

# **Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Brücken- und Ingenieurbau Heft B 122**

**bast**

# **Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken**

von

Manfred Eilers  
Heinz Friedrich  
Bert Quaas  
Eugen Rogalski  
Michael Staeck

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Brücken- und Ingenieurbau Heft B 122**

**bast**

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines  
B - Brücken- und Ingenieurbau  
F - Fahrzeugtechnik  
M - Mensch und Sicherheit  
S - Straßenbau  
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BAST-Archiv ELBA zur Verfügung.  
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

## Impressum

**Bericht zu den Forschungsprojekten:  
F1100.2208008 und F1100.2209006:  
Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur  
Temperierung von Brücken**

### Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0  
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

Fachverlag NW in der  
Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9293

ISBN 978-3-95606-217-9

Bergisch Gladbach, November 2015

## Kurzfassung - Abstract

### Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken

Bei Fahrbahnoberflächen von Brücken und insbesondere von Stahlbrücken besteht gegenüber dem Straßenverlauf vor und hinter der Brücke die Gefahr einer vorzeitigen Glättebildung, da die relativ dünnen Fahrbahntafeln schnell auskühlen, während der dickere Belagsaufbau und der Untergrund auf der freien Strecke wie ein Wärmespeicher wirken. Insbesondere bei Brücken an ungünstigen Standorten, wie in der Nähe von Gewässern oder in Einschnitten, besteht vor allem im Spätherbst und am Beginn des Frühjahrs eine besondere Gefahr für die Verkehrsteilnehmer.

Dieser besonderen Gefährdung des Verkehrs wird derzeit entweder durch Frühwarnsysteme mit vorsorglichem Streudienst oder durch Taumittelsprühanlagen begegnet. Eine weitere Möglichkeit die besondere Gefährdung aus dem Vereisungsverhalten der Brückenfahrbahn zu beseitigen, ist die, den Fahrbahnbelag der gefährdeten Brücken in den kritischen Zeiträumen zu beheizen. Dadurch wird die Salzbelastung für die Umwelt und auch für das Bauwerk reduziert. Im BAST-Bericht B87 „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“ [2] wird diese umweltfreundliche Alternative ausführlich erläutert.

Im Rahmen des hier beschriebenen Projekts wurden ergänzende Untersuchungen durchgeführt, um weiterführende Erkenntnisse über das Verbundverhalten und die Dauerhaftigkeit von Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zu gewinnen und daraus Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Zum einen handelt es sich um Abreißversuche an zwei D-Brückenmodulen mit Fahrbahntemperierung, zum anderen um Langzeitmessungen auf einer Straßenbrücke, bei der im Rahmen einer Erneuerung des Fahrbahnbelags probeweise Rohrregister eingebaut wurden.

Es wurden verschiedene Systeme untersucht, die eine sichere Befestigung der Rohrregister auf der Unterlage gewährleisten und gleichzeitig den Einbau der Deckschicht möglichst wenig behindern. Desweiteren wurde die Ausrichtung der Rohre untersucht und die Dauerhaftigkeit überprüft.

Großflächige Befestigungsgitter haben sich zur Fixierung von Rohrregistern für die in Deutschland üblichen Fahrbahnbeläge als ungeeignet erwiesen, da sie einen ausreichenden Schichtenverbund be-

hindern. Für die Befestigung der Rohrregister sind daher wenig störende Befestigungsmittel wie z.B. halbseitige Rohrschellen zu empfehlen.

Für quer zur Fahrtrichtung ausgeführte Rohrregistern konnte die grundsätzliche Praxistauglichkeit hinsichtlich des Einbaus und der Dauerhaftigkeit unter Verkehrsbelastung nachgewiesen werden. Als entsprechender Nachweis für längs zur Fahrtrichtung ausgeführte Rohrregister dient die erfolgreiche Pilotanwendung bei der Kanalbrücke Berkenthin.

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit konnten im Untersuchungszeitraum von 5 Jahren keine Einschränkungen festgestellt werden. Es wurden weder Risse noch Verformungen im Fahrbahnbelag indiziert. Für eine weitere Beurteilung des Langzeitverhaltens sollten auch zukünftig regelmäßige Begehungen und Messungen erfolgen.

### Mastic asphalt with integrated tube registers for temperature control of bridges

For road surfaces on bridges – particularly steel bridges, there exists the risk of ice prematurely forming on the road in front of and behind the bridge, because the relatively thin bridge decks cool quickly, while the thicker road surface and foundation on the open road act as heat accumulators. Particularly in the case of bridges sited at unfavourable locations, such as close to bodies of water or in ice cuttings, there is a high risk for road users – especially in late autumn and early spring.

This increased safety risk is usually countered by means of intensified winter road maintenance, but this requires a disproportionately high degree of time and personnel deployment. Although automatic spray technology systems can alleviate the problem, they are controversial for ecological and economic reasons. An environmentally friendly alternative is offered by the road surface temperature control procedure, which is comprehensively explained in BAST Report B 87 "Preventing the formation of ice on bridges by using geothermy" [2].

Within the framework of the project described here, supplementary investigations have been conducted for the purpose of gaining deeper knowledge into the bond behaviour and durability of mastic asphalt with integrated tube registers and by this means deriving recommendations for practice. These investigations refer on the one hand to bond strength (tearing) tests on two D-bridge modules using road surface temperature control, and

on the other hand to long-term measurements on a road bridge, in which tube registers were installed on a trial basis as part of the renewal of the road surface.

Various systems were examined to ensure a secure fix of the tube registers on the underlay while at the same time cause as little hindrance as possible to the installation of the deck layer. Furthermore, the alignment of the tubes was analysed and their durability tested.

Large-scale fastening grids have proven unsuitable to fix tube registers on the road surfaces usually found in Germany, as they prevent a sufficient layer bonding. For this reason, less disturbing fastening means are recommended to fix the tube registers in place, such as one-sided tube clamps.

For tube registers laid down transversely to the direction of travel, it has proved possible to meet the basic practical suitability with regard to installation and durability under traffic loads. The successful pilot application on the Berkenthin Canal Bridge serves as appropriate evidence for tube registers installed along the direction of travel.

No limitations with regard to the durability were identified in the course of an examination period of 5 years. As neither cracks nor deformations were detected in the road surface, regular inspections and measurements are also envisaged in the future to assess the long-term behaviour.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1	Glättebildung auf Brücken .....	7
1.2	Projekt „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“ .....	7
1.3	Zielsetzung .....	9
1.4	Aufgabenstellung.....	9
<b>2</b>	<b>Testbrücke .....</b>	<b>9</b>
2.1	Allgemeines .....	9
2.2	Fahrbahntafeln und Rohrregister .....	9
2.3	Abdichtung und Belag .....	10
2.4	Messungen .....	10
2.5	Messergebnisse .....	13
2.5.1	Allgemeines .....	13
2.5.2	Fahrbahntafel A (mit Rohrregister).....	14
2.5.3	Fahrbahntafel B (ohne Rohrregister) .....	18
<b>3</b>	<b>Brücke unter Praxisbedingungen (über BAB A 555).....</b>	<b>22</b>
3.1	Allgemeines .....	22
3.2	Rohrregister.....	22
3.3	Messverfahren mittels Texturlaserprofilometer TL5 .....	22
3.4	Messungen .....	23
3.5	Messergebnisse .....	24
3.5.1	Daten .....	24
3.5.2	Auswertung mit Excel.....	25
3.5.3	Auswertung mit DIADEM.....	25
3.5.4	Optische Begutachtung der Oberfläche ....	27
<b>4.</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>27</b>
4.1	Allgemeines .....	27
4.2	Befestigung .....	27
4.3	Ausrichtung der Rohrregister .....	29
4.4	Dauerhaftigkeit .....	29
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>30</b>
5.1	Allgemeines .....	30
5.2	Testbrücke.....	30
5.3	Brücke unter Praxisbedingungen .....	31
5.4	Schlussfolgerungen.....	31
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>32</b>

## Anlagen

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen BASTArchiv ELBA unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.



# 1 Einleitung

## 1.1 Glättebildung auf Brücken

Bei Fahrbahnoberflächen von Brücken und insbesondere von Stahlbrücken besteht gegenüber dem Straßenverlauf vor und hinter der Brücke die Gefahr einer vorzeitigen Glättebildung, da die relativ dünnen Fahrbahnplatten schnell auskühlen, während der dickere Belagsaufbau und der Untergrund auf der freien Strecke wie ein Wärmespeicher wirken. Dieser Effekt kann sich durch das Zusammenspiel von Wind und Feuchtigkeit schon dann einstellen, wenn die Lufttemperatur noch geringfügig über dem Gefrierpunkt liegt. Diese Gefahr infolge des vereisten Brückenbelages ist für den Straßennutzer nur schwer voraussehbar, wodurch ein erhöhtes Sicherheitsrisiko entsteht. Die Unfallmeldungen im Spätherbst und im zeitigen Frühjahr zeigen dieses Problem immer wieder nachdrücklich auf.

Dieser besonderen Gefährdung des Verkehrs wird derzeit entweder durch Frühwarnsysteme mit vorsorglichem Streudienst oder durch Taumittelsprühanlagen begegnet. Eine weitere Möglichkeit die besondere Gefährdung aus dem Vereisungsverhalten der Brückenfahrbahn zu beseitigen, ist die, den Fahrbahnbelag der gefährdeten Brücken in den kritischen Zeiträumen zu beheizen. Dadurch wird die Salzbelastung für die Umwelt und auch für das Bauwerk reduziert. Die umweltfreundliche Nutzung von Geothermie wäre hierfür eine besonders wirtschaftliche und energiesparende Variante [1].

Ein weiterer Vorteil der Brückentemperierung gegenüber Taumittelsprühanlagen besteht darin, dass neben einer Beheizung des Fahrbahnbelags zur Glättevermeidung im Winter ferner die Möglichkeit besteht, den Asphalt im Sommer zu kühlen und somit die Gefahr der Spurrinnenbildung zu verringern und die Lebensdauer des Belages zu verlängern.

## 1.2 Projekt „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) das Forschungsprojekt FE-Nr. 15.401/2004/ARB „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“ [2] zu diesem Thema ausgeschrieben, vergeben und betreut.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurde eine Brückenheizung entwickelt, die auf der Grundlage des Energietransfers zwischen einem geothermischen Speicher und der Fahrbahndecke beruht. Die in dem Forschungsprojekt untersuchte Lösung unterscheidet sich insbesondere durch zwei innovative Ansätze von bereits ausgeführten Referenzobjekten in europäischen Nachbarländern. Zum einen wird – anstelle einer energieaufwändigen vollständigen Eisfreihaltung (siehe Bild 1) – das Vereisungsverhalten auf dem Brückenbelag an das Vereisungsverhalten vor und hinter der Brücke angepasst.



**Bild 1:** SERSO-Projekt Schweiz (vollständige Eisfreihaltung)



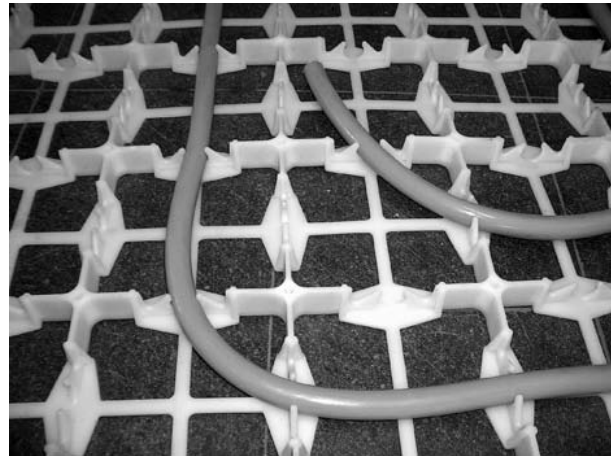
Dies geschieht mit Hilfe einer neu entwickelten Regelungssoftware, die unter Berücksichtigung der meteorologischen und der bauwerkspezifischen Randbedingungen den Energieaufwand minimiert. Zum anderen werden erstmalig die Rohrregister beim Einbau des Fahrbelags in den Gussasphalt integriert. Durch diese Anordnung der Rohrregister wird der Wirkungsgrad einer solchen Brückenheizung optimiert und der Energieverbrauch deutlich gemindert. Außerdem gewährleistet diese Anordnung die für die geplante witterungsabhängige Regelung notwendigen kurzen Reaktionszeiten. Bei den bisher ausgeführten Belagsheizungen wurden die Rohrregister zumeist unter dem Belag angeordnet.

Die Untersuchungen im Rahmen des Projektes bezogen sich auf

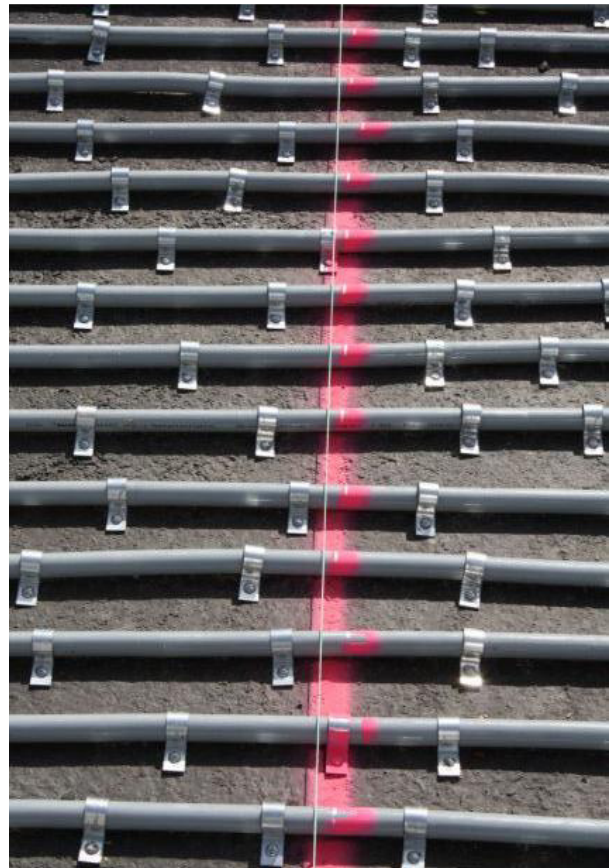
- die konstruktive Gestaltung,
- die thermischen Eigenschaften,
- die mechanische Festigkeit,
- Regelungsstrategien sowie
- die Wirtschaftlichkeit.

Ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen bestand in der Ermittlung der optimalen Lage der für die Beheizung des Brückenbelages notwendigen Rohrregister. Als aus thermischer Sicht optimale Lage stellte sich die Anordnung der Rohrregister in etwa in der Mitte des Brückenbelages heraus. Eine tiefere Lage der Rohrregister erfordert höhere Wärmemengen und erhöht die Wärmeabstrahlung an der Unterseite der Fahrbahntafel, eine höhere Lage der Rohrregister erzeugt große Temperaturunterschiede an der Fahrbahnoberfläche und ist beim Einbau und hinsichtlich der Dauerhaftigkeit problematisch. Der oftmals im Rahmen von Belagsinstandsetzungen vorgenommene Austausch der Deckschicht durch Fräsen und Erneuerung der Deckschicht wäre bei dieser Anordnung nicht möglich.

Die für den Belagseinbau notwendige Fixierung der Rohrregister wurde zunächst mit einem Befestigungsgitter ausgeführt, in das die verwendeten Rohre in definierten Abständen eingeklippt werden (Bild 2). Der Vorteil dieses Befestigungsgitters liegt darin, dass es zum Asphalteinbau befahren werden kann. Diese Befestigungstechnik wurde danach auch bei den ersten praxisnahen Untersuchungen auf einer Testbrücke verwendet. Allerdings gaben der Aufbau und die Dimensionen dieses Befestigungsgitters Anlass zu Bedenken hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems bestehend aus dem Belag, den eingelegten Befestigungsgittern und den Rohrregistern. Für alle



**Bild 2:** Befestigungsgitter



**Bild 3:** Mit Metalllaschen fixierte Rohrregister

nachfolgenden Untersuchungen zur Stabilität und Festigkeit wurden daher Metalllaschen zur Befestigung der Rohrregister verwendet (Bild 3). Zu diesen Untersuchungen zählt insbesondere auch der bereichsweise Rohreinbau auf einer Straßenbrücke im Rahmen einer Erneuerung des Fahrbelags. Hier kann eine Beurteilung des Gesamtsystems unter dem Einfluss realer Beanspruchungen erfolgen.

### 1.3 Zielsetzung

Wesentlicher Gegenstand des o.g. Forschungsprojekts waren experimentelle Untersuchungen zum thermischen Verhalten und zur Stabilität/Festigkeit von Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern. Während bei den thermischen Versuchen weitgehend eindeutige Ergebnisse erzielt wurden, konnten die Fragen hinsichtlich der Festigkeit (Dauerhaftigkeit von Gussasphaltbelägen) mit eingelegten Rohrregistern nicht abschließend geklärt werden. Zum einen ist noch ungeklärt, in welchem Maße das Verbundverhalten des Gesamtsystems durch das Befestigungsgitter beeinträchtigt wird. Zum anderen kann ohne Ergebnisse aus Langzeitmessungen keine abschließende Aussage zur Dauerhaftigkeit getroffen werden. Das Ziel des hier vorgestellten Projektes war, im Rahmen von ergänzenden Untersuchungen weiterführende Erkenntnisse über das Verbundverhalten und die Dauerhaftigkeit von Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zu gewinnen und daraus Empfehlungen für die Praxis abzuleiten.

### 1.4 Aufgabenstellung

Das hier beschriebene Projekt knüpft an das Kapitel 5 „Testfeldmessung“ aus dem o.g. Forschungsprojekt „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“ [2] an, in dem zwei verschiedene Untersuchungen beschrieben werden. Zum einen handelt es sich um zwei D-Brückenmodule mit Fahrbahntemperierung, die im Weiteren – analog dem bisherigen Begriff – als „Testbrücke“ bezeichnet werden. Zum anderen handelt es sich um eine Straßenbrücke, bei der im Rahmen einer Erneuerung des Fahrbahnbelags probeweise Rohrregister eingebaut wurden. Auch in diesem Fall wird die bisherige Bezeichnung „Brücke unter Praxisbedingungen“ beibehalten.

Bei der **Testbrücke** stand im Rahmen des o.g. Projekts vor allem das thermische Verhalten im Mittelpunkt der Untersuchungen, weshalb die Befestigung des Rohrregisters während des Belageinbaus und die Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems bestehend aus dem Belag und den eingelegten Rohrregistern als zweitrangig angesehen wurde. Bei der ausgeführten Variante mittels eines Befestigungsgitters, das zwischen den Gussasphalt-Schichten angeordnet ist, besteht die Gefahr, dass der Haftverbund empfindlich gestört und die Dauerhaftigkeit des Belages signifikant reduziert wird. Entsprechende Untersuchungen waren jedoch nicht Gegenstand des o.g. Projekts. Daher ergibt sich die Aufgabe zu prüfen, inwiefern das Befestigungsgitter den Haftverbund des Gesamtsystems beeinträchtigt.

Bei der **Brücke unter Praxisbedingungen** wurde hingegen primär das Verhalten von eingebauten Rohrleitungen unter realen Verkehrsbedingungen untersucht, wobei innerhalb eines begrenzten Zeitraums keine Schwächung des Belags nachgewiesen werden konnte. Aufgrund der begrenzten Laufzeit des o.g. Projekts existieren bislang allerdings keine Erfahrungen zum Langzeit-Verhalten. Die Aufgabe besteht folglich darin, die Auswirkungen langfristiger Verkehrsbelastungen auf den Fahrbahnbelag mit integrierten Rohrregistern zu dokumentieren und zu bewerten.

## 2 Testbrücke

### 2.1 Allgemeines

Bei den im Rahmen des Projektes FE-Nr. 15.401/2004/ARB [2] an der Testbrücke durchgeführten Untersuchungen standen die Ermittlung der thermischen Eigenschaften sowie die Optimierung der Regelungsstrategien im Vordergrund. Für die Befestigung der Rohrregister während des Belageinbaus wurden daher Befestigungsgitter verwendet (Bild 2). Bei Verwendung dieser Befestigungsgitter besteht jedoch die Gefahr, dass der Schichtenverbund innerhalb des Belagssystems gestört wird.

Aus diesem Grund wurden an den Fahrbahntafeln nach Abschluss der geothermischen Untersuchungen Abreißprüfungen durchgeführt. Diese Abreißprüfungen wurden mit Abreißstempeln der Abmessungen 100 mm x 100 mm zur Bestimmung der Abreißfestigkeit und des Bruchbildes sowie mit Abreißstempeln der Abmessungen 500 mm x 500 mm zur Bestimmung großflächiger Bruchbilder durchgeführt.

### 2.2 Fahrbahntafeln und Rohrregister

Für erste praxisnahe Untersuchungen wurde auf dem Betriebsgelände einer Straßenbaufirma bei Neuss auf einer D-Brücken-Fahrbahntafel der Abmessungen 6 m x 3 m ein Gussasphaltbelag mit einem integrierten Rohrregister eingebaut (Bild 4). Als Referenz wurde auf einer zweiten Fahrbahntafel ein Gussasphaltbelag mit identischem Aufbau jedoch ohne Rohrregister eingebaut. Die beiden Fahrbahntafeln wurden einer Brücke entsprechend aufgeständert und ca. 1 Jahr durch den Werkverkehr befahren. Bei den Untersuchungen standen allerdings nicht die Einwirkungen der verkehrsmäßigen Belastung, sondern die thermische Wirksamkeit der Versuchsanordnung sowie



**Bild 4:** Fahrbahntafeln im ausgebauten Zustand im Brückenlager Willich-Schiefbahn (links beheizbarer Belag)

Untersuchungen zur Steuerungstechnik im Vordergrund. Die Verkehrsbelastung durch den Werksverkehr ist nicht ausreichend, um eine endgültige Aussage über die Dauerhaftigkeit des Belages mit eingebautem Rohrregister unter Verkehrsbelastung treffen zu können.

Für die Fixierung der Rohrregister auf den Fahrbahntafeln wurde das in den Niederlanden entwickelte Befestigungsgitter verwendet. Es wurden drei Befestigungsgitter der Abmessungen 6 m x 1 m verwendet. Bei zwei Gittern betrug der Rohrabstand 10 cm und bei einem Gitter 15 cm. Die einzulegenden Rohre wurden an den Wendepunkten mittels einer Heißluftpistole erwärmt und mittels Biegefeder in die notwendige Form gebracht.

Der ursprünglich geplante Belagsaufbau ist in Bild 5 links dargestellt. Auf einer dünnen Gussasphalt-Schutzschicht sollten das Rohrregister und anschließend die Gussasphalt-Deckschicht in einer größeren Dicke aufgebracht werden. Vorversuche hatten aber gezeigt, dass ein Einbau in dieser Weise ohne zusätzliche Befestigungen nicht möglich ist, da das Rohrregister incl. der Befestigungsgitter beim Einbau der Deckschicht aufschwimmt. Aus diesem Grund wurde der in Bild 5 rechts dargestellte dreilagige Belagsaufbau gewählt. Auf einer dünnen Gussasphalt-Schutzschicht wurden zunächst das Rohrregister und dann eine Zwischenschicht eingebaut. Abschließend wurde die Deckschicht eingebaut. Zur Schonung der Rohrregister erfolgte der Gussasphalteinbau der Zwischenschicht von Hand.

Die im Bild 5 angeführten Schichtdicken stellen die zu wählenden Schichtdicken dar, wenn z.B. bei bestehenden Brücken die übliche Belagsdicke von ca. 7 cm nicht überschritten werden soll. Bei neuen Brücken können unter Anpassung der Übergangskonstruktionen und der Schrammborde eine größere

re Gesamtschichtdicke und somit größere Schichtdicken der einzelnen Lagen gewählt werden, z.B. drei Lagen in der üblicherweise vorgeschriebenen Schichtdicke von jeweils 3,5 cm. Diese Einbaudicken wurden aus pragmatischen Gründen auch für die Beläge auf den Fahrbahntafeln gewählt.

Nach Beendigung der Untersuchungen wurden die beiden D-Brücken-Fahrbahntafeln für die weiteren Untersuchungen im Rahmen des hier vorgestellten Projektes zum D-Brücken-Lager nach Willich-Schiefbahn gebracht.

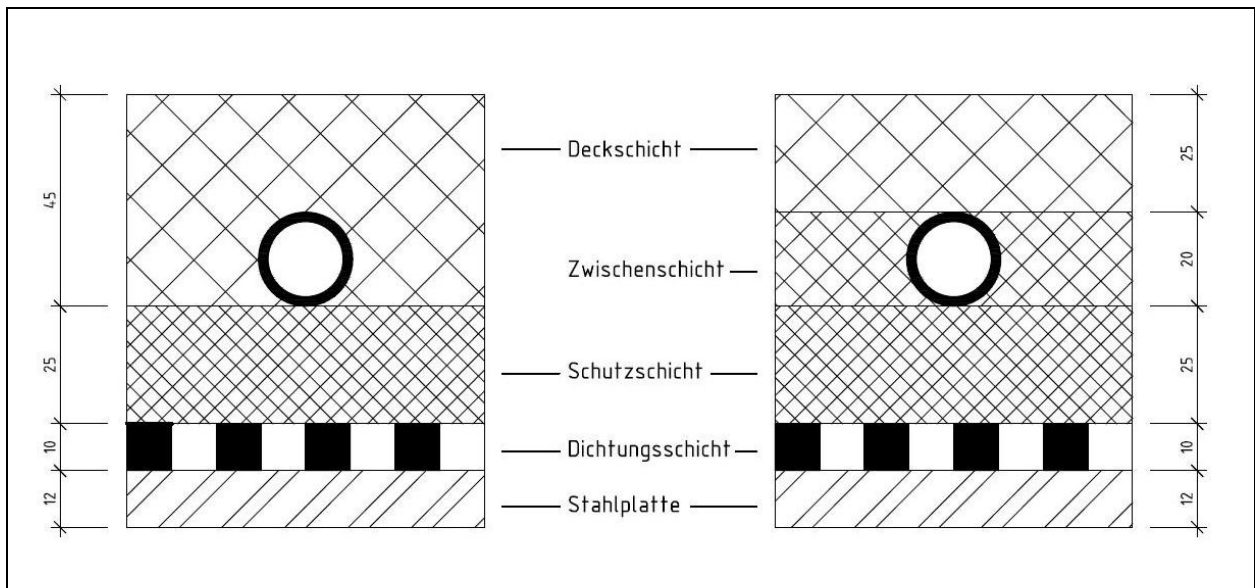
## 2.3 Abdichtung und Belag

Für den Fahrbahnbelag wurde ein Belagsaufbau in Anlehnung an die ZTV-ING Teil 7 Abschnitt 4 [3] gewählt. Als Dichtungssystem wurde die Bauart 1 mit Reaktionsharz-Dichtungssystem verwendet. Diese besteht aus einer Reaktionsharz-Grundierung, einer Reaktionsharz-Haftschiicht mit Abstreuerung sowie einer bitumenhaltigen Pufferschicht. Im Regelfall wird darauf ein Belag bestehend aus einer ca. 3,5 cm dicken Gussasphalt-Schutzschicht MA 11 S sowie einer ca. 3,5 cm dicken Gussasphalt-Deckschicht MA 11 S eingebaut. Aus den unter 2.2 genannten Gründen wurde bei den Fahrbahntafeln einbaubedingt ein dreilagiger Aufbau bestehend aus einer Gussasphalt-Schutzschicht in ca. 3,5 cm Dicke, einer Gussasphalt-Zwischenschicht in ca. 3,5 cm Dicke mit eingelegten Befestigungs- und Rohrregistern sowie einer Gussasphalt-Deckschicht in ca. 3,5 cm Dicke eingebaut. Die im Rahmen dieses Projektes gemessenen tatsächlichen Belagsdicken betragen 9,4 cm bis 13,0 cm.

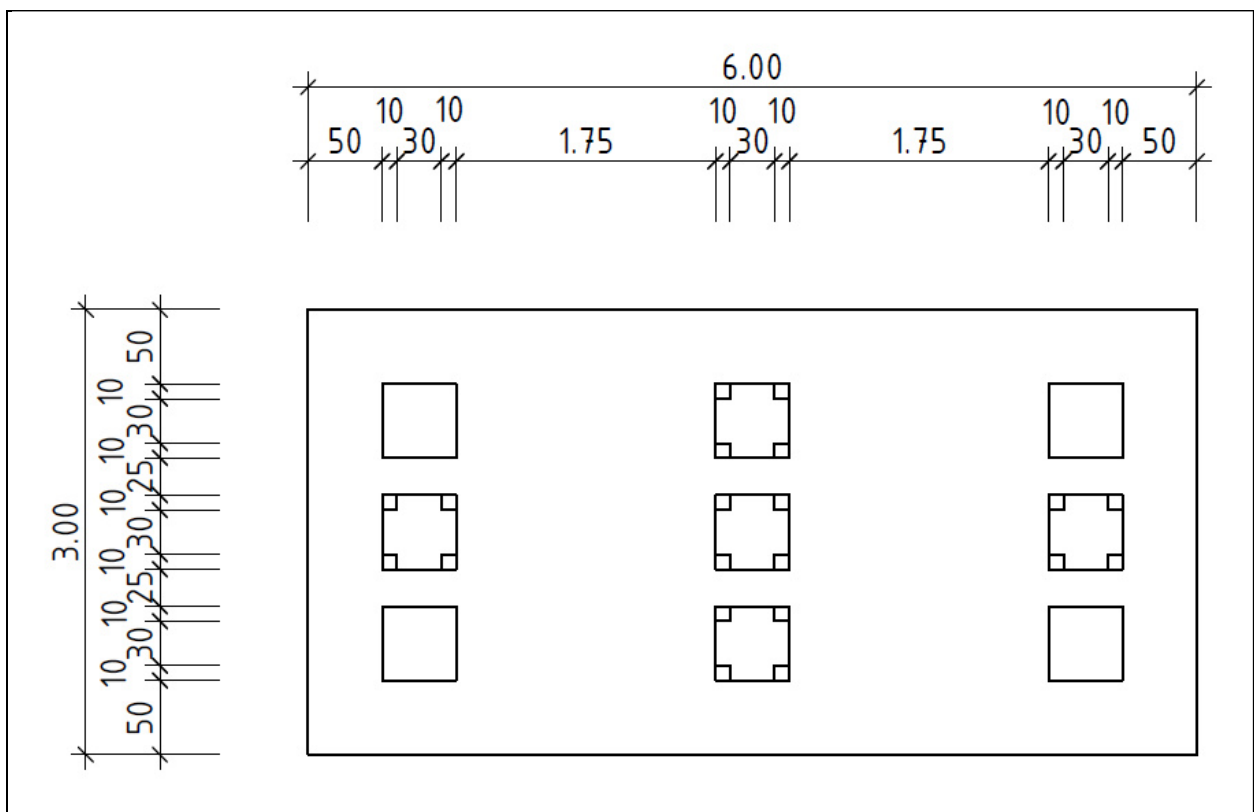
Abweichend vom Regelwerk wurde auf der Pufferschicht ein Vlies angeordnet, worauf im Kapitel 2.5.3.3 eingegangen wird.

## 2.4 Messungen

Um den Einfluss der Rohrregister und vor allen Dingen der Befestigungsgitter auf das Verbundverhalten des Belages zu untersuchen, wurden Abreißversuche durchgeführt. Zur Ermittlung der Abreißfestigkeiten erfolgten 36 Abreißversuche mit quadratischen Stempeln der Abmessungen 100 mm x 100 mm mittels eines elektrischen Haftzugprüfgerätes. Da sich die Bruchbilder besser an möglichst großen Bruchflächen bestimmen lassen, wurden zusätzlich auch 8 Abreißversuche mit Stempeln der Größe 500 mm x 500 mm vorgenommen. Die Abreißfestigkeiten konnten bei diesen Versuchen nicht ermittelt werden, da die maximale Zugkraft der üblicherweise eingesetzten Prüfgeräte für diese Stempelgrößen zu gering ist.



**Bild 5:** Links: Rohrlage auf dünner Schutzschicht – Deckschicht in Überdicke, Rechts: Rohrlage in einer Zwischenschicht



**Bild 6:** Geplante Schnittführung für die Abreißprüfungen

Um eventuelle Randeinflüsse auszuschalten und eine gleichmäßige Verteilung der Messfelder zu erreichen, wurde das in Bild 6 gezeigte Messraster gewählt. Durch die symmetrische Anordnung der Messpunkte konnte auch die Anzahl der Trennschnitte minimiert werden, jedoch musste teilweise aus schneidetechnischen Gründen geringfügig von der geplanten Anordnung abgewichen werden (Bild 7, mittlere Messfelder).

Das Schneiden der Prüfkörper erfolgte mittels einer Fugenschneidemaschine (Bild 8). Anschließend erfolgte das gründliche Säubern der Klebeflächen (Bild 9) und das Aufkleben der Abreißstempel mittels eines Reaktionsharzklebers (Bild 10). Das Abreißen der Prüfstempel 100 mm x 100 mm erfolgte mit einem Haftzugprüfgerät der Klasse 2 nach DIN 51220 [4] (Bild 11). Die für die Prüfkörper der Abmessungen 500 mm x 500 mm verwendeten Abreißstempel sind in Bild 12 dargestellt. Diese Prüfkörper wurden mittels eines Drahtseilgehänges unter Verwendung eines Gabelstaplers von der Unterlage abgezogen (Bilder 13 und 14).



**Bild 7:** Testfeld A mit geschnittenen Prüfkörpern und aufgeklebten Prüfstempeln



**Bild 8:** Schneiden der Prüfkörper



**Bild 9:** Geschnittene Prüfkörper mit gereinigter Oberfläche



**Bild 10:** Aufgeklebter Abreißstempel

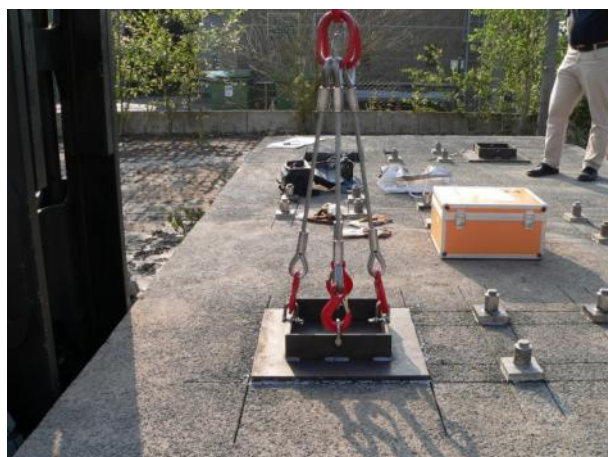


**Bild 11:** Haftzugprüfgerät

Bei einigen Prüfkörpern mussten zusätzlich unter Verwendung eines angeschraubten Trägers und eines hydraulischen Wagenhebers Kräfte aufgebracht werden (Bilder 15 und 16), da das komplette Testfeld durch den Gabelstapler angehoben wurde, d.h. die Abreißfestigkeit des Prüfkörpers größer als das Gewicht der Fahrbahntafel war.



**Bild 12:** Abreißstempel 500 mm x 500 mm



**Bild 13:** Aufgeklebter Abreißstempel für Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 14:** Abgerissener Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 15:** Abreißversuch mit hydraulischem Wagenheber und Gabelstapler (Prüfkörper 500 mm x 500 mm)



**Bild 16:** Gelungener Abreißversuch mit hydraulischem Wagenheber und Gabelstapler (Prüfkörper 500 mm x 500 mm)

## 2.5 Messergebnisse

### 2.5.1 Allgemeines

Die Bestimmung der Abreißfestigkeiten erfolgte getrennt für die beiden Fahrbahntafeln (siehe Kapitel 2.5.2 und 2.5.3). Es wurden jeweils die Abreißfestigkeiten der einzelnen Messungen, die Mittelwerte aus den vier Messpunkten eines jeden Messfeldes sowie der Mittelwert über alle Messwerte einer Fahrbahntafel bestimmt.

Nach erfolgter Abreißprüfung wurden die tatsächlichen Abmessungen der Prüfkörper an der Bruchfläche gemessen und daraus die für die Bestimmung der Abreißfestigkeit wirksame Fläche errechnet. Mit den gemessenen Abreißkräften und den so bestimmten Flächen wurden dann die Abreißfestigkeiten in  $\text{N}/\text{mm}^2$  bestimmt.

Zusätzlich zu den gemessenen Abreißfestigkeiten wurden die Trennfälle nach folgendem Schema angegeben:

- A Kohäsionsbruch in der Reaktionsharz-Grundierungsschicht oder der Reaktionsharz-Haftschrift (Dieser Trennfall kann bei ordnungsgemäßem Einbau der Reaktionsharzschichten nicht auftreten, da dann die Abreißfestigkeiten der Reaktionsharzschichten deutlich über den Abreißfestigkeiten der nachfolgenden bitumenhaltigen Schichten liegen.),
- A/B Adhäsionsbruch zwischen der Reaktionsharz-Haftschrift und der Pufferschicht,
- B Kohäsionsbruch in der Pufferschicht,
- B/C Adhäsionsbruch zwischen der Pufferschicht und der Gussasphalt-Schutzschicht,
- C Kohäsionsbruch im Belag,
- C/Y Adhäsionsbruch zwischen Belag und Klebstoff (in diesem Fall wäre die Messung zu wiederholen),
- Y Kohäsionsbruch im Kleber (in diesem Fall wäre die Messung zu wiederholen).

Die Ermittlung der Abreißfestigkeiten erfolgte in einem Temperaturbereich von 15 °C bis 20 °C.

## 2.5.2 Fahrbahntafel A (mit Rohrregister)

### 2.5.2.1 Stempel 100 mm x 100 mm

Auf der Fahrbahntafel A wurden an vier Messfeldern jeweils vier Messungen, insgesamt also 16 Messungen durchgeführt (für das fünfte Messfeld liegen keine Abreißwerte vor, da die Prüfstempel sich bereits nach den Trennschnitten gelöst hatten). Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Abreißfestigkeiten liegen in einem Bereich zwischen 0 N/mm<sup>2</sup> und 0,32 N/mm<sup>2</sup>. Die Abreißfestigkeit von 0 N/mm<sup>2</sup> ergibt sich dadurch, dass sich ein Prüfkörper schon beim Schneiden der Fugen von der Unterlage gelöst hatte, siehe oben. Die mittlere Abreißfestigkeit (ohne Berücksichtigung des Nullwertes) betrug im Messfeld 1 - 0,20 N/mm<sup>2</sup>, im Messfeld 2 - 0,16 N/mm<sup>2</sup>, im Messfeld 3 - 0,25 N/mm<sup>2</sup> und im Messfeld 4 - 0,16 N/mm<sup>2</sup>. Die mittlere Abreißfestigkeit über alle Messungen betrug 0,19 N/mm<sup>2</sup>.

Als Trennfall ergab sich bis auf eine Ausnahme jeweils ein 100%-iger Bruch im Belag (Trennfall C). Dabei erfolgte der Bruch in jedem Fall zwischen der Schutzschicht und der Zwischenschicht, also immer in Höhe der Unterkante des Befestigungsgitters. In keinem Fall erfolgte die Trennung an den eingelegten Rohren. In den Bildern 17 bis 19 sind diese Trennfälle exemplarisch dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass an der Unterseite der Befestigungsgitter kein Haftverbund zwischen dem

Befestigungsgitter und dem Asphalt der Schutzschicht bzw. der Zwischenschicht besteht. Es befinden sich keinerlei Anhaftungen von Bitumen an der Unterseite der Befestigungsgitter. Bei der Betrachtung der Unterlage erkennt man, dass mit großer Wahrscheinlichkeit zwischen der Unterseite des Befestigungsgitters und der Unterlage (Schutzschicht) beim Einbau der Zwischenschicht Hohlräume entstanden sind, die sich beim Schneiden der Probekörper mit Schneidschlamm gefüllt haben (Bilder 20 und 21). Besser ist dies noch bei den unten beschriebenen Ausbaustücken der Abmessungen 500 mm x 500 mm zu erkennen (Bild 22).

Die Bruchbilder und die gemessenen Abreißfestigkeiten lassen deutlich erkennen, dass der Haftverbund zwischen der Schutzschicht und der Zwischenschicht durch die eingebrachten Befestigungsgitter gestört wird. Die mittlere Abreißfestigkeit von 0,19 N/mm<sup>2</sup> liegt deutlich unter der in den ZTV-ING 7-4 [3] geforderten Abreißfestigkeit von > 0,4 N/mm<sup>2</sup> (bei 20 °C) für das Gesamtsystem bestehend aus Grundierung, Haftschrift, Pufferschicht und Gussasphaltbelag. Dabei resultiert diese Anforderung an die Abreißfestigkeit aus der Mindestabreißfestigkeit des schwächsten Elementes des Gesamtsystems, in diesem Fall also der Pufferschicht. Für den Gussasphaltbelag selber sind unter normalen Bedingungen Abreißfestigkeiten von > 1 N/mm<sup>2</sup> zu erwarten [5]. Der Haftverbund innerhalb des Gussasphaltbelages wird durch die verwendeten Befestigungsgitter deutlich verringert.

### 2.5.2.2 Stempel 500 mm x 500 mm

Zusätzlich wurden an der Fahrbahntafel A auch vier Ausbaustücke mit Abreißstempeln der Abmessungen 500 mm x 500 mm entnommen. Auch bei den Untersuchungen an diesen Abreißstempeln zeigte sich das gleiche Bruchverhalten. Wie die Bilder 23 und 24 zeigen, erfolgte der Bruch in allen Fällen in der Grenzfläche zwischen der Zwischenschicht und der Schutzschicht in Höhe der Unterseite der Befestigungsgitter. Auch an diesen Ausbaustücken sieht man deutlich, dass an der Unterseite der Befestigungsgitter kein oder nur ein geringer Haftverbund zwischen dem Gussasphalt und dem Befestigungsgitter besteht. Bei einer genaueren Betrachtung der Unterlagen im Bereich der ausgebauten Asphaltstücke erkennt man, dass sich unter den Befestigungsgittern Schneidschlamm abgesetzt hat (Bilder 25 bis 27). Dies bestätigt nicht nur den mangelnden Haftverbund zwischen dem Gussasphalt und dem Befestigungsgitter in diesen Bereichen, sondern zeigt auch, dass hier in vielen Fällen ein Hohlraum bestanden hat.

Die stehen gebliebenen Zwischenstücke zwischen den Ausbaustücken ließen sich relativ leicht und ohne Beschädigung herausbrechen (Bild 28).

Auffällig ist, dass augenscheinlich zwischen dem Asphalt und den Rohrregistern selber ein besserer Haftverbund besteht. Es wurden keine Ablösungen des Asphaltens von den Rohren festgestellt. Die Rohre wirkten gut in den Asphalt eingebunden, während die Befestigungsgitter zumindest an der Unterseite so gut wie keinen Verbund mit dem Asphalt aufwiesen (Bilder 29 und 30).



**Bild 17:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 18:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 19:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 20:** Testfeld A, Unterseite und Unterlage Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 21:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 100 mm x 100 mm



Messgröße	Messfeld 1	Messfeld 2	Messfeld 3	Messfeld 4	Messfeld 5	Dimension
Länge	-	99	102	105	103	mm
Breite	-	106	95	99	108	mm
Fläche	-	10494	9690	10395	11124	mm <sup>2</sup>
Kraft	-	2138	1879	2750	892	N
Abreißfestigkeit	-	0,2037	0,1939	0,2646	0,0802	N/mm <sup>2</sup>
A/B	-	0	0	0	0	%
B	-	0	0	0	0	%
B/C	-	0	0	0	0	%
C	-	100	100	100	100	%
Länge	-	101	100	102	102	mm
Breite	-	100	103	99	95	mm
Fläche	-	10100	10300	10098	9690	mm <sup>2</sup>
Kraft	-	250	0	1890	1637	N
Abreißfestigkeit	-	0,0248	0	0,1872	0,1689	N/mm <sup>2</sup>
A/B	-	0	0	0	0	%
B	-	0	0	0	0	%
B/C	-	0	0	0	0	%
C	-	100	100	100	100	%
Länge	-	98	100	105	102	mm
Breite	-	105	95	93	99	mm
Fläche	-	10290	9500	9765	10098	mm <sup>2</sup>
Kraft	-	3251	2825	2572	2100	N
Abreißfestigkeit	-	0,3159	0,2974	0,2634	0,208	N/mm <sup>2</sup>
A/B	-	0	0	0	0	%
B	-	0	0	0	0	%
B/C	-	0	0	0	0	%
C	-	100	100	100	100	%
Länge	-	103	96	92	103	mm
Breite	-	102	104	99	92	mm
Fläche	-	10506	9984	9108	9476	mm <sup>2</sup>
Kraft	-	2783	1633	2672	1707	N
Abreißfestigkeit	-	0,2649	0,1636	0,2934	0,1801	N/mm <sup>2</sup>
A/B	-	0	0	0	0	%
B	-	0	0	0	0	%
B/C	-	100	0	0	0	%
C	-	0	100	100	100	%
<b>Mittelwerte (je Messstelle)</b>						
Abreißfestigkeit	-	0,20	0,16	0,25	0,16	N/mm <sup>2</sup>
A/B	-	0	0	0	0	%
B	-	0	0	0	0	%
B/C	-	25	0	0	0	%
C	-	75	100	100	100	%
<b>Mittelwerte (gesamt)</b>						
Abreißfestigkeit			0,19			N/mm <sup>2</sup>
A/B			0			%
B			0			%
B/C			6,25			%
C			93,75			%

Tab.: 1: Abreißfestigkeiten und Bruchfläen Testfeld A (mit Rohrregister)

Messgröße	Messstelle 1	Messstelle 2	Messstelle 3	Messstelle 4	Messstelle 5	Dimension
Länge	102	97	105	115	110	mm
Breite	103	104	106	109	97	mm
Fläche	10506	10088	11130	12535	10670	mm <sup>2</sup>
Kraft	2115	3400	5948	8310	7305	N
Abreißfestigkeit	0,201	0,337	0,5344	0,663	0,685	N/mm <sup>2</sup>
A/B	0	100	0	0	0	%
B	0	0	10	5	15	%
B/C	100	0	90	95	85	%
C	0	0	0	0	0	%
Länge	106	100	102	104	101	mm
Breite	108	101	108	105	100	mm
Fläche	11448	10100	11016	10920	10100	mm <sup>2</sup>
Kraft	6274	2378	6019	6655	6660	N
Abreißfestigkeit	0,548	0,2354	0,5464	0,609	0,659	N/mm <sup>2</sup>
A/B	15	100	0	15	15	%
B	0	0	0	0	0	%
B/C	85	0	100	85	85	%
C	0	0	0	0	0	%
Länge	97	117	113	114	108	mm
Breite	105	109	104	100	108	mm
Fläche	10185	12753	11752	11400	11664	mm <sup>2</sup>
Kraft	3435	4187	2081	8748	2224	N
Abreißfestigkeit	0,337	0,3283	0,1771	0,767	0,191	N/mm <sup>2</sup>
A/B	0	0	30	0	0	%
B	0	0	0	10	0	%
B/C	100	100	70	90	100	%
C	0	0	0	0	0	%
Länge	100	116	107	101	100	mm
Breite	107	97	104	102	107	mm
Fläche	10700	11252	11128	10302	10700	mm <sup>2</sup>
Kraft	6430	4172	7623	6779	3361	N
Abreißfestigkeit	0,601	0,3708	0,685	0,658	0,314	N/mm <sup>2</sup>
A/B	10	10	15	0	0	%
B	5	0	0	5	0	%
B/C	85	90	85	95	100	%
C	0	0	0	0	0	%
<b>Mittelwerte (je Messstelle)</b>						
Abreißfestigkeit	0,42	0,32	0,43 (0,49)	0,67 (0,67)	0,46	N/mm <sup>2</sup>
A/B	6,25	52,5	22,50	7,5	3,75	%
B	1,25	0	0	2,5	3,75	%
B/C	92,5	47,5	77,5	90,0	92,50	%
C	0	0	0	0	0	%
<b>Mittelwerte (gesamt)</b>						
Abreißfestigkeit			0,44 (0,47)			N/mm <sup>2</sup>
A/B			18,5			%
B			1,5			%
B/C			80,0			%
C			0			%

Tab.: 2: Abreißfestigkeiten und Bruchflächen Testfeld B (ohne Rohrregister)



**Bild 22:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 25:** Testfeld A, Unterlage Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 23:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 26:** Testfeld A, Unterseite und Unterlage Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 24:** Testfeld A, Unterseite Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 27:** Testfeld A, Unterlage Prüfkörper 500 mm x 500 mm, Schneidschlamm unter den Befestigungsgittern

### 2.5.3 Fahrbahntafel B (ohne Rohrregister)

#### 2.5.3.1 Stempel 100 mm x 100 mm

Als Referenzmessung wurde auch an der Fahrbahntafel ohne Rohrregister das an der Fahr-

tafel A durchgeführte Messprogramm durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Die gemessenen Abreißfestigkeiten lagen zwischen  $0,19 \text{ N/mm}^2$  und  $0,77 \text{ N/mm}^2$ . Die mittleren Abreißfestigkeiten je Messfeld (Mittel aus vier

Messungen) betragen für das Messfeld 1 - 0,42 N/mm<sup>2</sup>, für das Messfeld 2 - 0,32 N/mm<sup>2</sup>, für das Messfeld 3 - 0,49 N/mm<sup>2</sup>, für das Messfeld 4 - 0,67 N/mm<sup>2</sup> und für das Messfeld 5 - 0,46 N/mm<sup>2</sup>. Das Mittel über alle Messungen betrug 0,47 N/mm<sup>2</sup>. Allerdings zeigte die Kontrolle der abgezogenen Messstempel, dass in vier Fällen die Trennschnitte nicht bis zur Unterlage reichten, der Gussasphalt also nicht vollständig durchtrennt war. Bei diesen vier Messstempeln (B3-1, B3-2, B4-1 und B4-3) sind daher zu große Abreißfestigkeiten gemessen worden. Eine Auswertung der Abreißfestigkeiten ohne diese vier Messstempel ergibt für das Messfeld 1 - 0,42 N/mm<sup>2</sup>,



**Bild 28:** Großflächig entfernte Zwischen- und Deckschicht



**Bild 29:** Einbindung Rohrleitung



**Bild 30:** Einbindung Rohrleitung

für das Messfeld 2 - 0,32 N/mm<sup>2</sup>, für das Messfeld - 0,43 N/mm<sup>2</sup>, für das Messfeld - 0,67 N/mm<sup>2</sup> und für das Messfeld 5 - 0,46 N/mm<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich eine mittlere Abreißfestigkeit von 0,44 N/mm<sup>2</sup>. Die mittlere Abreißfestigkeit liegt damit geringfügig über der Anforderung von 0,4 N/mm<sup>2</sup>.

Die gefundenen Bruchbilder lassen auf einen qualitativ sehr unterschiedlichen Einbau des Dichtungssystems schließen. Es überwiegen zwei verschiedene Bruchbilder, entweder ein nahezu 100%-iger Bruch in der Verbindung zwischen der Reaktionsharz-Haftschiicht und der bitumenhaltigen Pufferschicht oder ein nahezu 100%-iger Bruch zwischen der Pufferschicht und der Gussasphalt-Schutzschicht. Dabei muss aber vermerkt werden, dass von der einbauenden Firma zwischen der Pufferschicht und der Gussasphalt-Schutzschicht ein Vlies eingebracht wurde.

Der Mittelwert für die Abreißfestigkeit von 0,44 N/mm<sup>2</sup> darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die geforderte Abreißfestigkeit von 0,4 N/mm<sup>2</sup> in einigen Bereichen der Fahrbahntafel deutlich unterschritten wurde (während er in anderen Bereichen, wie bei ordnungsgemäßem Einbau üblich, deutlich überschritten wurde). Diese deutlichen Unterschreitungen der geforderten Abreißfestigkeiten lassen sich auf zwei Ursachen zurückführen.

Die eine Ursache, bei den Trennfällen zwischen der Reaktionsharz-Haftschiicht und der Pufferschicht, ist der nicht sachgerechte Einbau der Haftschiicht. Wie in den Bildern 31 und 32 zu erkennen ist, wurde die Haftschiicht, zumindest in einigen Bereichen, viel zu stark abgestreut. Die Abstreutung bildet eine zusammenhängende Fläche, wodurch der Haftverbund der Pufferschicht verschlechtert wird, was durch die Kornform der Abstreutung verstärkt wird. In dem in Bild 31 gezeigten Bereich betrug die Abreißfestigkeit 0,24

N/mm<sup>2</sup>, in dem in Bild 32 gezeigten Bereich 0,34 N/mm<sup>2</sup>.

Die andere Ursache, bei den Trennfällen zwischen der Pufferschicht und der Schutzschicht, ist überwiegend die in den Vorschriften nicht vorgesehene und zudem nicht fachgerechte Anordnung eines Vlieses zwischen der Gussasphalt-Schutzschicht und der Pufferschicht. Wie die Bilder 33 bis 35 zeigen, erfolgte der Bruch oftmals in Höhe dieses Vlieses mit deutlich verringerten Abreißfestigkeiten. In dem im Bild 33 gezeigten Bereich betrug die Abreißfestigkeit 0,19 N/mm<sup>2</sup> und in dem in Bild 34 gezeigten Bereich 0,31 N/mm<sup>2</sup>.

### 2.5.3.2 Stempel 500 mm x 500 mm

Auch bei den Untersuchungen der Abreißstempel der Abmessungen 500 mm x 500 mm zeigte sich das gleiche Verhalten. Die Trennung erfolgte zwischen der Gussasphalt-Schutzschicht und der Pufferschicht entlang des eingelegten Vlieses. In den Bildern 36 und 37 ist deutlich der Bruch zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht in Höhe des eingelegten Vlieses zu erkennen. Teilweise trat aber auch eine Mischform der Trennung zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht sowie der Trennung zwischen der Pufferschicht und der Haftschrift auf.

### 2.5.3.3 Vlies

Vliese sind in der Vergangenheit mehrfach erfolgreich eingesetzt worden, wenn in Bereichen großer Belagsverformungen, also z.B. über den Hauptträgern oder Querträgern von Stahlbrücken, eine Rissbildung im Belag oder das Durchschlagen von Rissen in der Deckschicht in die Schutzschicht verhindert werden soll. In diesen Fällen wird zwischen der Schutzschicht und der Deckschicht ein Vlies angeordnet, welches z.B. mit Pufferschichtmasse zwischen diese beiden Schichten geklebt wird [6]. Es ist oftmals nicht zielführend, dieses Vlies ohne zusätzliche Pufferschichtmasse auf die Schutzschicht aufzubringen. Erst die zusätzliche Pufferschichtmasse gewährleistet bei ausreichender Erwärmung beim Einbau der Deckschicht eine gleichmäßige Verklebung des Vlieses sowohl mit der Schutzschicht als auch mit der Deckschicht und somit einen gleichmäßigen Haftverbund zwischen diesen Schichten. Ist die ausreichende Verklebung nicht sichergestellt, so kann das eingelegte Vlies wie eine Trennschicht wirken [7].



**Bild 31:** Abstreung Haftschrift (im Überschuss), Schichten-trennung ohne Bindemittelreste auf der Unterlage, Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 32:** Abstreung Haftschrift (im Überschuss), Schichten-trennung ohne Bindemittelreste auf der Unterlage, Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 33:** Verbundversagen zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht in Höhe des Vlieses, Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 34:** Verbundversagen zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht in Höhe des Vlieses, Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 37:** Verbundversagen zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht in Höhe des Vlieses, Prüfkörper 500 mm x 500 mm



**Bild 35:** Verbundversagen zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht in Höhe des Vlieses, Ansicht Unterlage, Prüfkörper 100 mm x 100 mm



**Bild 36:** Verbundversagen zwischen der Schutzschicht und der Pufferschicht in Höhe des Vlieses, Prüfkörper 500 mm x 500 mm

### 3 Brücke unter Praxisbedingungen (über BAB A 555)

#### 3.1 Allgemeines

Im Rahmen der Erneuerung des Fahrbahnbelags auf einer Brücke im Zuge der L 150 über die BAB A 555 wurden Ende Oktober 2007 probeweise Rohrregister in den Asphalt eingebaut, um die Auswirkungen der Rohrregister auf den Fahrbahnbelag, insbesondere auf die Ebenheit und die Dauerhaftigkeit unter Praxisbedingungen zu untersuchen. Die Brücke „AS Köln-Rodenkirchen“ (Bild 38) befindet sich in Köln-Giesdorf und hat die BW-Nr. 5107509. Es handelt sich um eine Zweifeldbrücke mit einem Spannbetonplattenbalken. Das 1966 fertiggestellte Bauwerk ist 52,00 m lang, 21,00 m breit und verfügt über drei Fahrstreifen. Da sich der Schwerpunkt der Untersuchung in diesem Projekt auf die Dauerhaftigkeit der Deckschicht bezieht, erfolgte keine Temperierung der Fahrbahn. Um mögliche Veränderungen im Bereich der Oberfläche feststellen zu können, erfolgten regelmäßige Begehungen und Ebenheitsmessungen mit einem Texturprofilometer.

#### 3.2 Rohrregister

Der Einbau der Rohrregister erfolgte an der östlichen Aus- und Auffahrt der Brücke in beiden Fahrtrichtungen in jeweils zwei Feldern (Bild 39). Es wurden aluminiumummantelte PE-Xa-Rohre mit Durchmessern von 16 mm und 20 mm verwendet. Der Rohrabstand beträgt bei allen Probeflächen jeweils 10 cm, wie auch bei der Pilotanwendung in Berkenthin [2], [8]. Ein Unterschied beim Aufbau der Rohrregister im Belag besteht in der Verlegerichtung der Rohrregister. Beim Pilotversuch in Berkenthin wurden die Rohre längs in Fahrtrichtung ausgerichtet und hier quer zur Fahrtrichtung.

In Fahrtrichtung Aachen (in [2] als FR. Immendorf bezeichnet) wurden zwei Felder der Größe 0,5 m x 3,0 m angelegt und die Fixierung der Rohre erfolgte mit zugeschnittenem Lochband und Schrauben. Die Gussasphalt-Deckschicht wurde in diesem Bereich von Hand eingebaut. In Fahrtrichtung Rodenkirchen (in [2] als FR. IKEA bezeichnet) wurden zwei Felder der Größe 1,0 m x 3,0 m angelegt und die Rohre mit Metallaschen und einem Nagelschussgerät befestigt. Der Einbau der Gussasphalt-Deckschicht erfolgte hier maschinell wobei zum Schutz der Rohre beim Anliefern des Gussasphaltes Holzbohlen zwischen die Rohre gelegt wurden, die mit dem fortschreitenden Einbau entfernt wurden.



Bild 38: Brücke „AS Köln-Rodenkirchen“

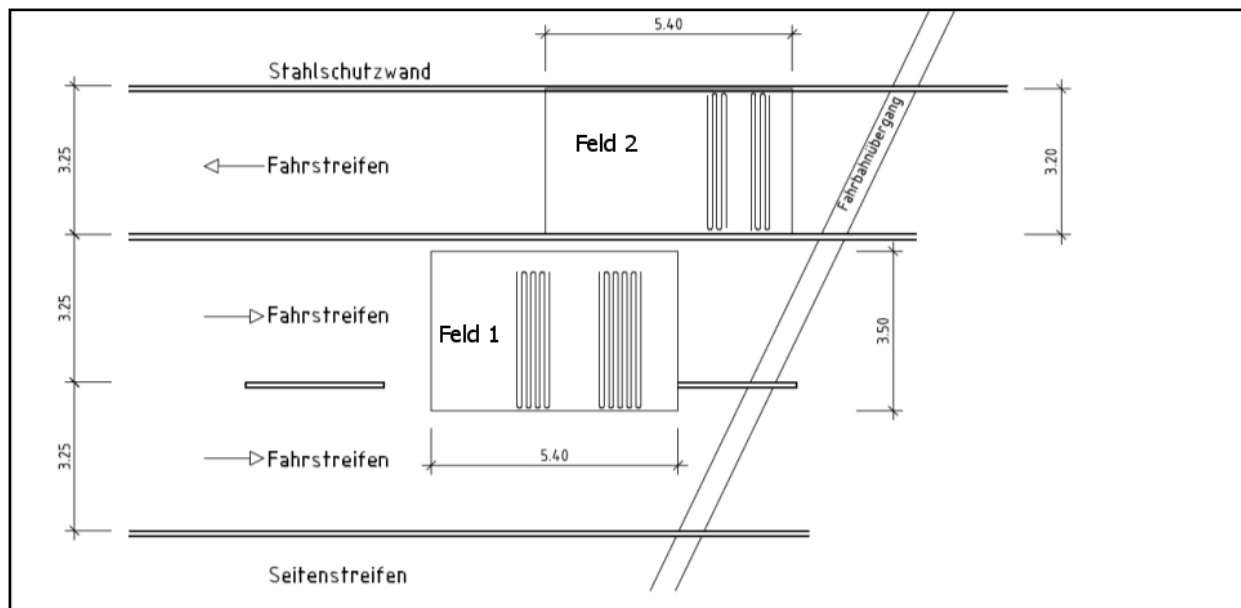
#### 3.3 Messverfahren mittels Texturlaserprofilometer TL5

Das Texturlaserprofilometer TL5 (Bild 40) ermöglicht eine berührungslose, 2-dimensionale Erfassung von Straßenoberflächen im Makro- und Megatexturbereich.

Das Profilometer besteht aus einem 5,5 m langen Balken mit mobilem Lasermesskopf und arbeitet nach dem Triangulationsprinzip.

Die allgemeine Funktionsweise der Triangulationsverfahren besteht darin, dass die Oberfläche eines Messobjektes mit einer geeigneten Lichtquelle (z.B. Laser) beleuchtet wird und das reflektierte Licht mit Hilfe eines optoelektronischen Sensors (z.B. CCD-Zeile, CMOS-Array oder CCD-/CMOS-Kamera) aufgenommen wird. Im einfachsten Fall der Triangulation wird mit einem Laser ein Lichtfleck auf die Oberfläche des Messobjektes projiziert. Das reflektierte Licht wird unter einem bekannten Triangulationswinkel  $\alpha$  mit einer Optik auf einen Sensor abgebildet. Der abgebildete Lichtfleck verschiebt sich auf dem Empfänger, wenn der Laserstrahl in einem anderen Abstand auf die Oberfläche des Messobjektes trifft. Das bedeutet, dass vertikale Änderungen auf der Oberfläche des Messobjektes in laterale Auslenkungen des aufgenommenen Lichtfleckes auf dem Sensor umgesetzt werden.

Beim Messen mit dem Texturlaserprofilometer TL5 werden die Profiltiefe und der Neigungswinkel des Laserkopfes relativ zur absoluten Horizontallinie an jedem Abtastpunkt ermittelt und auf die Festplatte der Steuereinheit geschrieben. Das Datenaufnahmeprogramm ist mit einer Datenbank verknüpft, in der die Rohdaten der einzelnen Texturmessungen und die zugehörigen Messparameter verwaltet werden. Anhand der gemessenen Neigungswinkel



**Bild 39:** Lageplan mit den beiden Messfeldern



**Bild 40:** Texturlaserprofilometer TL5

des Laserkopfes entlang des Verschiebungsweges wird die Durchbiegung des Balkens ermittelt und bei der Auswertung berücksichtigt. Die gesamte gemessene Strecke beträgt dabei 5303 mm, dies entspricht 40174 Datenpunkten bei einem Taktintervall der Datenaufnahme von ca. 0,132 mm. Die vertikale Auflösung beträgt 0,0008 mm.

Dieses Gerät wurde dafür entwickelt, um die Textur einer Fahrbahnoberfläche zu messen, darzustellen und zu bewerten. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, eine Aussage über die Ebenheit der gemessenen Fläche zu treffen. Diese wurde hier in diesem Projekt angewandt [9].

### 3.4 Messungen

Die erste Messung (M0) fand im Februar 2008 statt, weitere Messungen wurden im Juni 2008 (M1) und im August 2012 (M2) durchgeführt. Die Bestimmung der exakten Lage der Rohrregister erfolgte jeweils anhand von Fixpunkten, die beim Verlegen der Rohrregister an der Brücke eingemessen wurden.

Die Messung der Ebenheit erfolgte in beiden Fahrtrichtungen mit dem Texturlaserprofilometer TL5 (siehe Kapitel 3.3). Die Messungen wurden in Brückenlängsrichtung orthogonal zu den Rohrregistern im Abstand von jeweils 10 cm vorgenommen (Bilder 41 und 42). Dabei erfolgte die Ausrichtung des Laserbalkens stets so, dass die Messung und somit die Bewegung des Messkopfes in Fahrtrichtung verläuft. Insgesamt ergeben sich in Fahrtrichtung Rodenkirchen 36 Messlinien und in Fahrtrichtung Aachen 33 Messlinien.

Bei der letzten Messung im Jahr 2012 wurde zusätzlich eine Richtlatte in Fahrtrichtung im Bereich der Rollspur aufgelegt. Dabei wurden augenscheinlich keine Verformungen im Belag festgestellt, die auf Einflüsse der Rohre auf den Belag hindeuten. Zusätzlich wurden im November 2008 Bohrkerne aus dem Bereich der eingelegten Rohre gezogen. Dabei wurde eine sehr gute Einbindung der Rohre in der Zwischenschicht festgestellt. Darüber hinaus hat sich die Befürchtung von möglichen Querschnittsänderungen bedingt durch den Einbau nicht bestätigt.



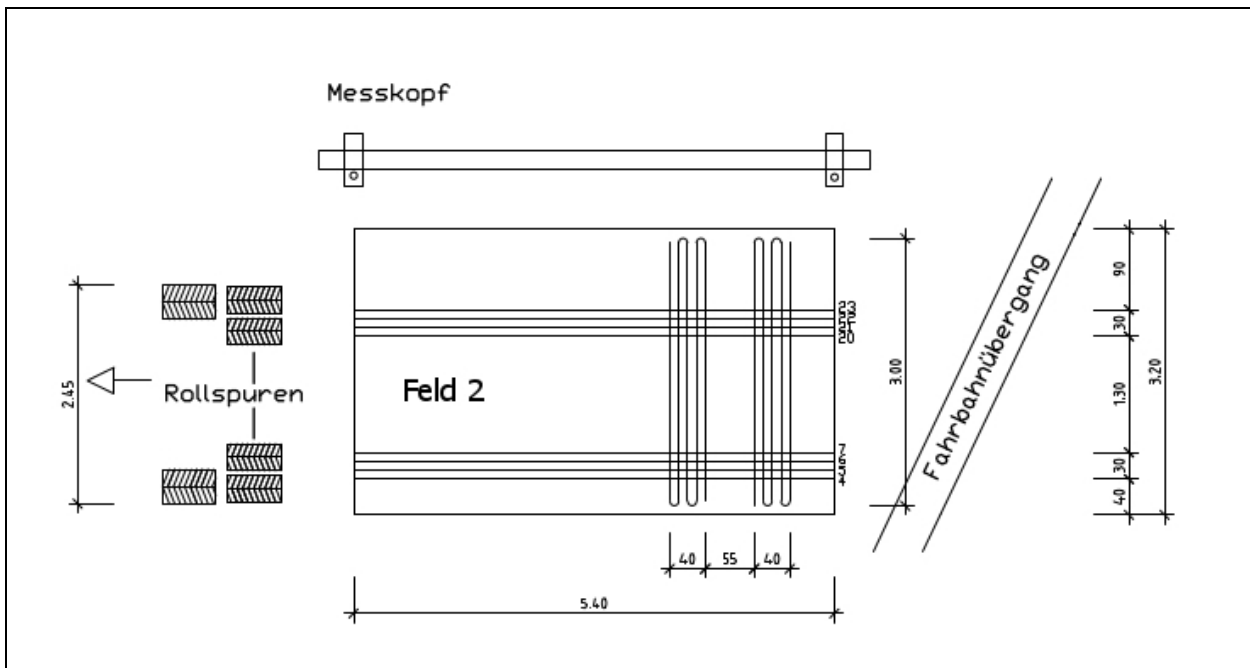


Bild 41: Rohrregister und Messlinien Fahrtrichtung Aachen

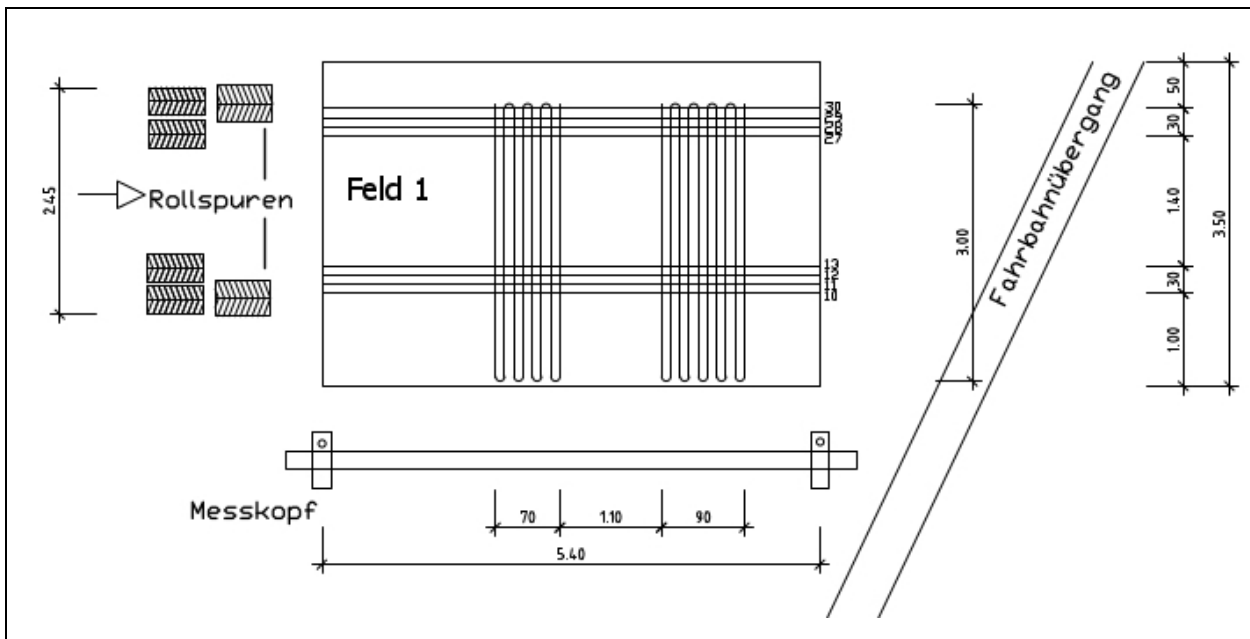


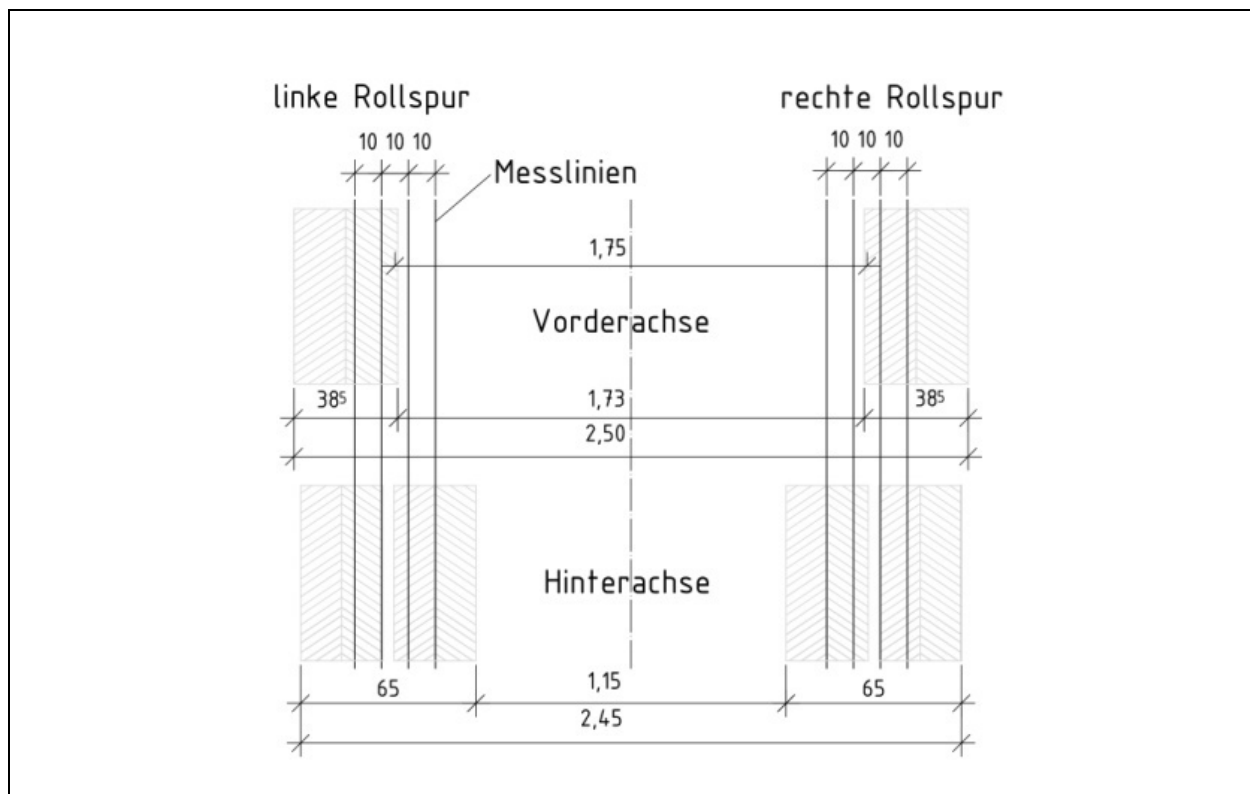
Bild 42: Rohrregister und Messlinien Fahrtrichtung Rodenkirchen

## 3.5 Messergebnisse

### 3.5.1 Daten

Um das Verhalten des Asphaltbelages im Bereich der eingebauten Rohrregister qualitativ und quantitativ beurteilen zu können, wurden die gemessenen Oberflächenprofile mit zwei verschiedenen Programmen (MS-Excel und Ni-Diadem) ausgewertet. Aufgrund der hohen Messauflösung und der daraus resultierenden großen Datenmengen mit über 40.000 Datensätzen pro Messlinie wurden

nur die relevanten Messungen aus den Rollspuren des Schwerverkehrs zur Auswertung herangezogen. Somit ergaben sich, wie in Bild 43 dargestellt, je Fahrtrichtung acht relevante Messlinien. In Fahrtrichtung Aachen wurden die Messlinien 4 bis 7 für die linke und die Messlinien 20 bis 23 für die rechte Rollspur ausgewertet. In Fahrtrichtung Rodenkirchen wurden die Messlinien 10 bis 13 für die linke und die Messlinien 27 bis 30 für die rechte Rollspur ausgewertet. Es wurden sowohl die einzelnen Messlinien als auch die gemittelten Werte der vier Messungen je Rollspur betrachtet.



**Bild 43:** LKW Rollspuren Fahrtrichtung Aachen

### 3.5.2 Auswertung mit Excel

Bei der Auswertung mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel wurden im ersten Schritt die Messwerte normiert, um mögliche Schiefstellungen infolge Unebenheiten und die Durchbiegung des Laserbalkens zu kompensieren.

Im zweiten Schritt wurde ein gleitender Mittelwert über die angeglichenen Messwerte gelegt, um den für die hier vorgesehene Auswertung relevanten Texturbereich hervorzuheben. Zum Schluss wurden die vier Messlinien je Rollspur gemittelt.

In den Bildern 44 bis 46 sind die Ergebnisse der Ebenheitsmessungen aus der linken Rollspur der Richtungsfahrbahn Aachen exemplarisch dargestellt. Die Graphen M0 (Blau) und M2 (Rot) sind Mittelwerte aus den 4 Messlinien 4 bis 7 (der Graph M2 wurde zur besseren Darstellung parallel verschoben).

Das Rauschen der Messwerte der Messung M0 findet sich in jeder Messlinie und ist auf die anfänglich hohe Rauheit der frisch abgestreuten Fahrbahnoberfläche nach dem Einbau zurückzuführen. Erkennbar ist, dass bei der letzten Messung M2 die anfängliche Rauheit der Fahrbahnoberfläche abgenommen hat. Dies ist ein Indiz dafür, dass der Verkehr die Oberfläche über die Jahre glättet.

Die Auswertung der Messungen für die anderen Rollspuren liefert analoge Ergebnisse. Die entsprechenden Diagramme können dem Anhang entnommen werden. In keinem Fall ist zu erkennen, dass sich die Rohre negativ auf die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche auswirken, die Rohrregister zeichnen sich nicht an der Oberfläche des Belages ab und es entsteht keine Welligkeit.

### 3.5.3 Auswertung mit DIADEM

Die Auswertung mit der Software DIADEM (National Instruments) erfolgte mit der Autokorrelationsfunktion (AKF). Die als Randbedingung erforderliche zu erwartende räumliche Frequenz ergibt sich aus der zu erwartenden Wellenlänge der möglichen Belagsverformungen im Bereich der Rohrmäander. Die Geometrie der wellenförmigen Belagsverformung hängt dabei vom Rohrdurchmesser und dem Abstand zwischen den eingebauten Rohren ab. Vor der Anwendung der AKF wurden die gemessenen Messlinien mit Hoch- und Tiefpassfilter bereinigt, um einen Einfluss der nicht relevanten Wellenlängen bzw. Oberflächenverformungen zu eliminieren. Dabei wurden die Wellenlängen, die größer als 100 mm (entspricht dem Rohrabstand) oder kleiner als 20 mm (entspricht dem Rohrdurchmesser) sind, aus dem gemessenen Profil herausgefiltert.

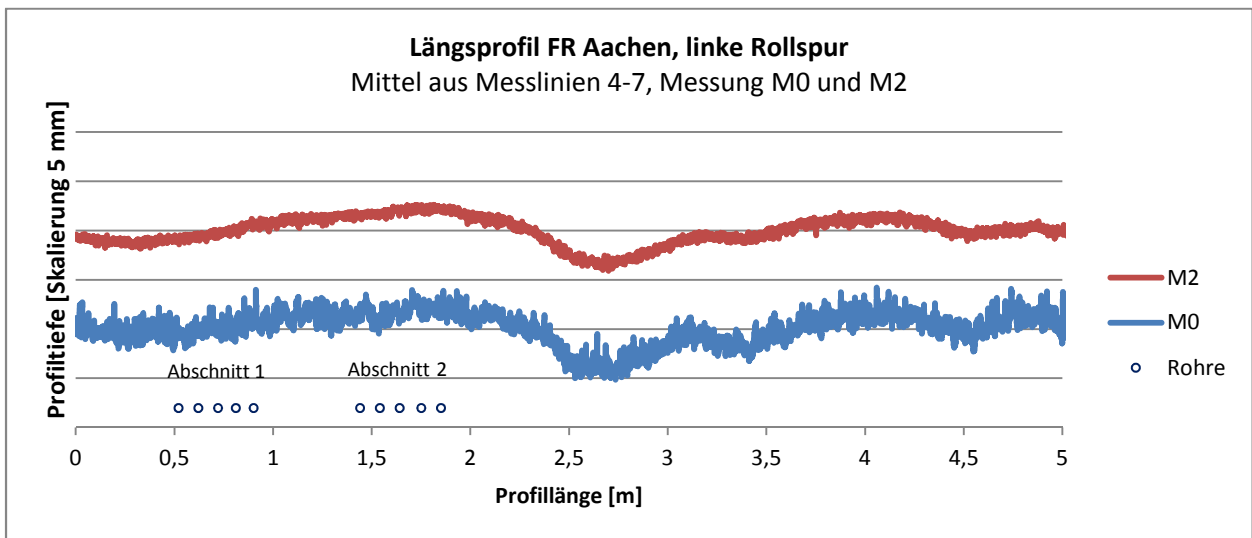


Bild 44: Ebenheitsmessung (FR. Aachen, linke Rollspur)

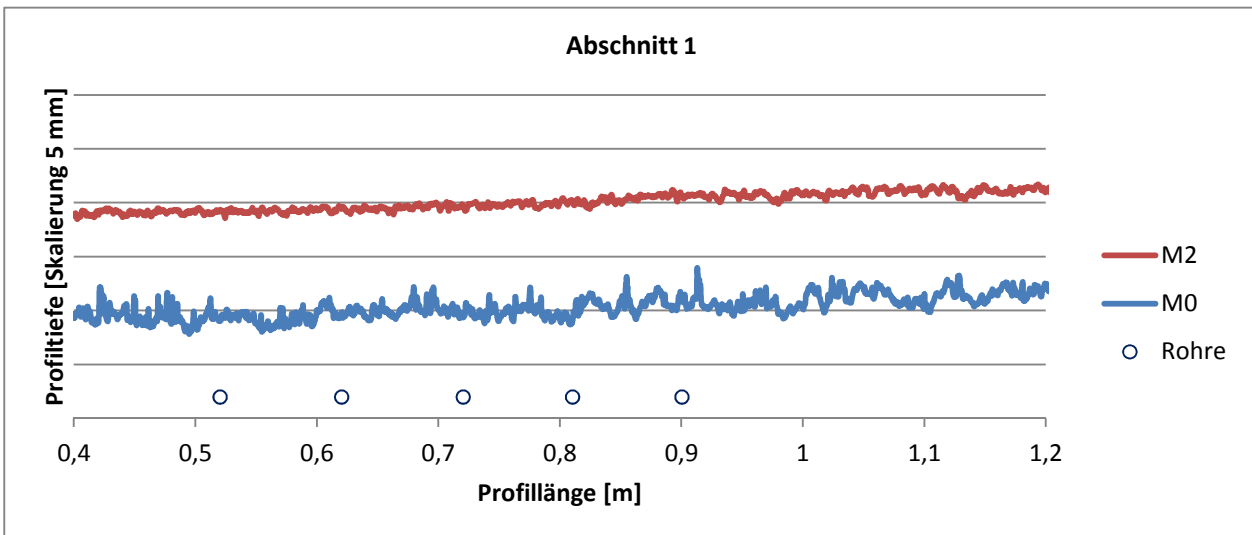


Bild 45: Ebenheitsmessung (FR. Aachen, linke Rollspur, Abschnitt 1)

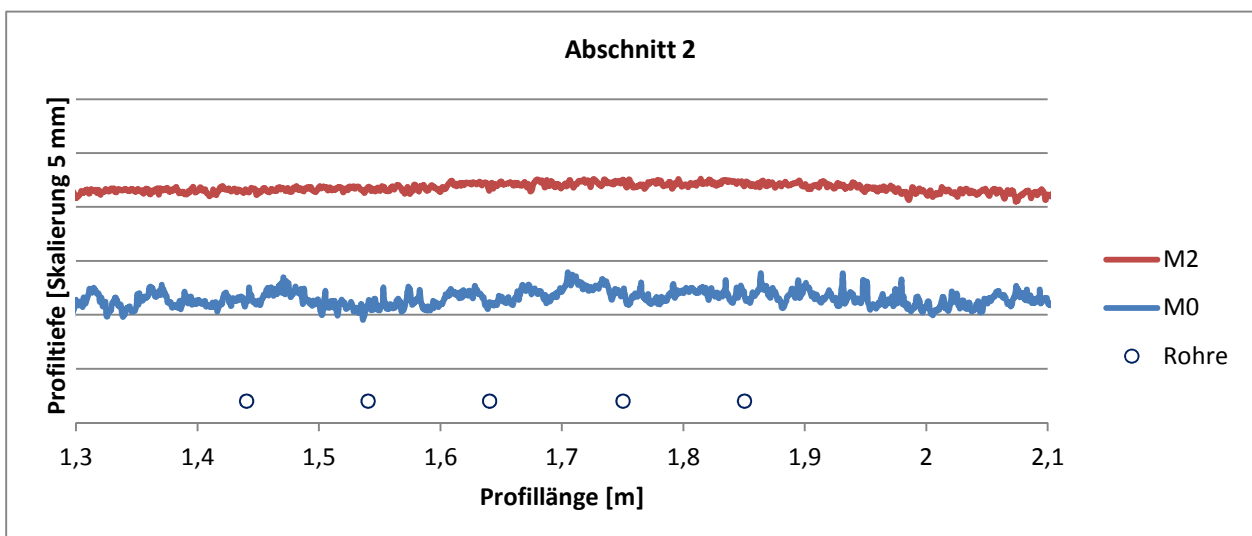
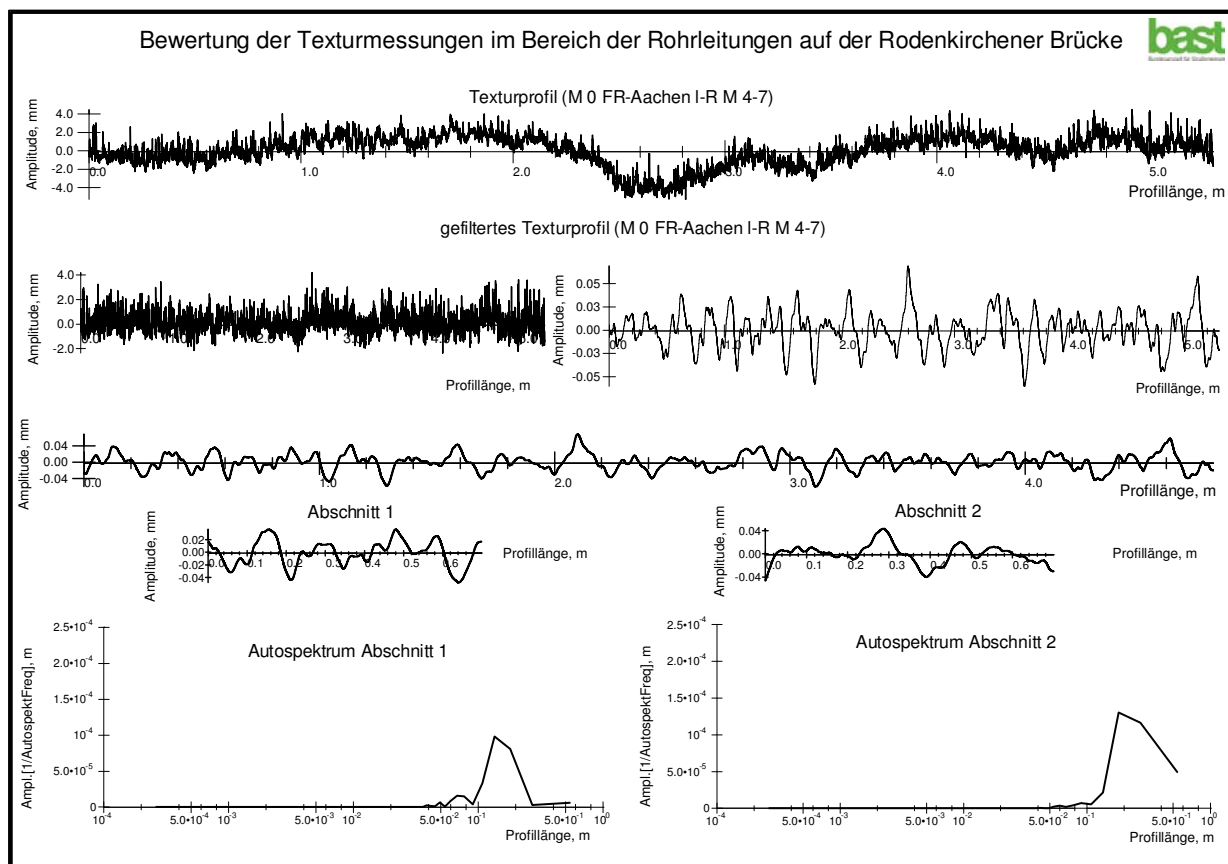


Bild 46: Ebenheitsmessung (FR. Aachen, linke Rollspur, Abschnitt 2)



**Bild 47:** Ebenheitsmessung (FR.: Rodenkirchen, linke Rollspur)

Im Bild 47 sind die Ergebnisse der Auswertung der Messung M0 für die linke Rollspur in Fahrrichtung Aachen dargestellt. Im oberen Bereich sind die ungefilterten und die gefilterten Texturprofile abgebildet. Darunter werden die beiden Unebenheitsbereiche A1 und A2 mit den eingelegten Rohrmäandern gezeigt. Im unteren Bereich sind die entsprechenden Autospektren A1 und A2 aus der AKF-Berechnung dargestellt. Auch bei dieser Auswertung zeigt sich, dass infolge der Rohrregister keine signifikanten Verformungen auf der Fahrbahnoberfläche entstanden sind.

Die Auswertung der Messungen für die anderen Rollspuren liefert die gleichen Ergebnisse. Die entsprechenden Diagramme können dem Anhang entnommen werden.

### 3.5.4 Optische Begutachtung der Oberfläche

Desweiteren wurde die Fahrbahnoberfläche im Bereich der Rohrregister visuell auf eventuell entstandene Risse untersucht. Im Untersuchungszeitraum von 5 Jahren traten keine Risse über den Rohren auf, was auf eine gute Verbindung des Gussasphaltes mit den Rohren schließen lässt.

## 4. Schlussfolgerungen und Ausblick

### 4.1 Allgemeines

Ein Lösungsansatz zur Temperierung von Fahrbahnen besteht darin, Rohrregister in den Fahrbahnbelag zu integrieren und mit einem warmen oder kalten Medium zu durchströmen. Dadurch können die Fahrbahnen im Winter erwärmt und eisfrei gehalten bzw. im Sommer gekühlt und die Spurrinnenbildung reduziert werden.

Es wurden verschiedene Systeme (siehe Kapitel 4.2) untersucht, die eine sichere Befestigung der Rohrregister auf der Unterlage gewährleisten und gleichzeitig den Einbau der Deckschicht möglichst wenig behindern. Desweiteren wurde die Ausrichtung (siehe Kapitel 4.3) der Rohre untersucht und die Dauerhaftigkeit (siehe Kapitel 4.4) überprüft.

### 4.2 Befestigung

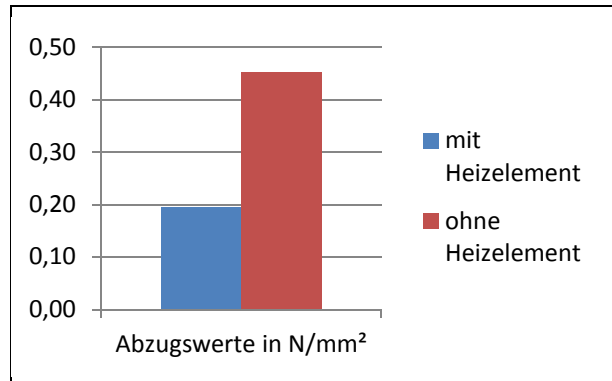
Die Ergebnisse der Untersuchungen an den Fahrbahntafeln der Testfeldmessungen zeigen, dass sich die in den Niederlanden verwendeten Befestigungsgitter für eine Verwendung in den in

Deutschland verwendeten Asphaltbelägen auf Stahl- und Betonbrücken nicht eignen. Aufgrund der geringen Schichtdicken müssen die in Deutschland verwendeten Asphaltbeläge auf Brücken einen ausreichenden Schichtenverbund untereinander und zur Unterlage aufweisen, der durch die eingelegten Befestigungsgitter gestört wird. Es ergaben sich deutlich verringerte Abreißfestigkeiten (Bild 48). Wie in den Bildern 49 und 50 dargestellt, verlagerten sich die Bruchflächen von einer überwiegenden Trennung zwischen der Haftschiicht und der Pufferschicht bzw. zwischen der Pufferschicht und der Schutzschicht hin zu einer nahezu ausnahmslosen Trennung innerhalb des Belages in Höhe der eingelegten Befestigungsgitter.

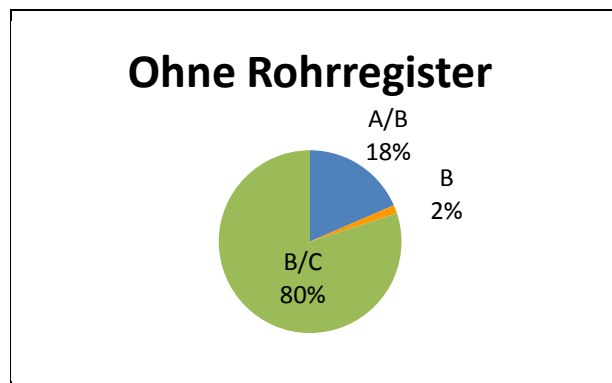
Die Abmessungen der Befestigungsgitter behindern eine flächige Verbindung zwischen der Schutzschicht und der Deckschicht bzw. bei dreilagigem Aufbau die flächige Verbindung zwischen der Schutzschicht und der Zwischenschicht. Der Gussasphalt der Zwischen- oder der Deckschicht ist nicht in der Lage, sich unter dem Befestigungsgitter zu verteilen, da dieses flächig auf der Schutzschicht aufliegt. Aufgrund der Wärmeisolierung des für die Befestigungsgitter verwendeten Materials scheint der Gussasphalt der Zwischen- bzw. der Deckschicht auch nicht in der Lage zu sein, den Gussasphalt der Schutzschicht in dem Maße zu erwärmen, dass eine Verklebung zwischen dem Befestigungsgitter und der Schutzschicht ermöglicht wird. Die Größenordnung der gemessenen Abreißfestigkeiten und die Bruchbilder lassen sogar die Vermutung zu, dass auch in den Bereichen des direkten Kontaktes zwischen der Zwischenschicht und der Schutzschicht ein verringerter Haftverbund besteht. Dies kann an der durch die Befestigungsgitter hervorgerufenen geringeren thermischen Aktivierung der Oberfläche des Gussasphaltes der Schutzschicht liegen, aber auch an sonstigen ungünstigen Einbaubedingungen, z.B. dem Handeinbau der Zwischenschicht und der dadurch hervorgerufenen Abkühlung des einzubauenden Gussasphaltes.

Die optische Begutachtung der Abreißstempel zeigt andererseits eine durchaus gute Einbindung der Rohre in den Gussasphalt.

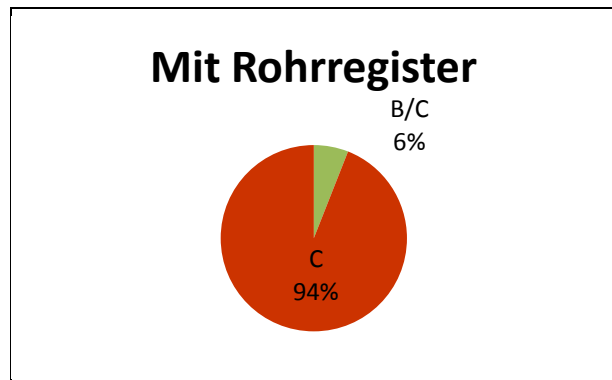
Eine deutliche Minderung der Störstellen und damit eine Verbesserung des Haftverbundes im Gussasphaltbelag lässt sich erreichen, wenn die Rohrregister ohne Befestigungsgitter z.B. mit Lochblechen oder vorgefertigten Metallhaltern direkt auf der Schutzschicht befestigt werden.



**Bild 48:** Gegenüberstellung der Abreißfestigkeiten auf den Fahrbahntafeln mit und ohne Rohrregister



**Bild 49:** Mittlere Bruchflächenverteilung der Trennfälle der Fahrbahntafel ohne Rohrregister



**Bild 50:** Mittlere Bruchflächenverteilung der Trennfälle der Fahrbahntafel mit Rohrregister

Bei der Art der Rohrbefestigung an der Unterlage sind folgende Punkte zu beachten:

1. es dürfen keine Fehlstellen, Beschädigungen in dem Dichtungssystem und an dem Stahlblech entstehen,
2. die Rohre dürfen beim Einbauen der Asphaltdeckschicht nicht verrutschen oder aufschwimmen,

3. das Befestigungsmaterial muss den Temperaturen beim Einbau der Gussasphalt-deckschicht standhalten,
4. Wirtschaftlichkeit.

Hier wurden zwei Varianten zur Fixierung der Rohre auf der Schutzschicht getestet. Bei der ersten Variante erfolgte die Befestigung der Rohre mittels eines Lochbandes und je zwei Schrauben auf der Gussasphalt-Schutzschicht. Bei der zweiten Variante wurden die Rohre durch Metallhalter befestigt die mit einem Nagelschussgerät angebracht wurden. Durch die zweite Variante konnte der Zeitaufwand deutlich verringert werden, was die Wirtschaftlichkeit erhöht. In den Bildern 51 und 52 sind die beiden unterschiedlichen Befestigungsvarianten dargestellt. Für zukünftige Projekte ist es z.B. denkbar, dass die Befestigungsmittel schon beim Einbau der Schutzschicht in den Asphalt eingebracht werden. Ein Kleben der Rohrleitungen auf die Schutzschicht ist zur Zeit nicht möglich, da es keine Kleber gibt, die eine zuverlässige Klebung zwischen dem Rohrmaterial und dem Belag gewährleisten und sich beim Aufbringen des bis zu 230 °C heißen Gussasphaltes der Zwischenschicht nicht verschieben.



**Bild 51:** Befestigung der Rohre durch zugeschnittenes Lochband und Schrauben



**Bild 52:** Vorgefertigte Metallflasche

### 4.3 Ausrichtung der Rohrregister

Die Ausrichtung der Rohrregister kann entweder längs oder quer zur Fahrtrichtung erfolgen, wodurch sich jeweils verschiedene Möglichkeiten und Einschränkungen ergeben.

Bei einer Längsausrichtung lässt sich das System so aufteilen, dass einzelne Fahrstreifen unabhängig voneinander gesteuert werden können. Damit besteht auch die Möglichkeit, bei einer Fehlstelle oder einem Defekt im Rohrsystem separate Fahrstreifen für eine Instandsetzung zu sperren. Die Verteiler der einzelnen Kreisläufe können an einem Ende der Brücke bzw. Brückenkappe montiert werden. Darüber hinaus erfahren die Rohre statisch gesehen günstigere Beanspruchungen, da eine Scheiteldruckbelastung der Rohre durch das rollende Rad günstiger ist als Einwirkungen quer zur Rohrachse [10]. Allerdings können bei einer Längsausrichtung je nach Länge des Bauwerks und der daraus resultierenden Rohrlänge zusätzliche Bauteile wie Umwälzpumpen oder eine Wärmepumpe erforderlich werden, die die nötige Heizleistung über den gesamten Heizstrang liefern [8]. Als nachteilig könnte sich bei dieser Anordnung der Rohrregister auch der Umstand auswirken, dass die in Längsrichtung verlaufenden Rohre ggf. den Belag über den Längssteifen schwächen, was die Gefahr der Rissbildung in diesem Bereich erhöht. Dieses Problem wurde im Rahmen des o.a. Forschungsprojekts FE 15.401/2004/ARB [2] mittels Dauerschwellbiegeprüfung untersucht, konnte aber aufgrund des vorzeitigen Versagens der Probekörper im Bereich des Dichtungssystems nicht abschließend geklärt werden.

Bei einer Querausrichtung der Rohrregister besteht in der Regel die Möglichkeit, die Länge der Rohre so auf das Temperierungssystem abzustimmen, dass auf die Implementierung einer Wärmepumpe verzichtet werden kann. Hinsichtlich des Einbaus und der Dauerhaftigkeit unter Verkehrsbelastung konnte im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen die grundsätzliche Praxistauglichkeit von quer zur Fahrtrichtung ausgeführten Rohrregistern nachgewiesen werden.

Eine konkrete Entscheidung für eine optimale Ausrichtung der Rohrregister lässt sich aus den gewonnenen Erkenntnissen nicht ableiten, hierüber muss projektspezifisch je nach Bauwerkslänge, Standort und den geothermischen Gegebenheiten am Einbauort entschieden werden.

### 4.4 Dauerhaftigkeit

Das Augenmerk der hier durchgeführten Untersuchungen galt in erster Linie der Ebenheit der Stra-

Benoberfläche bei quer zur Fahrtrichtung eingebauten Rohrregistern unter realen Verkehrsbedingungen. Im Untersuchungszeitraum von fünf Jahren wurden drei Ebenheitsmessungen und Begehungen durchgeführt.

Aus den vorliegenden Ergebnissen konnten bis zur letzten Begehung weder Risse noch Verformungen im Fahrbelag detektiert werden. Die Auswertungen der Ebenheitsmessungen ergeben keine Anhaltspunkte, die auf eine Entstehung von Verformungen an der Fahrboberfläche infolge der eingebauten Rohrregister hindeuten. Diese Aussagen beruhen auf einem Untersuchungszeitraum von fünf Jahren, für weitere Aussagen über das Langzeitverhalten sollten auch zukünftig regelmäßige Begehungen und Messungen durchgeführt werden.

Die Dauerhaftigkeit von längs zur Fahrtrichtung im Fahrbelag eingebauten Rohrregistern wurde im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht. Beobachtungen an der Brücke in Berkenthin [8] zeigen aber, dass es nach drei Jahren unter Verkehr zu keinen sichtbaren Rissen oder Verformungen an der Fahrboberfläche gekommen ist.

## 5 Zusammenfassung

### 5.1 Allgemeines

Bei Fahrboberflächen von Brücken und insbesondere von Stahlbrücken besteht gegenüber dem Straßenverlauf vor und hinter der Brücke die Gefahr einer vorzeitigen Glättebildung, da die relativ dünnen Fahrboberflächen schnell auskühlen, während der dickere Belagsaufbau und der Untergrund auf der freien Strecke wie ein Wärmespeicher wirken. Insbesondere bei Brücken an ungünstigen Standorten, wie in der Nähe von Gewässern oder in Einschnitten, besteht vor allem im Spätherbst und am Beginn des Frühjahrs eine besondere Gefahr für die Verkehrsteilnehmer.

Dieser besonderen Gefährdung des Verkehrs wird derzeit entweder durch Frühwarnsysteme mit vorsorglichem Streudienst oder durch Taumittelsprühanlagen begegnet. Eine weitere Möglichkeit die besondere Gefährdung aus dem Vereisungsverhalten der Brückenfahrboberfläche zu beseitigen, ist die, den Fahrbelag der gefährdeten Brücken in den kritischen Zeiträumen zu beheizen. Dadurch wird die Salzbelastung für die Umwelt und auch für das Bauwerk reduziert. Im BAST-Bericht B87 „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“ [2] wird diese umweltfreundliche Alternative ausführlich erläutert.

Das hier beschriebene Projekt knüpft an das Kapitel 5 „Testfeldmessung“ aus dem Forschungspro-

jekt „Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie“ [2] an, in dem zwei verschiedene Untersuchungen beschrieben werden. Zum einen handelt es sich um zwei D-Brückenmodule mit Fahrboberwärmung (Testbrücke), zum anderen handelt es sich um eine Straßenbrücke, bei der im Rahmen einer Erneuerung des Fahrbelags probeweise Rohrregister eingebaut wurden (Brücke unter Praxisbedingungen).

### 5.2 Testbrücke

Wenngleich bei der Testbrücke im Rahmen des o.g. Projektes vor allem das thermische Verhalten im Mittelpunkt der Untersuchungen stand, wurde dabei unter anderem auch die Anordnung der für die Heizung verwendeten Rohrregister im Belag sowie die für die Installation notwendigen Befestigungsmittel untersucht. Es wurden praxisnahe Untersuchungen an zwei Fahrboberflächen mit den Abmessungen 6 m x 3 m durchgeführt, bei denen eine Fahrboberfläche mit einem Rohrregister ausgestattet wurde. Die Fixierung der Rohre erfolgte mittels eines in den Niederlanden für ähnliche Zwecke entwickelten Befestigungsgitters. Allerdings gaben der Aufbau und die Dimensionen dieses Befestigungsgitters Anlass zu Bedenken hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Gesamtsystems bestehend aus den Belagsschichten und dem Befestigungssystem mit den eingelegten Rohrregistern.

Aus diesem Grund wurden an den Fahrboberflächen nach Abschluss der geothermischen Untersuchungen Abreißprüfungen durchgeführt. Diese Abreißprüfungen wurden mit Abreißstempeln der Abmessungen 100 mm x 100 mm zur Bestimmung der Abreißfestigkeit und des Bruchbildes sowie mit Abreißstempeln der Abmessungen 500 mm x 500 mm zur Bestimmung großflächiger Bruchbilder durchgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben eindeutig gezeigt, dass sich die in den Niederlanden verwendeten Befestigungsgitter aufgrund der in Deutschland auf Stahl- und Betonbrücken verwendeten dünneren Belagsdicken nicht zur Fixierung der Rohrregister eignen. Diese Befestigungsgitter erweisen sich aufgrund des Aufbaus und der Abmessungen als Störstellen, welche die Abreißfestigkeit des Belages unzulässig vermindern.

Desweiteren wurde im Rahmen der Untersuchungen zusätzlich, bedingt durch Abweichungen vom geplanten Belagsaufbau beim Einbau des Belages auf den Testbrücken, der Einfluss eines zwischen der Pufferschicht und der Schutzschicht eingelegten Vlieses auf das Verbundverhalten des Gesamtsystems Abdichtung/Belag untersucht. Ein

solches Vlies kann bei nicht sachgerechtem Einbau als Störstelle wirken. Bei den hier durchgeführten Abreißversuchen zeigte sich oft eine Trennung in Höhe des eingelegten Vlieses bei deutlich verringerten Abreißfestigkeiten. Für eine ausreichende Verklebung dieses Vlieses ist ein Bindemittelüberschuss in der Klebefuge (eventuell eine Tränkung des Vlieses) und eine ausreichende Einbautemperatur des Asphalttes notwendig.

### 5.3 Brücke unter Praxisbedingungen

Bei der Brücke unter Praxisbedingungen wurde primär das Verhalten des Asphaltbelages mit eingebauten Rohrleitungen unter realen Verkehrsbedingungen untersucht, wobei innerhalb des untersuchten Zeitraums keine Schwächung des Belags nachgewiesen werden konnte. Die hier beschriebenen Untersuchungen konzentrierten sich darauf, die Auswirkungen langfristiger Verkehrsbelastungen auf den Fahrbahnbelag mit integrierten Rohrregistern zu dokumentieren und zu bewerten.

Zu diesem Zweck wurden bei der Belagserneuerung auf einer Brücke im Zuge der L 150 über die BAB A 555 bei Rodenkirchen vier Rohrregister in den Belag eingebaut und über einen Zeitraum von fünf Jahren beobachtet. Die Rohrregister wurden sowohl mit aufgeschraubten Lochblechen als auch mit Rohrschellen, die mit Nagelschussgeräten auf der Gussasphalt-Schutzschicht aufgeschossen wurden, befestigt.

Während des Einbauvorganges der nachfolgenden Asphaltsschichten (sowohl Einbau von Hand als auch maschineller Einbau) war weder ein Aufschwimmen der Rohre noch eine Lageänderung der Rohre erkennbar. Dieser visuelle Eindruck während des Einbaus wurde später durch Messungen mit einem Bewehrungssuchgeräten bestätigt. Auch bei der letzten Messung nach fünfjähriger Belastung durch den Verkehr konnte keine Lageänderung der Rohre festgestellt werden.

Mittels eines Texturlaserprofilometers wurde die Struktur der Fahrbahnoberfläche im Bereich der Rohrregister unmittelbar nach dem Belagseinbau sowie nach 8 und 58 Monaten gemessen. Sowohl nach dem Einbau als auch nach mehrjähriger Belastung durch den Verkehr konnte kein Einfluss der Rohrregister auf die Struktur und die Ebenheit der Fahrbahnoberfläche festgestellt werden.

Anhand von Bohrkernen konnte nachgewiesen werden, dass die Rohre sehr gut in den Gussasphalt eingebunden sind. Aufgrund der guten Verbindung zwischen den Rohren und dem Gussasphalt wurde im Untersuchungszeitraum keine Rissbildung im Bereich der Rohrregister festgestellt.

Für die hier untersuchte Anordnung in Querrichtung und die Befestigung der Rohrregister mittels aufgeschraubter Lochbleche oder mittels Nagelschussgerät befestigter Metallaschen konnte die grundsätzliche Ausführbarkeit nachgewiesen werden. Die bisherigen Erfahrungen mit in Fahrtrichtung eingebauten Rohrregistern bei der Kanalbrücke Berkenthin lassen darauf schließen, dass auch diese Anordnung grundsätzlich geeignet ist. Diese Feststellungen müssen jedoch durch eine weitere Begleitung des Pilotprojektes Kanalbrücke Berkenthin abgesichert werden.

### 5.4 Schlussfolgerungen

Es wurden verschiedene Systeme untersucht, die eine sichere Befestigung der Rohrregister auf der Unterlage gewährleisten und gleichzeitig den Einbau der Deckschicht möglichst wenig behindern. Desweiteren wurde die Ausrichtung der Rohre untersucht und die Dauerhaftigkeit überprüft.

Großflächige Befestigungsgitter haben sich zur Fixierung von Rohrregistern für in Deutschland übliche Fahrbahnbeläge als ungeeignet erwiesen, da sie einen ausreichenden Schichtenverbund behindern. Bei einer Anwendung der Brückenheizung mittels in den Belag eingelegter Rohrregister sind daher wenig störende Befestigungsmittel wie z.B. halbseitige Rohrschellen zu empfehlen.

Ein erster Praxistest mit dieser Ausführungsvariante erfolgte unter realen Verkehrsbedingungen auf einer Brücke über die BAB A 555 im Bereich der Anschlussstelle Rodenkirchen [2]. Sowohl Langzeitbeobachtungen als auch entnommene Bohrkernkerne zeigen, dass die hier eingebauten Rohrregister keine kritische Auswirkungen auf den Fahrbahnbelag hatten. Dieses Ergebnis wurde bei der ersten Pilotanwendung in Deutschland, der Kanalbrücke im Zuge der Bundesstraße B 208 über den Elbe-Lübeck-Kanal in Berkenthin berücksichtigt [10]. Die Fixierung der Rohrregister erfolgte bei dieser Brücke mit vorgefertigten und an den Rohrdurchmesser angepassten Metallaschen, die auf der Schutzschicht mit gekröpften Nägeln befestigt wurden.

Für quer zur Fahrtrichtung ausgeführte Rohrregister konnte die grundsätzliche Praxistauglichkeit hinsichtlich des Einbaus und der Dauerhaftigkeit unter Verkehrsbelastung nachgewiesen werden. Als entsprechender Nachweis für längs zur Fahrtrichtung ausgeführte Rohrregister dient die erfolgreiche Pilotanwendung bei der Kanalbrücke Berkenthin.

Im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit konnten im Untersuchungszeitraum von 5 Jahren keine Einschränkungen festgestellt werden, es wurden we-



der Risse noch Verformungen im Fahrbahnbelag festgestellt. Für eine gesicherte Beurteilung des Langzeitverhaltens sollten auch zukünftig regelmäßige Begehungen und Messungen erfolgen.

## 6 Literatur

- [1] EILERS, M., FRIEDRICH, H.: Glättevermeidung durch die Nutzung von Geothermie. In: Straße und Autobahn, Heft 7/2009
- [2] FELDMANN, M., MANGERIG, I., STEINAUER, B. et al: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B 87, Bergisch Gladbach, Mai 2011
- [3] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 7 Brückenbeläge, Abschnitt 4 „Brückenbeläge auf Stahl mit einem Dichtungssystem“ (ZTV-ING 7-4), FGSV Verlag GmbH, Köln
- [4] DIN 51220: Werkstoffprüfmaschinen – Allgemeines zu Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2003
- [5] STÖCKERT, U.: Ein Beitrag zur Festlegung von Grenzwerten für den Schichtenverbund im Asphaltstraßenbau, vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation, 2002
- [6] EILERS, M.; SCZYSLO, S.: Bewährung von Belägen auf Stahlbrücken mit orthotropen Fahrbahnplatten, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 33, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- [7] EILERS, A.: Wiehltalbrücke – Instandsetzung und Belagserneuerung, unveröffentlichter Bericht, Morsbach, 10/2007
- [8] BAST-Projekt F 1100.2209007: Fachtechnische Begleitung des Pilotprojektes „Erneuerung der Straßenbrücke über den Elbe-Lübeck-Kanal in Berkenthin“ (laufend)
- [9] MÜLLER, I.: Mess- und Auswertebereicht (GS4-T3D/TL5\_M2012.10-B2) Messungen mit dem T3Dg und dem TL5 (AP- Projekt F1100.3112001.01) Bergisch Gladbach, Oktober 2012, unveröffentlicht.
- [10] MACKERT, K.-U.: Die Brücke in Berkenthin (Landkreis Herzogtum Lauenburg) als Geothermie-Pilotprojekt. In: Straße und Autobahn, Heft 2/2012

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

## 2010

B 71: Empfehlungen für geschweißte KK-Knoten im Straßenbrückenbau  
Kuhlmann, Euler € 22,50

B 72: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen  
Weschpfennig, Kropf, von Witzhausen € 13,50

B 73: Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln  
Dehn, Nause, Juknat, Orgass, König  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 21,00

B 74: Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk  
Müller € 14,00

B 75: Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand  
Schnellenbach-Held, Peeters, Scherbaum € 13,50

## 2011

B 76: Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems  
Sedlacek, Paschen, Feldmann, Geßler, Möller, Steinauer, Scharnigg € 17,00

B 77: Anpassung von DIN-Fachberichten „Brücken“ an Eurocodes  
Teil 1: DIN-FB 101 „Einwirkung auf Brücken“  
Teil 2: DIN-FB 102 „Betonbrücken“  
Teil 3: DIN-FB 103 „Stahlbrücken“  
Teil 4: DIN-FB 104 „Verbundbrücken“  
Freundt, Böning, Maurer, Arnold, Gedwien, Müller, Schrick, Tappe, Kuhlmann, Rasche, Froschmeier, Euler, Hanswille, Brauer, Bergmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 29,50

B 78: Bemessung von Wellstahlbauwerken – Vergleich nach den bisherigen und den neuen Richtlinien  
Kuhlmann, Günther, Krauss  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 18,50

B 79: Untersuchungen zur Querkraftbemessung von Spannbetonbalken mit girlandenförmiger Spanngliedführung  
Maurer, Kiziltan, Zilch, Dunkelberg, Fitik  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden. € 15,50

B 80: Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln  
Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los € 16,00

B 81: Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse  
Müller, Vogel, Neumann € 14,50

B 82: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand  
Freundt, Böning € 16,00

B 83: Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken  
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00

B 84: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)  
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00

B 85: Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung  
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50

B 86: Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton  
Nguyen, Freitag € 13,50

## 2012

B 87: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie  
Feldmann, Döring, Hellberg, Kuhnhenne, Pak, Mangerig, Beucher, Hess, Steinauer, Kemper, Scharnigg € 17,00

B 88: Anpralllasten an Schutzeinrichtungen auf Brücken – Anpassung der DIN-Fachberichte „Stahlbrücken“ und „Verbundbrücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen  
Kuhlmann, Zizza, Günther € 15,50

B 89: Nachrechnung von Betonbrücken zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke  
Maurer, Heeke, Kiziltan, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 19,50

B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard  
Eilers, Quaas, Staack € 14,00

## 2013

B 91: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung  
Freundt, Böning € 15,00

B 92: Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel  
Kaundinya € 14,00

B 93: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten – Anpassung des DIN-Fachberichtes „Betonbrücken“ an die endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen  
Hegger, Reißer € 17,50

B 94: Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise – Rechnerischer Nachweis  
Peter, Knief, Schreyer, Piazzola  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 95: Erfahrungen mit selbstverdichtendem und hochfestem Beton im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen  
Tauscher € 17,00

B 96: Geothermischen Anlagen bei Grund- und Tunnelbauwerken  
Adam € 17,00

B 97: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen  
Freundt, Böning € 15,00

## 2014

**B 98: Brückenseile – Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen**  
Friedrich

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 99: Intelligente Brücke – Zuverlässigkeitsbasierte Bewertung von Brückenbauwerken unter Berücksichtigung von Inspektions- und Überwachungsergebnissen**

Fischer, Schneider, Thöns, Rücker, Straub  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 100: Roadtraffic Management System (RTMS)**  
Freundt, Vogt, Böning, Pierson, Ehrle € 15,00

**B 101: Adaptive Spannbetonstruktur mit lernfähigem Fuzzy-Regelungssystem**  
Schnellenbach-Held, Fakhouri, Steiner, Kühn € 18,50

**B 102: Adaptive ‚Tube-in-Tube‘-Brücken**  
Empelmann, Busse, Hamm, Zedler, Girmscheid € 18,00

**B 103: Umsetzung des Eurocode 7 bei der Bemessung von Grund- und Tunnelbauwerken**  
Briebrecher, Städing € 14,00

**B 104: Intelligente Brücke – Konzeption eines modular aufgebauten Brückenmodells und Systemanalyse**  
Borrmann, Fischer, Dori, Wild  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 105: Intelligente Brücke – Machbarkeitsstudie für ein System zur Informationsbereitstellung und ganzheitlichen Bewertung in Echtzeit für Brückenbauwerke**  
Schnellenbach-Held, Karczewski, Kühn  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 106: Einsatz von Monitoringsystemen zur Bewertung des Schädigungszustands von Brückenbauwerken**  
Freundt, Vogt, Böning, Michael, Könke, Beinersdorf € 17,00

**B 107: Materialeigenschaften von Kunststoffdichtungsbahnen bestehender Straßentunnel**  
Robertson, Bronstein, Brummermann € 16,00

**B 108: Fahrzeug-Rückhaltesysteme auf Brücken**  
Neumann, Rauert € 18,50

**B 109: Querkrafttragfähigkeit bestehender Spannbetonbrücken**  
Hegger, Herbrand € 17,00

**B 110: Intelligente Brücke – Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton**  
Schnellenbach-Held, Peeters, Miedzinski  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 111: Erarbeitung von Modellen zur Bestimmung der Schadensumfangsentwicklung an Brücken**  
Müller € 15,00

## 2015

**B 112: Nachhaltigkeitsberechnung von feuerverzinkten Stahlbrücken**  
Kuhlmann, Maier, Ummenhofer, Zinke, Fischer, Schneider € 14,00

**B 113: Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen**  
Placzek, Pohl  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 114: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln**  
Mayer, Brennerberger, Großmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln**  
Mayer, Brennerberger, Großmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 116: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton**  
Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 117: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells**  
Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standicherheit und Gebrauchstauglichkeit**  
Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 119: Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln**  
Schmidt, Simon, Guder, Juknat, Hegemann, Dehn in Vorbereitung

**B 120: Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem vorgespannten Zweifeldträger**  
Maurer, Gleich, Heeke, Zilch, Dunkelberg  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 121: Zerstörungsfreie Detailuntersuchungen von vorgespannten Brückenplatten unter Verkehr bei der objektbezogenen Schadensanalyse**  
Diersch, Taffe, Wöstmann, Kurz, Moryson  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

**B 122: Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken**  
Eilers, Friedrich, Quaaas, Rogalski, Staeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
28195 Bremen  
Tel. (0421) 3 69 03-53  
Fax (0421) 3 69 03-48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.