtungen einzelne Scans aufgenommen und abgespeichert.

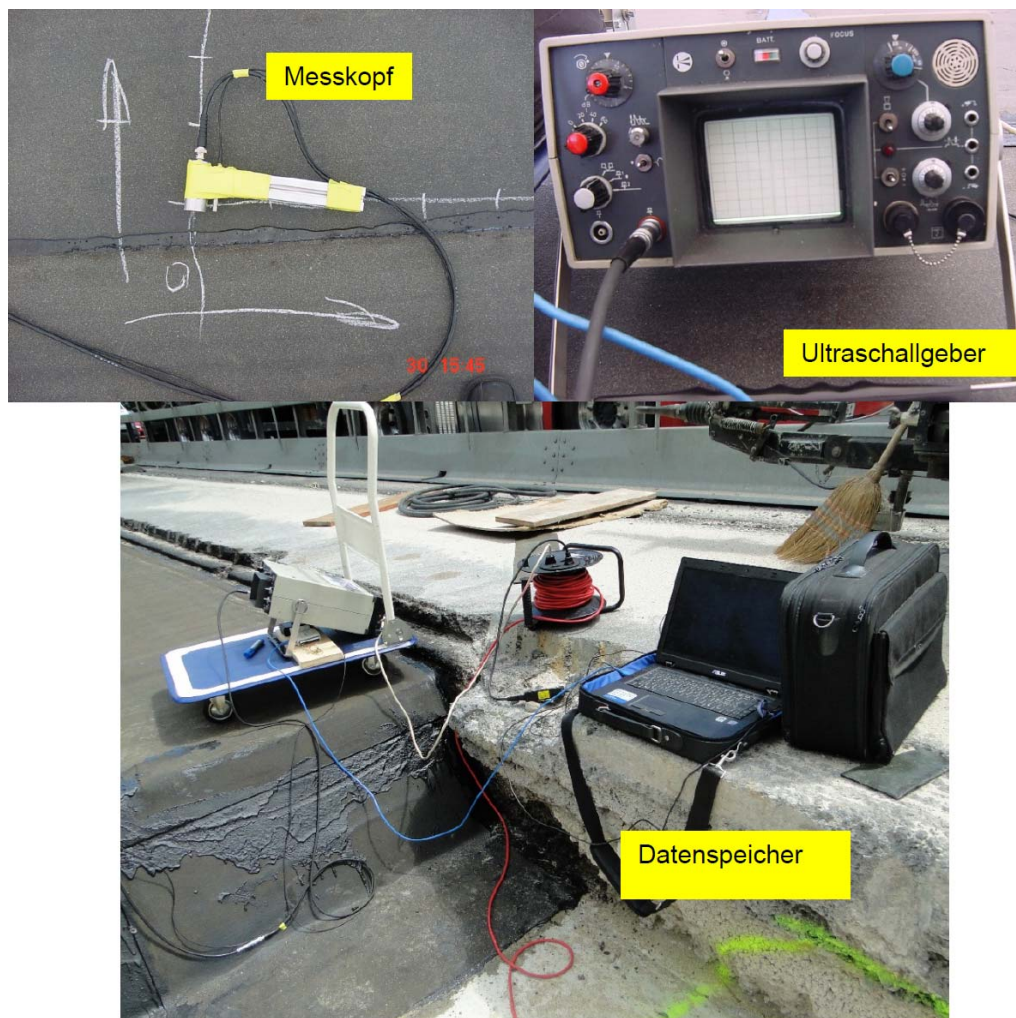


Abb. 55 Messeinrichtung bestehend aus dem Messkopf (1 Geber und 1 Empfänger, Bild oben links) dem Ultraschallmessgerät (Bild oben rechts) und der Datenspeicherung. Die ganze Einrichtung wurde über einen DC- AC Wandler ab der Autobatterie betrieben.

Die Messungen erfolgten mit dem Schalldruckgeber Krautkrämer Typ USL 33 von Max Meister AG in Zumikon. Der Schalldruckgeber liefert Signale mit 1000 Hz. Mit dem Schalldruckempfänger von GRAS, Typ 46BE, der Firma Norsonic Brechbühl werden die resultierenden Schalldruckpegel empfangen und in ein elektrisches Signal umgewandelt.

Das Signal wird über die Datenerfassungskarte von National Instruments Typ USB 6009 auf den Computer übertragen und abgespeichert. Die abgespeicherten Daten werden schlussendlich mit der Audacity Software analysiert.

7.2 Messungen auf diversen Objekten

7.2.1 Auswertung

Die Signale wurde wie unter 7.1.1 beschrieben aufgenommen und ausgewertet. Da zur Zeit entsprechende Erfahrungen zur Interpretation fehlten, wurden die Ergebnisse mit dem Resultat des Laubrechenverfahrens verglichen.

7.2.2 Durchführung der Messung

Auf dem Objekt (Abdichtungsbahn) wurde ein Feld von 1 m² Grösse ausgewählt. In diesem Feld wurden zerstörende Prüfungen (Haft- und Schälzugprüfung) durchgeführt und auch die „Laub-Rechenmethode“ angewendet. Das ausgewählte Feld wurde in ein Raster von 10 cm * 10 cm aufgeteilt.

Nach dem Zusammenbau der Messeinrichtung und dem Systemtest wurden die Messungen vorgenommen. Das ausgewählte Feld wurde in x- und y- Richtung mit dem Messkopf abgefahren und die Signale auf dem Rechner abgespeichert.

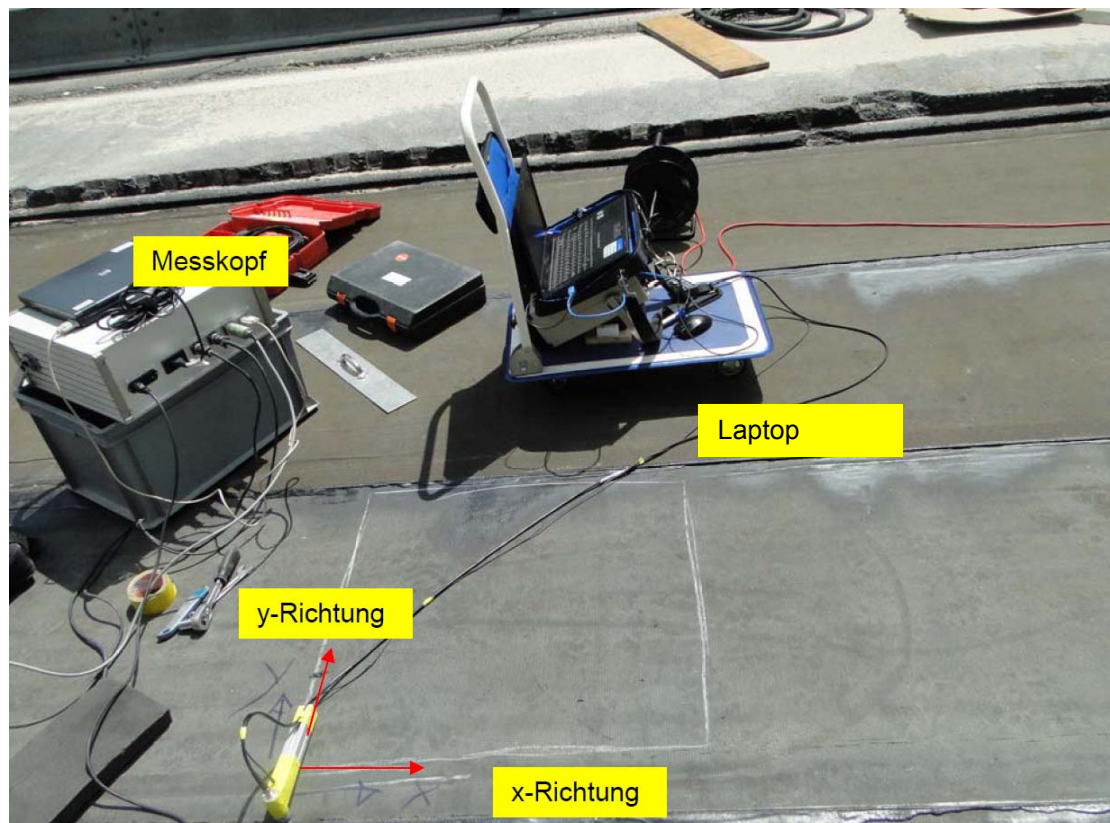
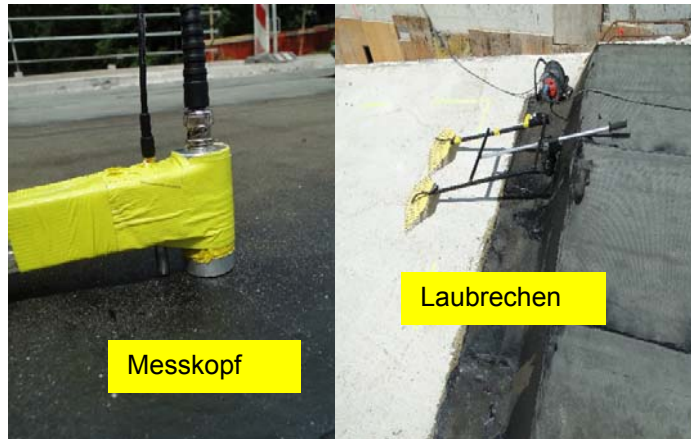


Abb. 56 Messeinrichtung zur Schallanalyse

Die Messung verläuft sehr schnell. Im Schritt- Tempo wird die Szene abgefahren. Dabei liegt der Schalldruckgeber auf der Oberfläche der Abdichtung auf.

Der Messkopf (links) liegt auf der Oberfläche der Abdichtung auf. Die Schallanregung wird mit Wasser als Koppelmittel auf der Oberfläche entlang des Rasters geführt. Das Bild rechts zeigt den Laubrechen.



Im Gegensatz zur geräte-
unterstützten Datenerfas-
sung erlaubt der Laubre-
chen keine Analyse der
erfassten Schwingungs-
frequenzen und Unter-
schiede in der Laubre-
chenführung wirken sich
auf die Interpretation aus.

Abb. 57 Messkopf für die Schallanalyse (links) und Doppel-Laubrechen mit Mikrophone und Kopfhörer (rechts)

7.2.3 Auswertung der Resultate

Sind die Ergebnisse aufgenommen, so stehen diese je nach verwendetem Schalldruck-
geber oder Schalldruckempfänger für verschiedene Auswertungen zur Verfügung. Bei
den Praxismessungen wurden jeweils am Anfang der Messlinie definierte hohe Schall-
druckwellen erzeugt, damit sich die einzelnen Zeilen unterscheiden lassen.

Hohe Schallemission bedeutet
Normale Schallemission bedeutet

Zeilenanfang
Messzeile von 0 cm bis 100 cm

Das folgende Schallbild zeigt ein Resultatbeispiel. Bei dieser Art der Prüfung spielt es
keine Rolle wie schnell der Messkopf über die Prüf- Fläche gezogen wird. Unterschiede
in der Prüfgeschwindigkeit zeigen sich an der Länge der Datensätze zwischen den ein-
zelnen Peaks. Die Zuordnung der Signale zum Messort erfolgt entweder über ein Mess-
rad oder durch die Aufteilung der kontinuierlichen Bewegung auf die Strecke, die geprüft
wurde. Im folgenden Bild sind die Signale im betrachteten Feld auf dem Objekt darge-
stellt. Es sind 10 Streifen mit einer Länge von 1 m.

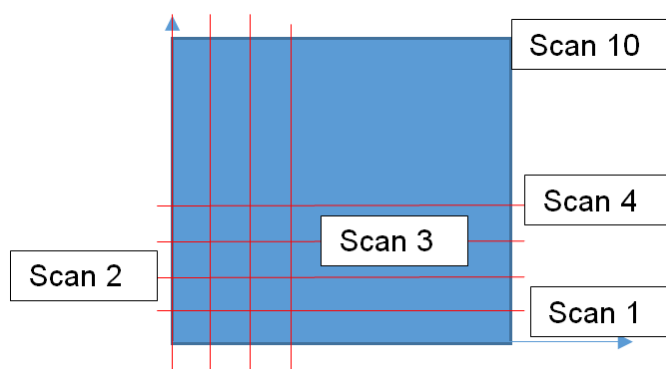


Abb. 58 Schematische Darstellung der aufgenommenen Scans in einem Feld von 1x1 m

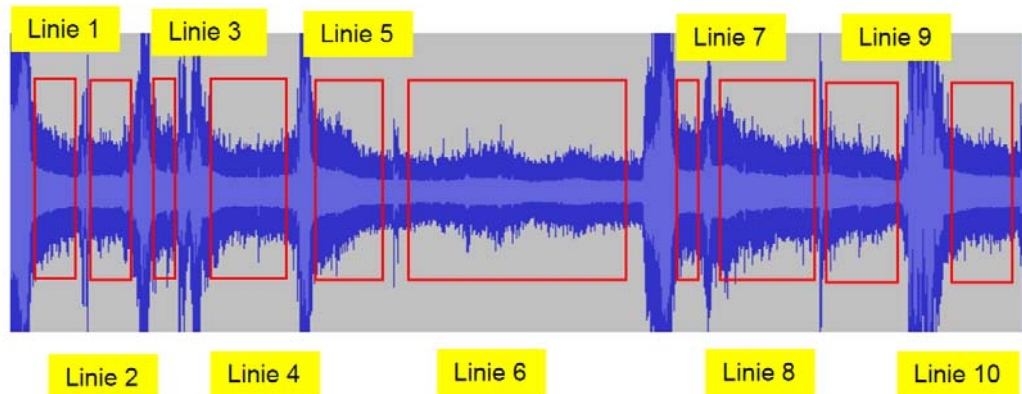


Abb. 59 Signale der Schallmessung an 10 parallelen Messlinien. Beim Anfang und Ende der Scans wurden Schallsignale zur Markierung verwendet.

Am Anfang der Linienmessung wurde jeweils ein akustisches Signal gesetzt damit der Startpunkt der Messreihe bekannt ist. (Grosser Ausschlag im Signal) In der Folge wurden Schallpulse mit 1 kHz ausgesendet und vom Schalldruckgeber aufgenommen.

7.2.4 Objekt 1 „Bünztal“

Im Zuge der Instandstellung des Bünztal-Viaduktes A1 konnten am 30. Juli 2012 auf der PBD-Abdichtung Messungen mit der Methode der Schall-Analyse durchgeführt werden.

Es wurde ein Messfeld auf der Brücke festgelegt und das entsprechende Raster im Messfeld mit der Angabe der x- und y- Richtung aufgezeichnet.



Abb 60 Bünztal-Viadukt im Bauzustand

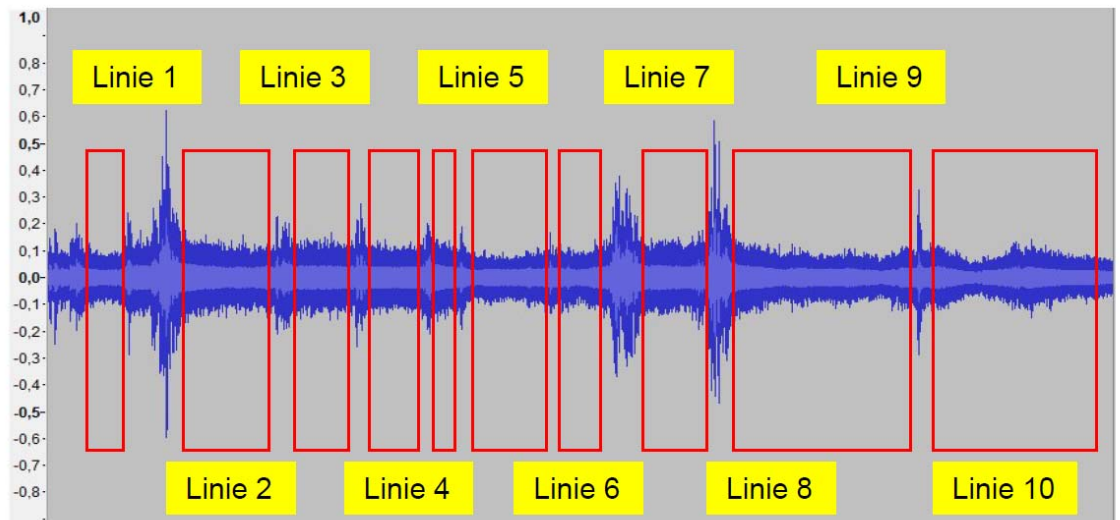


Abb. 61 Signale der Schallmessung an 10 parallelen Messlinien. Beim Anfang und Ende der Scans wurden Schallsignale zur Markierung verwendet.

Die Ergebnisse der Qualitätskontrollen an den applizierten PBD-Bahnen werden wie folgt kommentiert:

Laubrechen-Prüfung: keine Hohlstellen
Schälzugprüfung: Anforderungen erfüllt
Haftzugprüfung: Anforderungen erfüllt

Die Ergebnisse der konventionellen Prüfungen bestätigen das stichprobenweise Ergebnis der Schallanalyse.

7.2.5 Objekt 2 „Lenzburg“

Beim Erhaltungsprojekt N01 Lenzburg-Birrfeld konnten am 09.07.2012 auf dem Objekt 401 (Fahrbahn Richtung Zürich) auf der Überholspur Vergleichsmessungen durchgeführt werden.

Die Frequenzanalyse liefert zu den erfassten Schalldaten viele verschiedene Informationen, welche mangels Erfahrungen nicht eindeutig interpretiert werden können. Um hier Klarheit zu schaffen wären zusätzliche Messungen notwendig. Im Randbereich liefert die Frequenzanalyse ein anderes Signal als in der Mitte des ausgewählten Feldes. Der Grund liegt darin, dass am Randbereich eine Überlappung zur nächsten Abdichtungsbahn besteht.

Die Ergebnisse Qualitätskontrollen an den applizierten PBD-Bahnen werden wie folgt kommentiert:

Laubrechen-Prüfung: keine Hohlstellen
Schälzugprüfung: Anforderungen erfüllt
Haftzugprüfung: Anforderungen erfüllt

Die Ergebnisse der konventionellen Prüfungen bestätigen das stichprobenweise Ergebnis der Schallanalyse.

7.2.6 Objekt 3 „Brienz“

Beim Objekt B 70 der Autobahnausfahrt Brienz wurden am 11.09.2012 Vergleichsmessungen durchgeführt.

Im Messfeld sind die x- und y- Richtungen definiert und die Abstände der zu messenden Linien von je 10 cm im Raster aufgezeichnet.



Abb. 62 Durchführung der Schälzugprüfung im Messfeld der Schallanalyse

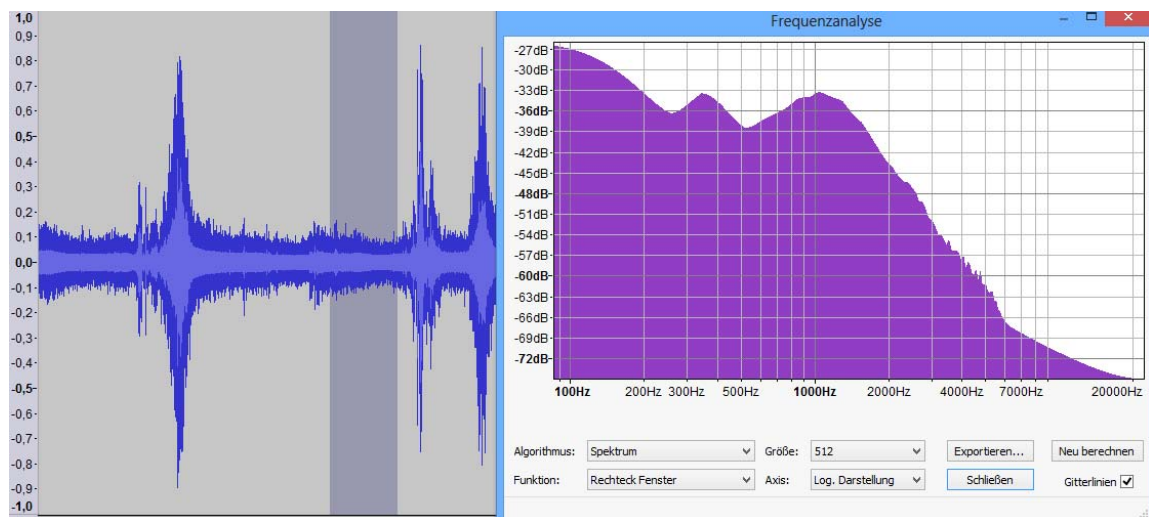


Abb. 63 Signale der Schallmessung

Nach der Erfassung der Schalldaten mit der Schallanregung und mit dem Laubrechen wurde bei jedem Feldversuch auch die Haftzugfestigkeit gemessen.

Die Ergebnisse Qualitätskontrollen an den applizierten PBD-Bahnen werden wie folgt kommentiert:

Laubrechen-Prüfung: keine Hohlstellen
Schälzugprüfung: Anforderungen erfüllt

Die Ergebnisse der konventionellen Prüfungen bestätigen das stichprobenweise Ergebniss der Schallanalyse.

8 Langzeitbeobachtung des Blasenwachstums

Die Testflächen boten optimale Bedingungen für das Wachsen von Blasen. Neben der gezielten Platzierung von Fehlstellen, sowohl unter als auch in der Abdichtung, wurde auch die Dicke der Gussasphaltschicht klein gehalten. Um eine starke Erwärmung der Abdichtung und des Betonuntergrundes zu ermöglichen, wurde nur die Gussasphalt-Schutzschicht 35 mm dick eingebaut. Dadurch wurde auch die Auflast auf die Grenzfläche Beton/Abdichtung reduziert. Optimalere Bedingungen für die Bildung von Blasen kann man sich kaum vorstellen.

Die derart erstellten Prüffelder wurden im Zeitraum April 2010 bis Herbst 2014 der Witterung ausgesetzt. Die Felder wurden periodisch visuell überwacht, um die Entstehung von Blasen zu beobachten. Im Herbst 2014 ergab sich folgendes Gesamtbild:

8.1 FLK PU –Abdichtung auf EP-Grundierung:

In der Testfläche 2.1 konnten keine Blasen festgestellt werden. Es sind weder bei den Fehlstellen unterhalb der Abdichtung noch bei den Fehlstellen in der Abdichtung Blasen entstanden.

8.2 PDB-Abdichtung auf EP-Versiegelung

In der Testfläche 2.2 sind in den Feldern 2.2. A15 und 2.2 A25 Blasen entstanden. Zu den Feldern kann aufgrund deren Nummer folgende Information abgeleitet werden (siehe Abb. 1 und Abb. 3):

- Bearbeitung der Beton-Oberfläche mittels Flügelmachine (A)
- Durchmesser der Fehlstellen: 15 mm
- Beim Feld 2.2. A 15 liegen die Fehlstellen unterhalb der Abdichtung; beim Feld 2.2 A 25 in der Abdichtung

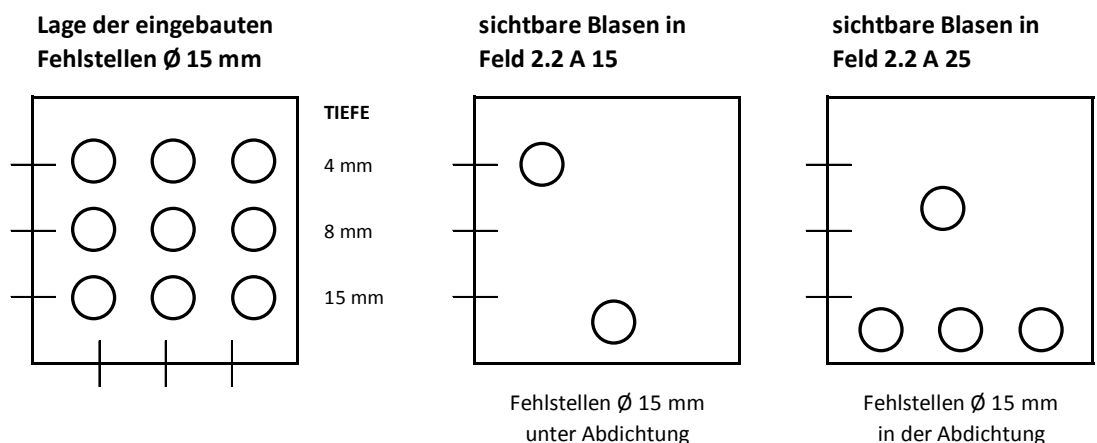


Abb. 64 Lage der Blasen in den Feldern 2.2. A15 und 2.2 A25 der Testfläche „PDB-Abdichtung auf EP-Versiegelung“ sowie Lage der eingebauten Fehlstellen

Die Lage der Fehlstellen innerhalb der Felder (siehe Abb. 64) lässt auf folgendes schließen:

- bei den Fehlstellen im Beton (unterhalb der Abdichtung; Feld 2.2. A15) sind zwei Blasen entstanden; eine bei einer Tiefe der Fehlstelle von 4 mm, die andere bei einer Tiefe von 15 mm. In beiden Fällen betrug der Durchmesser der Fehlstellen 15 mm.
- Bei den Fehlstellen in der PBD-Abdichtung (unterhalb der Gussasphalt-Schutzschicht; Feld 2.2. A25) sind 4 Blasen entstanden; eine bei einer Tiefe der Fehlstelle von 8 mm, die anderen bei einer Tiefe von 15 mm. In beiden Fällen betrug der Durchmesser der Fehlstellen 15 mm.

Es entspricht den allgemeinen Vorstellungen der Blasenbildung dass dort, wo Fehlstellen in der Abdichtung vorliegen vermehrt Blasen entstehen können

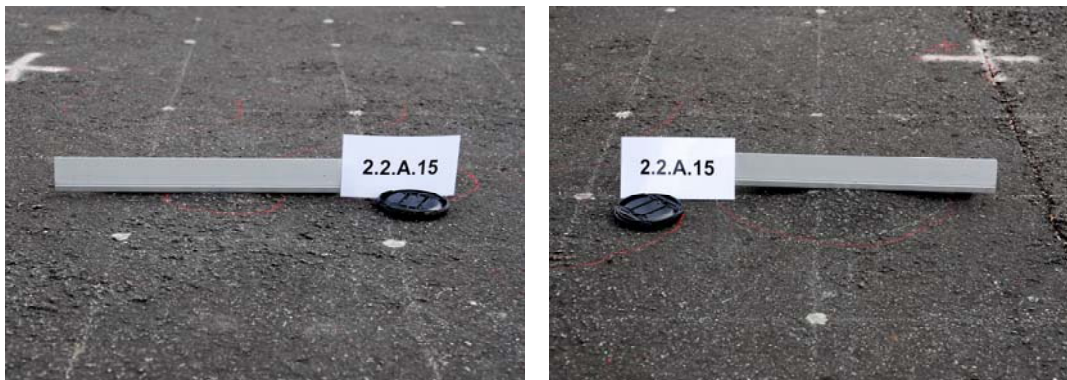


Abb. 65 Fotos der im Feld PBD-Abdichtung auf EP-Versiegelung entstandenen Blasen; Fehlstellen im Beton

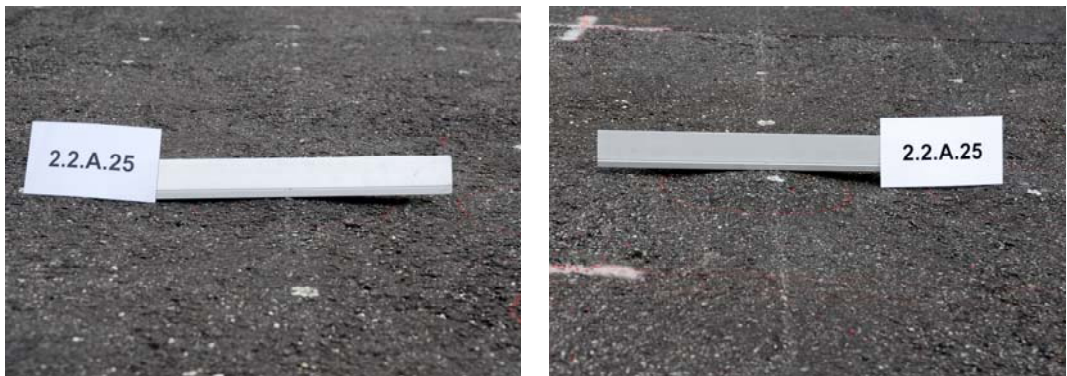


Abb. 66 Fotos der im Feld PBD-Abdichtung auf EP-Versiegelung entstandenen Blasen; Fehlstellen in der Abdichtung

8.3 PBD-Abdichtung auf bituminöser Grundierung

In der Testfläche 2.3 sind im Feld 2.3. A15 Blasen entstanden. Zu diesem Feld kann aufgrund der Nummer folgende Information abgeleitet werden (siehe Abb. 1 und Abb. 3):

- Bearbeitung der Beton-Oberfläche mittels Flügelmachine (A)
- Durchmesser der Fehlstellen: 15 mm
- Fehlstellen unterhalb der Abdichtung

Die Lage der zwei Fehlstellen innerhalb des Feldes zeigt, dass die eine Blase bei einer Tiefe der Fehlstelle von 8 mm, die andere bei einer Tiefe von 15 mm entstanden ist.

Interessanterweise sind keine Blasen entstanden, wo die Fehlstellen die gesamte Abdichtung durchdringen.

8.4 PMMA-Abdichtung

In der Testfläche 2.4 sind im Feld (2.4.) B24 Blasen entstanden. Zu diesem Feld kann aufgrund der Nummer folgende Information abgeleitet werden (siehe Abb. 1 und Abb. 3):

- Bearbeitung der Beton-Oberfläche mittels Vibrobalken (B)
- In diesem Feld wurden keine Fehlstellen eingebaut. Dieses Feld diente zur Qualitätskontrolle der Abdichtung. An den Stellen wo Blasen entstanden sind wurden vor dem Einbau des Gussasphaltes Haftzug- und Schälzugversuche durchgeführt. Die Prüfstellen wurden gem. Abb. 67 instand gestellt.

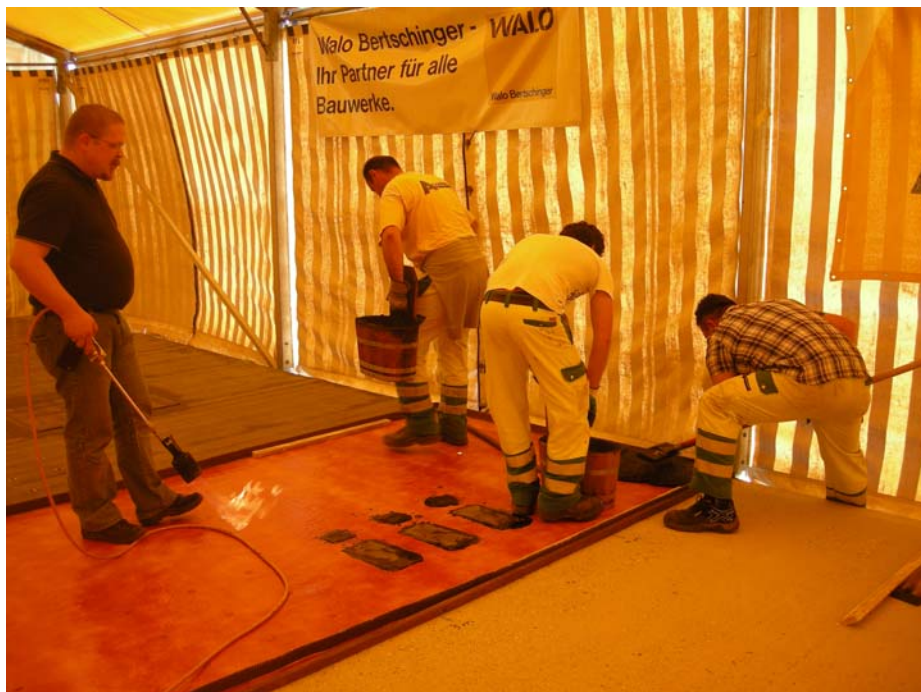


Abb. 67 Foto des Gussasphalteinbaus auf der PMMA-Abdichtung. Gut sichtbar sind die Flickstellen der Prüfstellen über denen später Blasen entstanden sind



Abb. 68 Foto einer Blase im Feld PMMA-Abdichtung. Die Blasen sind an den Stellen entstanden, an denen die Abdichtung geprüft und nachträglich geflickt wurde

8.5 Zusammenfassung zur Blasenbildung

Aus den insgesamt 11 beobachteten Blasen, welche innerhalb der 4-jährigen Beobachtungsphase entstanden sind lassen sich untenstehende Schlüsse ziehen. 3 der 11 Blasen sind, in Flickstellen der Abdichtung entstanden (*Abb. 67*) und können somit nicht den Dimensionen der Fehlstellen zugeordnet werden.

- Tiefe der Fehlstellen
Bei den Fehlstellen mit einer Tiefe von 4 mm sind keine Blasen entstanden. Die meisten Blasen sind bei einer Tiefe von 15 mm entstanden:

Tiefe 4 mm	keine Blasen
Tiefe 8 mm	3 Blasen
Tiefe 15 mm	5 Blasen
- Fehlstellen unter der Abdichtung
Fehlstellen unter der Abdichtung haben nur bei den PBD-Abdichtungen zu Blasen geführt; dies wurde sowohl bei der EP-Grundierung als auch bei der bituminösen Grundierung festgestellt.
- Fehlstellen in der Abdichtung
7 von 11 Blasen sind dort entstanden, wo in der Abdichtung eine Fehlstelle vorlag

9 Folgerungen

9.1 Thermografie

Bei der Thermografie wirken sich verschiedene Einflussfaktoren so stark aus, dass die eingebauten Fehlstellen im überdeckten Zustand, dh. nach dem Einbau der Abdichtung, mit Hilfe der Thermografie nicht mehr zuverlässig festgestellt werden können.

Selbst die grössten Fehlstellen mit einem Durchmesser und einer Tiefe von 15 mm konnten nicht einmal unter der dünnen Schicht Flüssigkunststoff zuverlässig erkannt werden. Nach dem Einbau der Abdichtung erkennt man nur noch das thermische Abbild an den Orten, wo Bohrkerne (Durchmesser 100 mm) aus dem darunterliegenden Beton entnommen worden sind.

Die Einflussfaktoren sind:

- Porosität im Beton
- Feuchtigkeitsgehalt des Betons und allenfalls der Oberfläche
- Rauheit der Oberfläche der obersten Schicht (Abdichtung oder Gussasphalt)
- Unterschiede in der Schichtdicke der eingebauten Schichten
- Strahlungseigenschaft (Absorption und Emission)
- Die Abdichtungssysteme sind thermophysikalisch träge (langsam) was bedeutet, dass sich das kleine Hohlkörpervolumen der Fehlstellen (Durchmesser bzw Tiefe von 4, 8 und 15 mm) unterhalb der Abdichtung nach aussen thermisch nicht abzuzeichnen vermag.

9.2 Radar

Bei den Untersuchungen wurde eine Radarfrequenz von 1500 GHz verwendet. Einzelne Zeitscheiben der Radardaten wurden in 2 mm Schritte durchgerechnet und visualisiert. Trotz dieser minutiösen Auswertung konnten keine Fehlstellen festgestellt werden.

Selbst unter Einbezug der bekannten Lage und Geometrie der Fehlstellen war es nicht möglich diese mittels Radar zu detektieren. Die Hohlstellen mit Durchmesser und Tiefen bis zu 15 mm waren zu klein, um mit der Radartechnik lokalisiert zu werden.

Da in der Praxis Fehlstellen, welche beim Einbau der Abdichtung entstehen können in der Grössenordnung die eingebauten Fehlstellen zu grossen Schäden führen muss man aus den Resultaten schliessen, dass das Radar-Verfahren nicht zur Lokalisation von so kleinen Loslösungen eingesetzt werden kann.

9.3 Ultraschall

Die Ultraschallmessungen wurden auf der Schutzschicht durchgeführt. In den Ultraschallsignalen konnten keine der Fehlstellen festgestellt werden. Selbst unter Einbezug der bekannten Lage und Geometrie der Fehlstellen war es nicht möglich diese zu detektieren.

Die Dicke der Abdichtung und der Gussasphaltschutzschicht beträgt etwa 40 mm. Diese bituminösen Schichten dämpfen das Ultraschallsignal so stark, dass kein reflektiertes Signal empfangen werden konnte.

9.4 Schallanalyse

Die Schallanalyse liefert ein auswertbares Signal. Bei den Messungen auf der eingebauten Abdichtungsschicht zeigt sich der Schalldruck im Bereich guter Haftung zum Untergrund homogen, im Bereich der Fehlstellen – schier unabhängig von der Tiefe der Hohlstelle - aber deutlich verändert. Das Verfahren bietet sich an um auch grosse Flächen zu untersuchen. So wäre es durchaus möglich mit mehreren Messköpfen an einem Balken eine breite Bahn abzufahren, um somit die Leistungsfähigkeit der Messung zu erhöhen.

Das Verfahren ist nur auf der Abdichtungsschicht einsetzbar, auf der überlagerten Schutzschicht ist das Verfahren nicht mehr anwendbar, da die Schichtdicke zu gross ist.

Das Verfahren wurde nachträglich ins Untersuchungsprogramm aufgenommen und nur an den PDB-Abdichtungen untersucht.

9.5 Zusammenfassung

Aufgrund der in verschiedenen Bauphasen durchgeführten Messungen auf den Versuchsfeldern kann das Potential der zerstörungsfreien Prüfmethode abgeschätzt werden. In der Abb. 69 wurden drei Kategorien zur Bewertung der Prüfmethode gebildet:

- 0 die Prüfmethode liefert kein brauchbares Ergebnis
- 1 unter optimalen Bedingungen ist ein brauchbares Ergebnis möglich
- 2 die Prüfmethode ist zuverlässig

Die Bewertung wurde abgestuft vorgenommen, gemäss der Grösse der in den Versuchsfeldern eingebauten Fehlstellen.

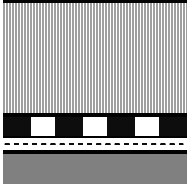
Ergebnisse					geprüfter Aufbau		
					Beton-Untergrund	Abdichtung	Gussasphalt
0 keine Ergebnisse 1 Ergebnisse möglich 2 Ergebnisse positiv							
Prüfmethode	Fehlstellen						
	Tiefe [mm]			Ø			
	4	8	15	[mm]			
Radar	x			4	keine Messungen	keine Messung	0
	x			8			0
	x			15			0
		x		4			0
		x		8			0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

Abb. 69 Zusammenfassung der Anwendbarkeit der verschiedenen zerstörungsfreien Prüfmethoden um Schadstellen verschiedener Grössen in verschiedenen Phasen der Ausführung einer Brücken-Abdichtung zu erkennen.

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. In der Praxis entstehen Blasen aus so genannten Blasenkeimen, welche oft sogar kleiner sind, als die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Fehlstellen mit einem Durchmesser von 4, 8 oder 15 mm und einer Tiefe von 4, 8 oder 15 mm.

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 bei deutlich grösseren Hohlstellen.
- Das Radarverfahren liefert bekanntlich gute Ergebnisse im Falle von Hohlräumen, die mit Wasser gefüllt sind, weil Wasser die Radarwellen absorbiert.

Das Orten von Hohlstellen unter der Abdichtung mittels Schallanalysen war bei grossen Fehlstellen erfolgreich.

Glossar

Begriff	Bedeutung
AGB	Arbeits-Gruppe-Brückenforschung
Bit.	Bituminös, bitumenhaltig
CM-Methode	Carbit- Methode zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes von Beton
DC- AC Wandler	Umwandler von Gleich- in Wechselstrom
D _{max}	Grösstkorn
EP	Epoxidharz
FLK	Flüssigkunststoff
FLK PU	Polyurethan-Flüssigkunststoff
GHZ	Gigahertz
IR	Infrarot
MA	Mastix Asphalt (Gussasphalt)
PBD	Polymerbitumen-Dichtungsbahn
PBD-SBS	Polymerbitumen-Dichtungsbahn mit SBS-modifiziertem Bitumen (Styrol-Butadien-Styrol)
PMMA	Polymethylmethacrylat-Abdichtung
PMMA-FLK	Polymethylmethacrylat-Abdichtung Flüssigkunststoff
PU	Polyurethan (=Kunstharz)
SN	Schweizer Norm
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
WZ-Faktor	Wasser/Zement-Faktor
ZFP	Zerstörungsfreie Prüfung

Literaturverzeichnis

-
- [1] SN 640 450, 2005, Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken.
 - [2] Gubler R.; 2007, Forschungspaket Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Decken auf Betonbrücken - Initialprojekt
 - [3] Schulz R.R., Schmidt T., Hardt R., Riedl R., Baustellengerechte Laser-Profilmessverfahren für die Steuerung und Eigenüberwachung der Oberflächentexturierung von Verkehrsflächen aus Beton, Strasse und Autobahn, 12/2013
 - [4] Angst Ch., Beltzung F., Bosshardt D., Grolimund H.J., Pestalozzi H., 2008: Lärmarme Strassenbeläge innerorts; Schlussbericht 2007; Bundesamt für Umwelt und Bundesamt für Strassen, Bern
 - [5] Torrent, R. & L. F. Luco (2007): Non-destructive evaluation of the penetrability and thickness of the concrete cover.- RILEM Report 40, Springer Verlag
 - [6] Jakobs F. 2006, Luftpermeabilität als Kenngrösse für die Qualität des Überdeckungsbetons von Betonbauwerken, Bundesamt für Strassen ASTRA Bericht 604.
 - [7] Flohrer C., 1999: Messung der Betondeckung und Ortung der Bewehrung; Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Fachtagung Januar 1999
 - [8] Ladner M., 1992: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken; Impulsprogramm Bau, Bundesamt für Konjunkturfagen
 - [9] J. Hugenschmidt, A. Kalogeropoulos (2009) The inspection of retaining walls using GPR, Journal of Applied Geophysics, 67: 335-344
 - [10] Hugenschmidt J., Loser R. (2008) Detection of chlorides and moisture in concrete structures with Ground penetrating radar, Materials and Structures, 41:785-792
 - [11] Wistuba, M. & Lorenzl, H. 2012. Thermografie im Brückenbau - Machbarkeitsstudie für die zerstörungsfreie Überprüfung der Verbundwirkung zwischen Tragkonstruktion aus Beton und Fahrbahnbelägen aus Asphalt. Schlussbericht, 16592 N, Institut für Straßenwesen, Technische Universität Braunschweig
 - [12] Huscsek, S., Arndt, R., Röllig, M. & Maierhofer, C. 2008. Anwendung der Thermografie beim Einbau von Asphaltsschichten. Technische Universität Berlin, Fachgebiet Straßenwesen und Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin.
 - [13] Arndt R. 2010. Thermografie beim Einbau von Asphaltsschichten; Forum Strasse 2010, IMP Bautest AG, Oberbüchsen
 - [14] Vallen H. 2012. Informationsschriften zur zerstörungsfreien Prüfung – ZfP – kompakt und verständlich - Band 6. Die Schallemissionsprüfung; Castell Verlag Wuppertal
 - [15] DGZfP-Fachausschuss 2009. Akustische Resonanzverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung: Prinzip, Vorgehensweise, Merkmale, Validierung. Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 03.09.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2006/514
Projekttitel: Zerstörungsfreie Prüfungen, Beurteilung vom Verbund und Oberflächen
Enddatum: 30.09.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass mit den bekannten Verfahren der zerstörungsfreien Prüfungen (IR, Radar, Ultraschall) die für die baubegleitende Qualitätssicherung von Brückenabdichtungssysteme relevanten Schadstellen im Frühstadium nicht geortet werden können. Für die Früherkennung von Blasenkeimen sind Verfahren erforderlich, welche relativ kleine Fehlstellen von wenigen Zentimetern Durchmesser / Tiefe detektieren. Die untersuchten Verfahren waren nicht in der Lage derart kleine Hohlstellen festzustellen. Dabei wurden sowohl Messungen direkt auf der Abdichtung (Hohlstellen im Betonuntergrund) als auch Messungen auf der Gussasphalt-Schutzschicht (Hohlstellen in der Abdichtung) durchgeführt.

Nachträglich wurde ein weiteres Messverfahren in die Untersuchungen mit aufgenommen. Mit piezokeramischen Sendern wurde auf der Oberfläche der Abdichtung ein akustisches Signal ausgesendet und dessen Reflexion gemessen. Dieses Verfahren eignet sich gut, um Ablösungen der Abdichtung vom Betonuntergrund festzustellen. Diese Methode kann als Alternative zum "Laubrechenverfahren" betrachtet werden, bei welchem Hohlstellen durch akustische Anregung detektiert werden. Der Vorteil der Schallanalyse besteht darin, dass die Signale reproduzierbar erfasst werden, während beim Laubrechenverfahren die georteten Hohlstellen auf der Abdichtung markiert werden müssen. Der Nachteil besteht im wesentlich grösseren messtechnischen Aufwand.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Obwohl keine zerstörungsfreie Prüfung vorgeschlagen werden kann, wurde das Ziel des Projektes dennoch erreicht. Es konnte nachgewiesen werden, dass die bekannten zerstörungsfreien Prüfungen nicht in der Lage sind brauchbare Ergebnisse im Rahmen der baubegleitenden Qualitätskontrollen zu liefern.

Das Projekt erlitt zeitliche Verzögerungen, welche einerseits durch die Herstellung der Probeplatten begründet sind. Zudem wurde die Gelegenheit wahr genommen das Wachstum der Blasen über einen Zeitraum von 3 Jahren zu beobachten.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Ergebnisse zeigen auf, dass die zerstörungsfreien Prüfverfahren IR (Thermografie), Georadar und Ultraschall als Messverfahren zur Früherkennung von Blasenbildungen nicht eingesetzt werden können.

Publikationen:

keine

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Angst

Vorname: Christian

Amt, Firma, Institut: IMP Bautech AG; Hauptstrasse 591; 4625 Oberbuchsitzen

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Das Projekt erreichte die gestellten Ziele, die Brauchbarkeit verschiedener zerstörungsfreier Prüfverfahren, abzuklären. Abgesehen vom Schallanalyseverfahren sind die untersuchten Methoden unzureichend oder ungeeignet, um Blasenkeime zu erfassen.

Umsetzung:

Eine Normierung des Schallanalyseverfahrens ist in Betracht zu ziehen.

weitergehender Forschungsbedarf:

Geräte und Auswerteverfahren sind in dauernder Weiterentwicklung. Insbesondere im Falle Thermografie, die unter optimalen Bedingungen Ergebnisse zu liefern vermochte, ist eine weitergehende Forschung, am besten mit internationaler Kooperation, zu empfehlen.

Einfluss auf Normenwerk:

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Hürzeler

Vorname: Hans

Amt, Firma, Institut: Kanton Aargau, Leiter Kunstbauten der Abteilung Tiefbau

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

VSS FK3:  Dufendorf 4.9.15

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbauasphalt	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflasterungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassennetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffbarkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrsstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
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 Grossversuchsanlage 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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	Projektierungsfreiräume 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 Ganglinienorm	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	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 lärm mindernden 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
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 Parkierungsanlagen	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 Bindemiteleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-côtés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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 Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
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 Datentransfernomen (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 Ver-	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		kehrslastsimulation auf Strassenbelägen	
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven 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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
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 +	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
	AGB 2006/003		
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
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

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
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